XXI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Instituto de Innovación en Biosistemas para el Desarrollo Sustentable en Zonas Áridas

Memoria

6 y 7 de Noviembre de 2025

Universidad Autónoma Chapingo
Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre

URUZA

Dirección General de Investigación Posgrado y Servicio

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

FedMVZ México

CRSAD
Centre de recherche en sciences animales de Deschambault

ISSN: En tramite

XXI Congreso Internacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas, Año XXI, 2025, es una publicación continua, anual, digital, de acceso abierto, que difunde investigaciones originales e inéditas en el ámbito agropecuario. Editada por la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo., Km. 40 Ctra. Gómez Palacio Chihuahua - Bermejillo, Durango, México, C.P. 35230, Tel. 871 980 13 40 al 56 y 871 980 00 66 al 69. https://congresorebiza.mx. Email: rebiza@chapingo.uruza.edu.mx. Editor responsable: Marco Andrés López Santiago. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. (04-2025-070809553100-102), ISSN (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Coordinación Editorial URUZA, Rolando Santillán Elizarrarás, Km. 40 Ctra. Gómez Palacio Chihuahua - Bermejillo, Durango, México, C.P. 35230., Fecha de última modificación 21 de Noviembre de 2025.

Directorio

Universidad Autónoma Chapingo

Dr. Ángel Garduño García
Rector

M.C. Noe López Martínez
Director General Académico

Dra. Consuelo Olivia Lobato Calleros
Directora General de Investigación y Posgrado

Ing. Jorge Torres Bibriesca
Director General de Administración

Dr. Samuel Pérez Nieto
Director General de Patrimonio

Mtra. Tania Jessica Pérez Buendía
Directora General de Difusión Cultural y Servicio

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

Dr. José Manuel Cisneros Vázquez
Vicerrector

M.C. Oscar Esquivel Arriaga
Subdirector Académico

Dr. Marco Andrés López Santiago
Subdirector de Investigación

Dr. Jorge Alberto Ortiz Salazar
Subdirector Administrativo

Lic. Sara Araceli Carmona Veyna
Subdirectora de Patronato

Ing. Fernando Simental Renteria
Jefe de Servicios Generales y Asistenciales

XXI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

Memoria:

Ponencias Orales y Carteles

Compiladores:

Dr. Gonzalo Abelino Torres, Dr. Pablo Arenas Báez,
Dr. Jesús G. Arreola Ávila, M.V.Z. Diana Córdova González,
Dr. Jonathan Raúl Garay Martínez, M.C. Cristóbal Hernández Bautista,
M.A. Fabián Rosales Noriega, M.C. Gonzalo Hernández Ibarra,
Dr. Marco Andrés López Santiago, Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa,
M.C. Sandra Maciel Torres, Dr. Emmanuel Roblero Méndez,
Dr. Ignacio Sánchez Cohen, Dr. Ricardo Trejo Calzada,
Dr. Luis Gerardo Yáñez Chávez, M.C. Sahara Xolocotzi Acoltzi.

Coordinadora General
M.C. Sandra Patricia Maciel Torres

Comité Organizador
Dr. Pablo Arenas Báez
Lic. Sara Araceli Carmona Veyna
M.C. Gabriel García Herrera
Dr. Bernardo López Ariza
Dr. Marco Andrés López Santiago
Dr. Armando López Santos
Dr. Miguel Ángel Mata Espinosa
Dr. Aurelio Pedroza Sandoval
Ing. Fernando Simental Rentería
Dr. Ricardo Trejo Calzada
Dr. Luis Gerardo Yáñez Chávez

Edición
Ing. Martin Eduardo De Loera Luna
Ing. Rolando Santillán Elizarrarás

Primera Edición: Noviembre de 2025.
DR © Universidad Autónoma Chapingo
km 38.5 Carretera México - Texcoco
Chapingo Texcoco, Edo. De México, C.P. 56230
Tel. 01(595)9521500

Publicado por:
Universidad Autónoma Chapingo
Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
Km. 40 Ctra. Gómez Palacio – Chihuahua,
Bermejillo, Durango, México.
C.P. 35230
Teléfonos: 871 980 13 40 al 56 y 871 980 00 66 al 69
e-mail: rebiza@chapingo.uruza.edu.mx

Presentación

La Universidad Autónoma Chapingo reafirma su función sustantiva de difusión del conocimiento científico. En este contexto, la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas tiene el honor de convocar al **XXI Congreso Internacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas**, que se celebrará los días 6 y 7 de noviembre de 2025.

El evento tiene como principales ejes temáticos:

1. Cuencas Hidrológicas y Manejo Integral del Agua.
2. Fisiología e Impacto Ambiental.
3. Producción y Salud Animal.
4. Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.
5. Tecnologías de Producción Agrícolas y Agroforestales

Por ello, extendemos una cordial invitación a profesores, investigadores de instituciones hermanas, estudiantes, egresados y público en general a participar activamente. Su valiosa contribución es esencial para el cumplimiento de la misión y visión de esta Unidad Regional en el estudio y desarrollo de las zonas áridas del norte de México.

Atentamente

Comité Organizador

Conferencistas Magistrales

Dra. Laura Arvizu Tovar

- Profesora de licenciatura y posgrado en el área de Gestión y Legislación en salud pública veterinaria, en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.
- Presidenta de la Federación de Colegios y Asociaciones de médicos Veterinarios Zootecnistas de México, A.C.

Dra. Araceli Zavaleta Mancera

- Profesora Investigadora del Colegio de Postgraduados, México.
- Sistema Nacional de Investigadores (SNII): Nivel III.
- Presidenta de la Asociación Mexicana de Microscopía y Microanálisis A.C.

Dra. Liliana Aguilar Marcelino

- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Sistema Nacional de Investigadores (SNII): Nivel II.

Dr. Daniel E. Rico

- Maestría y Doctorado en Nutrición Animal de la Universidad Estatal de Pensilvania.
- Director del Centro de Investigación en Ciencias Animales de Deschambault, Quebec, Canadá.

Dr. Jesús Pérez Moreno

- Profesor Investigador del Colegio de Postgraduados, México.
- Sistema Nacional de Investigadores (SNII): Nivel III.
- Presidente de la Sociedad Mexicana de Micología. Colegio de Posgraduados

Nota Importante: La redacción y contenidos de los trabajos de investigación son responsabilidad del (los) autor (es).

Ponencias Orales

Rendimiento y estimación de la huella hídrica del cultivo de maíz en módulo x masitas, Región Lagunera 18

Exactitud temática en un conjunto de datos de uso del suelo y vegetacion de Baja California Sur (INEGI serie VIII) 23

La energía solar, una opción para minimizar la pérdida y desperdicio de productos primarios: Caso guayaba con valor agregado 27

Comparación de dos métodos de analisis geoespacial en uso de suelo y vegetación: Fotointerpretación tradicional o segmentación con uso de deep learning e inteligencia artificial 31

Manejo y calidad del estiércol bovino como estrategia de agricultura sostenible para La Laguna 36

Diversidad de aves en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas 41

Comportamiento productivo y calidad de la carne de pollos de engorda suplementados con curcumina: Un metaanálisis 46

Dinámica estacional y estructura trófica de la avifauna del sureste de Saltillo, Coahuila. 51

Efectos de la bioestimulacion en melón (*Cucumis melo*) bajo diferentes concentraciones de silicio en La Comarca Lagunera. 56

Vulnerabilidad de áreas naturales protegidas ante especies exóticas invasoras en el noreste de méxico: Implicaciones para el manejo y la conservación 60

Estimación del carbono almacenado en el bosque de galería del río Aguanaval mediante fotogrametría aérea 65

Análisis geoespacial de los estudios geoquímicos de Vanadio en Durango 70

Dieta de hervíboros silvestres en Coahuiila: Implicaciones para su manejo y conservación 75

Efecto del rodillo aereador sobre la diversidad florística y estructura del matorral espinoso tamaulipeco en Tamaulipas, México. 80

Presencia del oso negro americano en la sierra de Zapalinamé 85

Comportamiento productivo y características de la canal de corderos de engorda suplementados con cromo orgánico: Un metaanálisis 89

Himenópteros parasitoides asociados a gobernadora *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. Ex Dc.) Coville., del área de Bermejillo, Dgo. México 93

Caracterización de lagunas de oxidación como microhabitat para fauna silvestre al sureste de Durango, México 98

Avances y perspectivas para la conservación y aprovechamiento sustentable de *Liometopum apiculatum* en México 103

Datos de evapotranspiración, rendimiento y huella hídrica a nivel parcela usando sensores remotos 108

Análisis comparativo de metodologías para la estimación de tendencias en datos climatológicos 114

Herpetofauna asociada al matorral desértico micrófilo al sureste de Mapimí, Durango. 118

Diagnóstico participativo sobre la viabilidad de implementar la tecnología blockchain para la trazabilidad en la apicultura de La Laguna, Durango. 123

Caracterización haplotípica del gen mitocondrial COI en ejemplares de la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*) en cautiverio 128

Respuesta común del crecimiento radial de *Pinus pinceana* Gordon a lo largo de La Sierra Madre Oriental 132

Los observatorios participativos socioecológicos (OPSE) en las zonas áridas del norte de México: Metodología para el análisis de la gobernanza ambiental y la generación de capacidades en contextos de desertificación 137

Cambio de uso de suelo en el municipio de Hidalgo Tamaulipas a partir de las capas temáticas series III (2002 - 2005), V (2011 - 2013) y VII (2018 - 2021) de INEGI 143

Análisis espacio-temporal de la evapotranspiración en la cuenca Pacífico Norte, México mediante técnicas de análisis geoespacial 148

Análisis bibliométrico (1980-2024): Suplementación de Selenio + Vitamina E y su relación con la implantación embrionaria en cabras 154

Evolución de costos y viabilidad financiera de una unidad lechera familiar en Zacatecas, 2022–2025. 160

Análisis fenotípica y fisiológica de pastizales en La Comarca Lagunera 165

Efecto del extracto de higuerilla (*Ricinus communis*) en el control de la mosca blanca en cultivo de melón 169

Evaluación del crecimiento de neonatos de la tortuga del bolsón *Gopherus flovomarginatus* en condiciones de cautiverio: Datos preliminares 174

Estructura arbórea de *Pinus cembroides* Zucc., en la sierra de Zapalinamé, Coahuila: Una especie de ambientes semiáridos 179

Innovación en tecnología alimentaria: Caracterización hedónica de quesos funcionales con harina de frijol 183

Interacción genotipo x ambiente y habilidad combinatoria de líneas derivadas de una población de maíz 189

Situación actual del mezcal (Agave duranguensis Gentry) en méxico y perspectivas de mejora para Nombre de Dios, Durango. 195

Innovaciones en el manejo del rizobioma del maíz criollo: Impacto de la inoculación bacteriana y el empanizado con harina de roca desde un enfoque metagenómico 200

Análisis microbiológicos en melones enteros de venta en supermercados de La Comarca Lagunera 205

Evaluación comparativa de ensilados de nopal (*Opuntia* spp.), maguey (*Agave asperrima* J.) y vainas de mezquite (*Neltuma* spp.), en proporciones diferentes 209

Carteles

Respuesta del forraje verde y seco del maíz forrajero al estrés hídrico en el suelo 217

Modelado espacial de las propiedades físico-químicas del suelo en una zona agrícola semiárida..... 223

Impacto del cambio climático en la evapotranspiración de referencia en una zona agrícola semiárida..... 228

Relación del desarrollo vegetal del maíz forrajero y el índice SAVI obtenido mediante teledetección 234

Correlación entre variables fenológicas del maíz forrajero y de la humedad del suelo a diferentes niveles del índice SAVI..... 239

Sensores remotos para la evaluación del uso del agua en cultivos 243

Distribución espacial de Arsénico en agua subterránea y evaluación de su aptitud para consumo humano en La Comarca Lagunera 248

Análisis espacial de Plomo y diagnóstico de la calidad del agua subterránea en La Comarca Lagunera..... 252

Plataforma iterativa para acceso a información climática en cuencas de México..... 256

Priorización hidrológica de subcuencas de la cuenca alta del río Mayo con enfoque multicriterio y sistemas de información geográfica 259

Efecto del estrés sódico sobre el crecimiento de la raíz en tres cultivares de algodonero - Inifap 265

Betalaínas en la síntesis verde de nanopartículas metálicas: Un análisis bibliométrico..... 271

La pérdida de la masa y calidad postcosecha depende de la maduración de la tuna 'roja lisa'..... 275

Formícidos asociados al banco de germoplasma de cítricos del campo experimental General Terán 279

La zeolita mejora el crecimiento y rendimiento forrajero de tres morfotipos de nopal (*Opuntia* spp.), bajo déficit hídrico 283

El trébol *Lotus corniculatus* L.: Una alternativa de cultivo forrajero en La Comarca Lagunera, México..... 286

Efecto de estreses abióticos en la idoneidad climática de frijol en México 290

La zeolita y los extractos de algas como agentes bioestimulantes en el crecimiento y producción de tomate *Solanum lycopersicum* L., en condiciones de déficit hídrico..... 294

Algunos indicadores fisiográficos y su impacto en la erosión del suelo en la cuenca Nazas-Aguanaval en el estado de Durango, México. 298

Porcentaje de humedad en ecotipos de mora (*Morus* spp.), naturalizados en La Comarca Lagunera..... 302

Peso fresco y peso seco en ecotipos de mora (*Morus* spp.), naturalizados en La Comarca Lagunera..... 306

Caracterización morfométrica y fisiológica de semillas de *Leucaena leucocephala* (Lamb.), De Wit, de diferentes procedencias en México 310

Fototrampeo y rastreo de mamíferos medianos y grandes en un ecosistema semiárido del sureste de Coahuila, México 314

Efecto del hidrogel y la zeolita en el contenido de clorofila, crecimiento y producción de chile serrano gordo *Capsicum annuum* L., bajo dédicit hídrico 320

Extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*) como bioestimulante en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) 323

Aplicación de ácido cítrico para mitigar el estrés hídrico en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) 328

Aplicación de extractos de algaenzimas y su impacto en el vigor, área foliar y producción de biomasa fresca en diferentes genotipos de trebol *Lotus corniculatus* L., en zonas áridas 333

Cambios en la calidad de guayaba (*Psidium guajava*) durante la perdida de la vida útil 336

Precipitación e índice de humedad acumulados de junio a agosto para los años del 2020 al 2025, en Zacatecas. 342

Determinación de sensibilidad y especificidad entre los ensayos iELISA y PAL en el diagnóstico de brucelosis bovina 346

Valoración de la potencia antimicrobiana de la oxitetraciclina en un producto farmacéutico veterinario inyectable 351

Efecto de la complementación alimenticia con ensilado de vaina de mezquite en la producción de cabras en pastoreo 355

Inclusión de residuo de orégano en complemento alimenticio para bovinos y su efecto sobre la degradabilidad 360

Efecto de la inclusión de ácido palmítico protegido en la dieta de cabras lecheras en la producción de leche y composición química de la leche 364

Efecto de la inclusión de ácido palmítico protegido en la dieta de cabras lecheras en el perfil de ácidos en leche 367

Prevalencia de enfermedades contagiosas en hatos caprinos de Tamaulipas 371

Determinación de carga bacteriana en nieve de garrafa elaborada con leche de cabra vs nieve comercial en Matamoros, Coahuila 376

Maíces nativos vs. Maíz comercial: Evaluación *in situ* de la degradabilidad del grano en bovinos 379

Análisis bibliométrico (2010-2025) - interacción calostro - microbiota en becerras y su impacto en la salud neonatal, crecimiento y maduración puberal 382

Cuantificacion de celulas somáticas en leche de vaca Holstein Friesian suplementadas con vitamina C y E 388

Enfermedades transmisibles por mordeduras y arañazos de perros y gatos 393

Validación de un inmunoensayo para el diagnóstico de *Chlamydophila abortus*..... 398

Caracterización de hierba loca (*Astragallus mollisimus* L.) presencia en años atipicos de lluvia en otoño - invierno en El Ejido El Refugio, Poanas, Durango, México. 402

De la pérdida al forraje: ensilado de residuos de sandía y melón como estrategia de alimentación sostenible para rumiantes..... 407

Aprovechamiento de residuos frutales para la alimentación de rumiantes: Ensilado de sandía y melón como alternativa regional..... 412

Análisis de pureza, germinación y citogenética en cactáceas del semidesierto de Coahuila 416

Multiplicación *in vitro* de *Turbinicarpus valdezianus* (H. Moeller) Glass & R.A. Foster Cactácea endémica del desierto Chihuahuense 420

Elaboración de briquetas como biocombustible solido a partir de vaina de mezquite 425

Estrategias de muestreo de sitios permanentes de restauración en zonas áridas..... 429

Morfología de las semillas de *Leucaena greggii* S. Watson en Coahuila 434

Actividad antifúngica de recubrimientos bioactivos elaborados a base de quitosano, colágeno y extracto de planta de tomate 438

Evaluación de métodos convencionales y alternativas naturales para el control de palomas urbanas (*Columba livia*)..... 441

Estimación de coeficientes de endogamia en muestras invasivas y no invasivas para mamíferos terrestres: Mapeo bibliográfico..... 445

Estimación de la evapotranspiración del mezquite (*Prosopis* spp.) en el noroeste de México utilizando sensoría remota..... 450

Modelado del nicho ecológico de la biznaga burra (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto) en México..... 455

Mezquitales nativos como sumideros de carbono: Un estudio de caso en Mapimí, Durango 458

Bioprospección de *Opuntia* spp., un enfoque integral para la conservación y aprovechamiento en el semidesierto 461

Estudio preliminar de las limitaciones térmicas en la producción apícola en La Comarca Lagunera: Un enfoque ecofisioclimático para la toma de decisiones 466

Clasificación y riqueza genética de especies gramíneas con potencial forrajero en el norte-centro de México..... 470

Bioherbicida a partir de guishe de *Agave lechuguilla* Torr.: Alternativa sostenible al control químico de arvenses 476

Línea base de las fracciones de carbono orgánico en suelos de ecosistemas áridos y semiáridos de Ahumada, Chihuahua. 480

Potencial bioherbicida del guishe de *Agave lechuguilla* Torr. en la inhibición de arvenses..... 485

Germinación de bombas de semilla de *Pinus hartwegii* Lindl. 489

Efecto herbicida pre-emergente de extracto de guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) sobre semillas de Rye grass (*Lolium perenne* L.) 494

Características del suelo rizosférico asociadas a especies de lento crecimiento y dificil regeneración en Coahuila 498

Diversidad de insectos asociados a trampas multiembudo tipo Lindgren en la reforestación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 501

Influencia de la sequía atmosférica en el crecimiento radial de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, en la Sierra Madre Occidental, México. 506

Crecimiento e incremento de *Pinus greggii* Engelm Var. Greggii en plantaciones forestales comerciales de Durango 511

Variación genética y morfológica de formas silvestres de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) del estado de Durango 517

Selección de sitios de termorregulación por el venado cola blanca en Coahuila, México. 521

Núcleos semilleros: Ecotecnología de restauración que incrementa el carbono orgánico del suelo y la cobertura vegetal en un agostadero degradado 526

Fototrampeo de mamíferos medianos y grandes en un área incendiada de General Zaragoza, Nuevo León. 531

Mariposa monarca (*Danaus plexippus*) en México 535

Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en cuatro variedades de tuna (*Opuntia* spp.) 539

Aprovechamiento de plantas de zonas áridas para la elaboración de jabones artesanales: Perfil del consumidor y aceptación en el mercado 544

Caracterización molecular de Cactáceas spp., utilizando la región plastídica matK 549

Cobertura de suelo en la región hidrológica 36, y su cambio de uso de 1985 a 2018 554

Los pericos urbanos de la alameda de Zaragoza: Diagnóstico y propuesta para su conservación en Saltillo, Coahuila. 559

Diagnóstico de la ecorregión de bosques de *Pinus greggii* Engelm., en Coahuila y Nuevo León, Mexico. 563

Estimación de biomasa forestal aérea y carbono en mezquites (*Neltuma* spp.) con modelos alométricos 568

Evaluación espacial y fotosintética de una población de *Pinus arizonica* en Nuevo, León, México. 571

Evaluación de la sobrevivencia y adaptabilidad de accesiones de nopal (*Opuntia* spp.) en el banco de germoplasma de la URUZA - UACh 576

Proceso de colecta y selección de semilla de cactáceas del Jardín Botánico ENA para reproducción de ejemplares 580

Determinación de compuestos antioxidantes en cáscara y semillas de tres variedades de melón cantalopue 584

Manifestaciones del cambio climático en Guanajuato, México. 590

Efectos de la variabilidad climática en la producción de frijol y su efecto en la seguridad alimentaria en Zacatecas, México. 592

Evaluación preliminar de la variabilidad de anillos de crecimiento de *Ehretia anacua* (Terán & Berland.) I.M.Johnst., en un ambiente urbano de Torreón, Coahuila. 596

Registro de *Ophryastes decipiens* Leconte 1853 (Coleoptera: Curculionidae) en Las Dunas de Bilbao, Coahuila, México. 600

Análisis del contenido nutrimental de enmiendas orgánicas asociado a la materia orgánica 605

Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto. 610

Especies vegetales consumidas por el ganado y sus usos etnobotánicos en el municipio de Villa de Arista, San Luis Potosí, México 614

Crecimiento de laminas foliares y rendimiento de forraje de nueve zacates en temporal 619

Huertos verticales caseros y elaboracion de bioinsumos agricolas: Una estrategia educativa para fomentar la producción sostenible de alimentos 624

Educación ambiental como herramienta para promover el conocimiento de las aves acuáticas 628

Establecimiento de huertos familiares en comunidades rurales del municipio de Francisco I. Madero, Coahuila 632

Diversidad de comunidades bacterianas en nódulos de frijol mejorado de la región de Durango, México 636

Calidad de fruto en selecciones de duraznero 641

Rendimiento de fruto en selecciones de duraznero 645

Indicadores bioquímicos del secuestro de carbono en suelos agrícolas bajo agricultura de conservación a mediano plazo 649

Análisis del carbono lábil y del índice de gestión de carbono como herramientas de monitoreo en agricultura de conservación 653

Análisis de la investigación científica sobre frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para el período 2015-2025 657

Contenido de ácido fítico en tallarines y quesos adicionados con componentes del grano del frijol negro San Luis 662

Rendimiento comercial de variedades y clones de ajo en Zacatecas 666

Identificación de líneas sobresalientes de frijol flor de ayo bajo temporal y riego suplementario en Zacatecas 669

Rendimiento y calidad de frijol flor de junio león en dos arreglos topológicos en condiciones de temporal con riego suplementario 672

Potencial forrajero de leguminosas en respuesta a la fertilización quimica e inoculación de la semilla 675

Caracterización morfológica y nutricional de ecotipos de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] 680

Evaluación de las fracciones de carbono orgánico en suelo asociado al cultivo de maíz forrajero (híbrido matador) en respuesta a diferentes láminas de riego 685

Daño causado por *Chaetocnema pulicaria* Melsheimer, 1847 en genotipos de sorgo y mijo perla en un clima tropical cálido - húmedo 690

Germinación de ecotipos de leguminosas forrajeras colectadas en zonas semiáridas 694

Análisis bibliométrico sobre la producción científica de *Apis mellifera* y miel (1975-2025) 698

La higuera (*Ficus carica* L.): cultivo alternativo para las zonas áridas del norte de Mexico, con alto potencial para el mercado nacional y de exportación 702

Diversidad y riqueza de arvenses en plantaciones comerciales de maguey en el estado de Durango 707

Área potencial para el avance del picudo del ejote en áreas productoras de frijol en Durango 712

Producción de forraje y abono verde de leguminosas con fertilización e inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno 717

Potencial forrajero y adaptación de maices regionales en el rancho El Carmen 721

Evaluación nutricional comparativa de ensilados mixtos de girasol (*Helianthus annuus*) y maíz (*Zea mays*) en diferentes proporciones 726

Producción de chile (*Capsicum annuum* L.) fuera de temporado en fecha temprana con uso de microtuneles en La Región Lagunera 732

Inoculantes en los cultivo de trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum* L.), chícharo (*Pisum sativum* L.) y garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y su efecto en la formación de nódulos 736

Evaluación morfo-fisiológica del frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) sometido a estrés hídrico 740

Indicadores morfologicos y estructura radical de *Neltuma glandulosa* (Torr.) producido en sustratos con hidrogel, en vivero 745

Fertilización con fuentes de nitrógeno e inoculación con *Rhizobium etli* en el crecimiento de *Neltuma laevigata* 750

Caracterización nutrimental de chile (*Capsicum annum*) infectado por *Candidatus phytoplasma* Trifoli 755

Tratamiento post-venta sobre la concentración de fibra y almidón de cáscara de tuna: De residuos agrícolas a ingrediente funcional 760

XXI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Ponencias Orales

RENDIMIENTO Y ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE MAÍZ EN MÓDULO X MASITAS, REGIÓN LAGUNERA

Ximena L. Luna-Ramirez[1]; Guillermo J. Pérez-Marroquín[2]; Demetrio S. Fernández-Reynoso[2*]; Antonia Macedo-Cruz[2]; Abel Quevedo-Nolasco[2];Martín A. Bolaños-González[2]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Campus Central Km. 38.5 Carretera México – Texcoco Chapingo, Texcoco, Estado de México CP 56230. [2]Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo Postgrado de Hidrociencias. Km. 36.5 Carretera Federal Los Reyes-Texcoco. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, C.P. 6230. *Autor de correspondencia: demetrio@colpos.mx

Introducción

El concepto de huella hídrica ha creado conciencia sobre el uso sostenible del agua a raíz de una evaluación global de la producción nacional, el consumo y el comercio internacional y como el agua es inherentemente local, satisfacer las crecientes demandas de alimentos y, al mismo tiempo, reducir la huella hídrica de la producción agrícola es uno de los mayores desafíos sociales, por lo que los cálculos de la huella hídrica resaltan los riesgos de las explotaciones locales que podrían afectar potencialmente tanto las operaciones comerciales como a la comunidad circundante.

En México, este desafío es particularmente crítico debido a la disparidad geográfica entre la distribución poblacional y los recursos hídricos. Como señalan Spring et al., 2015, la mayor parte de la población y la producción agrícola se concentran en regiones secas, como el Distrito de Riego 017 en la Comarca Lagunera, una zona con alta productividad de maíz forrajero (43.31 ton ha^{-1} (DGSIAP, 2017))

Las condiciones ambientales de esta región permiten producir maíz forrajero durante la primavera y el verano (Granados-Niño et al., 2022), pero esta región presenta problemas agudos de escasez de agua y sobreexplotación de los mantos acuíferos. Esta situación se agrava por factores como el deficiente control de extracciones, la carencia de fuentes adicionales para abastecer a las ciudades, la presencia recurrente de sequías y la competencia entre los usos alternativos del agua, son problemas que se agudizan cada vez más (Barrios Avalos, 2020).

Derivado de lo anterior el objetivo de este trabajo es estimar la huella hídrica a partir de la estimación del rendimiento del maíz en el módulo X Masitas de Riego 017 Región Lagunera, y para su cálculo se empleó el software AquaCrop de la FAO, que simula el crecimiento y desarrollo de los cultivos en función del consumo de agua bajo condiciones de temporal y riego (Steduto et al., 2009).

La eficiencia del uso del agua es una condición necesaria para mejorar la productividad del agua, por ello obtener la huella hídrica del maíz es esencial para promover prácticas agrícolas y de producción más sostenibles.

Materiales y Métodos

El módulo X Masitas se encuentra ubicado en el municipio de Gómez Palacio, Durango en la parte central de la porción norte de la Comarca Lagunera, entre los meridianos 103° 19' y 103° 42' longitud oeste, y los paralelos 25° 32' y 25° 54' de latitud norte; altitud entre 1 100 y 1 800 m. En la región predomina un clima muy seco semicálido con lluvias en verano; un rango de temperatura de 18 – 22°C y un rango de precipitación de 100 - 400 mm de precipitación en el año (INEGI, 2010). El maíz forrajero se estimó para el ciclo del 21 de marzo al 30 de junio.

En la Figura 1 se muestra el tipo de suelo para el área estudiada, el sitio cuenta con un suelo de textura franco-arcillosa de acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2025).

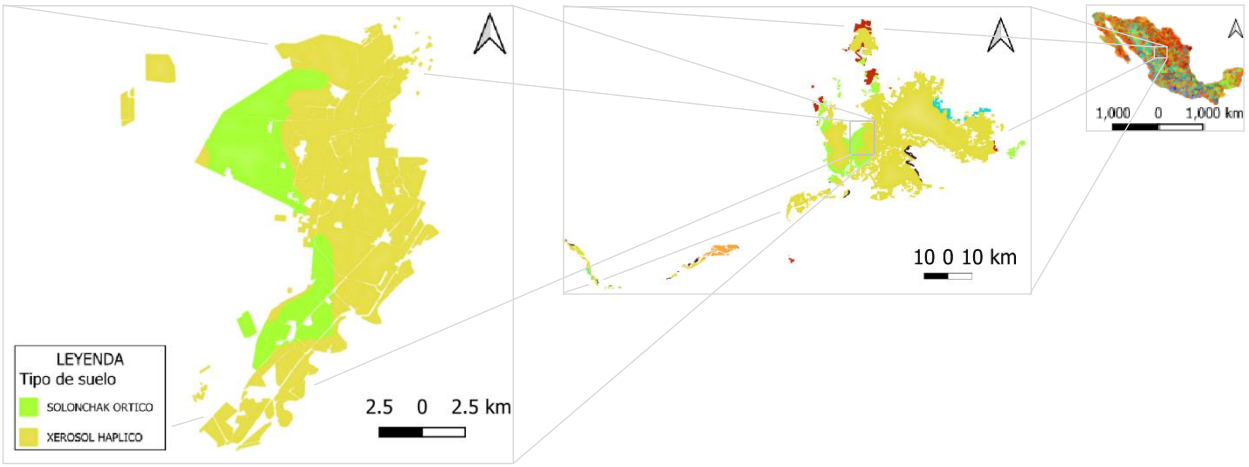


Figura 1. Tipo de suelo en el Módulo X Masitas del Distrito de Riego Región Lagunera, México

Respecto al manejo del riego, esta investigación asume el método de riego por gravedad (surcos) donde el agua destinada al cultivo es agua del rio Nazas (Barrios Avalos, 2020), utilizando el paquete tecnológico del maíz forrajero del INIFAP, 2023): donde se aplican cinco riegos, incluyendo un riego de presiembra, con una lámina en cada riego de 32 cm. Los riegos posteriores se aplican a los 30, 50, 70 y 84 días después de la siembra (DDS)

Para el funcionamiento del programa AquaCrop se requiere de parámetros y datos diarios que condicionan el cultivo. Los más importantes son: clima (definido a través de datos de la red de estaciones meteorológicas), características del suelo, obtenidas de CONABIO y fenología del cultivo (fechas en las que se producen los cambios en los ciclos del cultivo como la nascencia y floración) (Rodríguez Magaz, 2019).

La información climatológica proviene de la estación INIFAP Cenid-Raspa, ubicada en Gómez Palacio, Durango, de los años 2016 al 2019. AquaCrop permite definir el número de meses para los que se desea realizar la simulación, según el cultivo seleccionado. Cabe destacar que la información climatológica de la estación mencionada corresponde a datos de reanálisis, los cuales ofrecen una alternativa confiable para obtener registros consistentes. Su validez fue confirmada con base en el estudio de Jiménez-Jiménez et al., 2025, quienes evaluaron estaciones de la región hidrológica Nazas–Aguanaval localizada entre los estados mexicanos de Durango, Coahuila y Zacatecas. Dicho estudio respalda el uso de estos datos en aplicaciones agrícolas, como la programación del riego (Jiménez-Jiménez et al., 2025).

Utilizando como base la metodología propuesta por Arjen Y. Hoekstra et al., 2021, donde la HH agrícola se calcula como la suma de la Huella Hídrica Azul (HH_a), que corresponde al consumo de los recursos de agua azul (aguas superficiales y subterráneas) y la Huella Hídrica Verde (HH_v) relacionada con el consumo de los recursos de agua verde (el agua de lluvia en la medida en que no se convierta en escorrentía), la metodología fue adaptada para emplear datos de precipitación efectiva (Pe) y evapotranspiración del cultivo (ETc), variables que no son consideradas de forma explícita en la fórmula original propuesta por Mekonnen y Hoekstra (2011).

$$HH = HH_a + HH_v \qquad HH_v = 10\left(\frac{P_e}{R}\right) \qquad HH_a = 10\left(\frac{ET_c - P_e}{R}\right)$$

Donde:

ET_c, es la evapotranspiración del cultivo (mm); P_e, es la precipitación efectiva (mm); R, es el rendimiento del cultivo (t ha^{-1}) y 10, es un factor de conversión de unidades de la lámina en mm a m^3 ha^{-1}.

Resultados y discusión

En lo que respecta a la evapotranspiración del cultivo (ETc), en la Figura 2 se muestran los valores acumulados estimados con AquaCrop durante el ciclo de desarrollo del maíz forrajero en verde. Los resultados obtenidos fueron de 665.7 mm en 2016, 718.7 mm en 2017, 686.1 mm en 2018 y 693.4 mm en 2019, mostrando una tendencia consistente en cada año, como se puede observar en la gráfica.

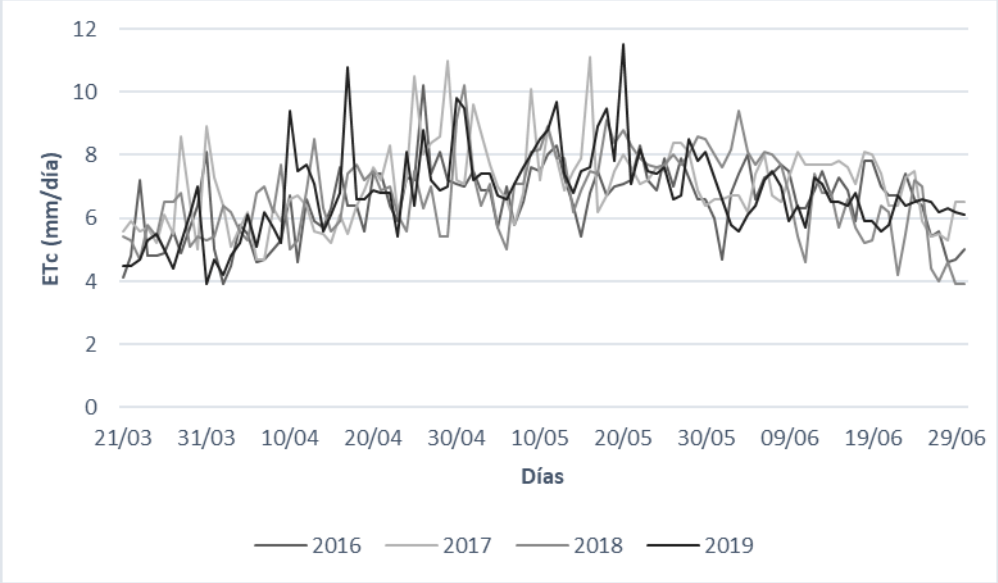


Figura 2. Variación de la ETc durante el ciclo del cultivo en los diferentes años analizados.

Las simulaciones realizadas con el programa AquaCrop arrojaron estimaciones de rendimiento de maíz forrajero en verde con 65% de humedad que, al compararse con los datos reportados por la Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAP), muestran una buena aproximación a los valores reales. En promedio, el rendimiento reportado por la DGSIAP de maíz forrajero en verde fue de 44.97 ton ha^{-1}, mientras que el rendimiento simulado por AquaCrop fue de 46.51 ton ha^{-1}.

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de precipitación efectiva y rendimientos obtenidos directamente de AquaCro, así como los valores calculados de Huella Hídrica (HH)obtenidos, así como sus componentes: Huella Hídrica Verde (HH_v) y Huella Hídrica Azul (HH_a), derivados de los datos generador por el modelo.

Cuadro 1. Resumen de los resultados del rendimiento, precipitación efectiva, Huella Hídrica (HH) y sus componentes obtenidos mediante AquaCrop.

			Huella Hídrica (HH)		
	Pe	R	Azul	Verde	Total
	[mm]	[ton ha^{-1}]	[m^3 ton^{-1}]	[m^3 ton^{-1}]	[m^3 ton^{-1}]
2016	39.70	48.18	371.25	23.54	394.79
2017	24.00	43.91	452.07	15.62	467.69
2018	16.20	46.55	411.21	9.94	421.15
2019	26.50	47.39	402.06	15.98	418.04
Promedio	26.60	46.51	409.15	16.27	425.42

Los valores de huella hídrica (HH) obtenidos en este estudio son consistentes con los reportados por Marcial-Pablo et al., 2024 quienes documentaron una HHtotal de 465 m^3 ton^{-1} ton, desglosada en HHazul 450.71 m^3 ton^{-1} y HHverde 14.78 m^3 ton^{-1}, para maíz forrajero en condiciones similares dentro del Distrito de Riego Región Lagunera. Esetlili et al., 2022 reportaron para maíz una HHtotal de 774 m^3 ton^{-1} con una HHazul 483 m^3 ton^{-1}, en la cuenca de Küçük Menderes, Turquía. A nivel global, Mekonnen & Hoekstra, 2011 estimaron un valor promedio de HHtotal de 612 m^3 ton^{-1} con una HHazul de 455 m^3 ton^{-1} y una HHverde de 157 m^3 ton^{-1} también para el cultivo de maíz. De forma similar, en Chile Felmer Echeverría et al., 2013 reportaron una huella hídrica total promedio de 474.458 m^3 ton^{-1} para este cultivo.

Conclusiones

Estos hallazgos demuestran que el cultivo de maíz tiene una significativa huella hídrica, destacando la importancia de una gestión eficiente del recurso hídrico en su producción.

Referencias

Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya, & Mesfin M. Mekonnen. (2021). Manual de evaluación de la huella hídrica. Establecimiento del estándar mundial. In *Aenor*. https://waterfootprint.org/media/downloads/Water_Footprint_Assessment_Manual_Spanish.pdf

Barrios Avalos, J. J. (2020). *Más allá del Agua: desarrollo urbano de la Comarca Lagunera México después de la regulación del río Nazas*. https://doi.org/10.5821/siiu.6591

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (s. f.-b). *Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad [17,190] - CONABIO*. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/

Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | Gob.mx. (s. f.-b). https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap

Esetlili, M. T., Serbeş, Z. A., Çolak Esetlili, B., Kurucu, Y., & Delibacak, S. (2022). Determination of Water Footprint for the Cotton and Maize Production in the Küçük Menderes Basin. *Aguar (Suiza)*, *14*(21). https://doi.org/10.3390/w14213427

Felmer Echeverría, S., Pérez Ríos, A., & Riquelme Slinas, P. (2013). Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos. *Serie Actas N° 50*, 211. https://www.pj.gov.py/ebook/monografias/nacional/internacional-público/Fernando-Costantini-Agua-virtual-y-Huella-Hidrica.pdf%0Ahttp://bibliotecadigital.ciren.cl//handle/123456789/14673%0Ahttp://biblioteca.inia.cl/link.cgi/Catalogo/Actas/38988.act

Granados-Niño, J. A., Sánchez-Duarte, J. I., Ochoa-Martínez, E., Rodríguez-Hernández, K., Reta-Sánchez, D. G., & López-Calderón, M. J. (2022). Efecto del ciclo de producción sobre el potencial de rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agricolas*, *13*(28), 207–217. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3276

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010 Gómez Palacio,Durango*. https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=08020#collapse-Resumen

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agricolas y Pecuarias, I. (2023). *PAQUETE TECNOLOGICO MAIZ FORRAJERO* (p. 7).

Jiménez-Jiménez, S. I., de Jesús Marcial-Pablo, M., Sánchez-Cohen, I., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Ibarra, M. A., & Urrieta-Velazquez, J. A. (2025). Estimating Reference Evapotranspiration Using Reanalysis Data from the Google Earth Engine: A Case Study From an Arid Hydrological Region in Mexico. *Irrigation and Drainage*, 1–20. https://doi.org/10.1002/ird.3099

Marcial-pablo, M. D. J., Jimenéz-jiménez, S. I., Inzunza-, M. A., & Sánchez-cohen, I. (2024). *RIEGO REGION LAGUNERA*.

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, *15*(5), 1577–1600. https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011

Rodríguez Magaz, L. (2019). DESARROLLO DE SERVICIOS AGROMETEOROLÓGICOS. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

Spring, Ú. O., Sánchez, I., & Cohen. (2015). *Water Resources in Mexico*.

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). Aquacrop-the FAO crop model to simulate yield response to water: I. concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, *101*(3), 426–437. https://doi.org/10.2134/agronj2008.0139s

EXACTITUD TEMÁTICA EN UN CONJUNTO DE DATOS DE USO DEL SUELO Y VEGETACION DE BAJA CALIFORNIA SUR (INEGI SERIE VIII)

Jorge Salazar Arenas[1*], Jesús Emmanuel Pérez Salinas[2]

[1]Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Calle 35 Norte 3626, Colonia Ex - Rancho Colorado, 72044, Heroica Puebla de Zaragoza. [2]Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Calle Selenio 107, Fracc. Cd. Industrial, C. P. 34208, Victoria de Durango, Durango. * Autor de correspondencia: jorge.salazarare@inegi.org.mx

Introducción

La exactitud poligonal de la Serie VII de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI se caracteriza por una escala cartográfica de 1:250 000 y un área mínima cartografiable para vegetación y para uso del suelo de 10 hectáreas. Esto implica que los polígonos que representan los diferentes tipos de vegetación y uso de suelo en el mapa tienen un tamaño mínimo que se traduce en la superficie real sobre el terreno (INEGI, 2024). Aunque la escala y el área mínima establecen límites para la exactitud poligonal, esta se considera útil para análisis regionales y generales. La información de Uso del Suelo y Vegetación está estructurada en un conjunto de datos nacional en el cual se muestra la distribución de la cubierta vegetal en su estado original, en sus fases de conservación/sucesión y la vegetación inducida de acuerdo con el sistema de clasificación del INEGI e incluye las áreas de usos agrícolas clasificadas de acuerdo con la temporalidad del cultivo y la disponibilidad de agua (INEGI, 2014). El conjunto de datos Serie VII, que se elaboró durante el periodo 2017 - 2021, corresponde a una actualización con año base 2018 a partir de la información contenida en la serie VI, por medio de interpretación visual de geomedianas Landsat 8 multiespectrales en falso color y complementada con verificación de campo. Este producto se elabora bajo las Normas Técnicas del Sistema Geodésico Nacional y la Norma Técnica de Estándares de Exactitud Posicional (NTEEP) del INEGI, vigentes desde el 23 de diciembre de 2010, lo cual obliga a que los datos cumplan con ciertos estándares de exactitud. (INEGI, 2024). No hay documentación pública que especifique el orden o error métrico (en metros) alcanzado por la Serie VII, Tampoco aparecen informes técnicos de validación cuantitativa; derivado de lo anterior, se plantea determinar el grado de acierto que tiene la Serie VII de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI. De esta manera, se usa la Norma ISO 2859 que establece parámetros y procedimientos para llevar a cabo el control de calidad mediante el muestreo por atributos (ICOTEC, 2007; Ariza – López y García Balboa, J. L. 2008; Ariza López, F.J. y Rodríguez Avi, J. 2015). Se denominan atributos a las características cuya consideración hace que una unidad pueda ser clasificada como “buena” o “defectuosa”, en este muestreo se plantea la validación de la clave unión asignada a los polígonos seleccionados de manera aleatoria conforme a la Norma ISO 2859, con la finalidad de garantizar la calidad del producto mediante inspecciones adecuadas.

Materiales y métodos

La actualización de la información de Uso del Suelo y Vegetación Serie VIII, se realiza en formato digital y para ello se utilizan los siguientes elementos: geomedianas LandSat 8 año 2023 tanto de época de lluvias como de estiaje, el archivo vectorial de la Serie VII, el Marco Geoestadístico Nacional, la cartografía climática, edafológica, fisiográfica, geológica, topográfica y modelos digitales de elevación. También se utiliza el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (2019) que es generado por la CONAFOR y por supuesto la revisión bibliográfica de la zona de trabajo. La etapa de interpretación preliminar se realizó en el año 2024.

Para realizar la planeación de rutas de trabajo es necesario tener esos insumos en formato tipo Shp y KML para así tener una idea de tiempos y costos de traslado a los sitios que se han determinado para la verificación de campo.

Para realizar el muestreo aleatorio conforme a la norma ISO 2859 es indispensable que se tengan etiquetados la totalidad de los polígonos que se intersecan con la vías de comunicación trazadas en la Red Nacional de Caminos, de esta manera, se genera un buffer de 500 metros sobre dicha vía intersecando con los polígonos de Uso de suelo y vegetación, para poder hacer el muestreo. No debe incluirse la parte marina, así como tampoco país extranjero. Es importante destacar que, de acuerdo con la Norma ISO 2859 se inicia el plan de muestreo simple con un nivel de inspección normal. El paso siguiente es, mediante el comando “Crear puntos aleatorios” en el software ArcGIS Versión 10.8.1, del cual se obtienen una lista de puntos.

Para este caso, el resultado fue de 94 puntos los cuales se exportan a un archivo editable de la App Qfield y se guardan en un dispositivo móvil (Tablet y/o celular) junto con el resto de los archivos auxiliares mencionados.

La verificación de campo se realizó en octubre del mismo año en el conjunto de datos MX_008006 perteneciente a Baja California Sur, con una superficie continental de 11314 Km^2. Las actividades de campo consisten en llegar al polígono que contiene el punto aleatorio y verificar si la clave del polígono corresponde con lo observado en campo, si corresponde solo se deja Ok y si no se coloca la clave alternativa, se toman datos de coordenadas, fotografías, descripción de la zona y en algunos casos, para darle certeza científica al cambio, se realiza la colecta de muestras botánicas que generalmente se prensan in situ para evitar su deshidratación y si no en el lugar de pernocta.

La reinterpretación de gabinete consistió en determinar el grado de acierto y error en la muestra, examinando cada uno de los puntos verificados.

Resultados y discusión

Se visitaron 94 de los 94 puntos aleatorios obteniendo los siguientes resultados: Identificación de 7 clases de Usos del suelo y 20 de vegetación entre primarias y secundarias.

El tipo de vegetación mayormente representado en la muestra fue el Matorral Sarcocaule (MSC) con 35 registros, seguido por el Matorral Sarco Crasicuale (MSCC) con 15, el Matorral Sarco Crasicaule de Neblina (MSN) con 11 y el Matorral Desértico Micrófilo (MDM) con 6.

Los Usos del suelo más representados son la Agricultura de Riego con Cultivos Anuales a Semipermanentes (RAS) con 7 registros.

De acuerdo con algunos de los sitios visitados, se detectaron discrepancias respecto de la edición de gabinete, siendo los más comunes la mala interpretación de las geomedianas al asignar una clave de vegetación equivocada.

Elaboración de una matriz de confusión multiclase, donde cada clase está identificada por una clave, las filas representan las clases reales y las columnas las predicciones del modelo. Los valores en diagonal gris indican las predicciones correctas. Los valores fuera de la diagonal son errores de clasificación (tabla 1).

CLAVE	ACUI	ADV	AH	DV	H2O	MC	MDM	MK	MKX	MSC	MSCC	MSN	PI	RA	RAS	VG	VH	VHH	VM	VSa/MKX	VSa/MSC	VSa/MSCC	VSa/MSN	VSa/VH	VSa/VM	VSa/MDM	VSh/VH	VU	TOTAL
ACUI	1																												1
ADV																													0
AH			2																										3
DV																													0
H2O					1																								1
MC														1															0
MDM							6																						7
MK									1																				0
MKX									2																				4
MSC			1				1			35																			35
MSCC											15												1						15
MSN												11	1										1						11
PI													1																2
RA														1															2
RAS															7														7
VG																													0
VH									1																				0
VHH																													0
VM																												1	0
VSa/MKX																													0
VSa/MSC																					1								3
VSa/MSCC																													0
VSa/MSN																													2
VSa/VH																													0
VSa/VM																													0
VSa/MDM																													0
VSh/VH																													0
VU																													1
TOTAL																													
	1	0	3	0	1	0	7	0	4	35	15	11	2	2	7	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	1	94

Tabla 1. Matriz de confusión de la muestra verificada en campo.

Predicciones correctas. Si observamos algunos de los valores de la diagonal tenemos 83 casos reales etiquetados correctamente.
Errores de clasificación. Como ejemplo, revisamos dos clases:

- La clase MSCC fue confundida 1 vez con MSN;
- La clase MSC fue confundida 1 vez con MDM y otra vez con AH.

Estos errores, muestran en dónde el modelo tiende a confundir clases similares, lo cual puede dar pistas para mejorarlo (más datos, mejor distinción entre esas clases).

Precisión por clase: $\text{Precisión}_{clase} = \frac{\text{Aciertos}}{\text{Total de muestras de esa clase (suma fila)}}$, de acuerdo con la fórmula el resultado indica que la exactitud poligonal de la muestra del conjunto MX_008007 fue del 88%, que corresponden a 83 puntos. Los 11 puntos restantes (13%) representan errores en la interpretación de la Serie VII. Con esto decimos con certeza que el resultado de la evaluación de la muestra es muy bueno.

Conclusiones

El muestreo aleatorio de los polígonos editados de nuestro tile nos apoya en la validación de la calidad temática del mismo, mediante la verificación en campo de los polígonos seleccionados lo cual permite medir la exactitud de este.

Para tener una buena interpretación en gabinete es indispensable tener no solo las geomedianas LandSat 8 de secas y lluvias sino además insumos de apoyo que nos apoyen en la interpretación (imágenes de alta resolución, imágenes Sentinel 2).

La investigación bibliográfica preliminar también es una herramienta que nos brinda información detallada sobre la cobertura del suelo en nuestra área de trabajo.

El trabajo de campo es indispensable no solo para reforzar la interpretación preliminar sino además para darle certeza científica a la hipótesis planteada.

Aunque las fotografías brindan un panorama del lugar, es indispensable realizar la colecta de ejemplares botánicos de las especies que no solo caracterizaran el tipo de vegetación sino también la condición ecológica del mismo.

El uso de imágenes de época seca y de lluvias es fundamental para interpretar la estacionalidad de la vegetación. Por esta razón usar imágenes de seca y lluvia permite captar la dinámica anual de la vegetación, distinguir mejor los tipos de cobertura y comprender tanto su estacionalidad como su estado de conservación.

El uso de imágenes de alta resolución contribuye a ayudar en la determinación, sin que estás sean el insumo base.

Integrar un mayor número de puntos aleatorios por clase determina el grado de representatividad, una reducción en el sesgo estadístico y una mayor confiabilidad en la validación.

Los errores más comunes corresponden a omisión y/o comisión, ya que se afecta a la clase en donde se presenta, en alguna se sub cuantifica y en la otra se sobre cuantifica.

Referencias

Ariza – López, F. G. y García – Balboa, J. L. 2008. Normas sobre calidad en información geográfica (ISO 19113, ISO 19114, ISO 19138, ISO 2859 e ISO 3951).

Ariza López, F.J. y Rodríguez Avi, J. (2015): “Aplicación de las Normas ISO 2859-1 e ISO 2859-2 en el control posicional de suministros de datos espaciales, aplicación al caso de puntos y líneas”, GeoFocus, nº 15, p. 27-46. ISSN: 1578-5157

ICOTEC, 2007. Procedimientos de muestreo para inspección por atributos parte 10: Introducción a la serie de normas NTC – ISO 2859 sobre el muestreo para el muestreo por atributos.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Diccionario de datos de Uso del Suelo y Vegetación: Escala 1:250, 000: Versión 3. México: INEGI, c2014. 215 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2018. Metodología para la generación de información de Uso del Suelo y Vegetación, México: INEGI, c2018. 234 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2024. Diccionario de Datos de Uso del Suelo y Vegetación Escala: 1:250 000 (Versión 3), 207 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Coordinación General de Planeación e Información (CGPI), Gerencia del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (GSNM). Inventario Nacional Forestal y de Suelos. 2019. México. https://snmf.cnf.gob.mx/documentos-metodologicos/

LA ENERGÍA SOLAR, UNA OPCIÓN PARA MINIMIZAR LA PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE PRODUCTOS PRIMARIOS: CASO GUAYABA CON VALOR AGREGADO

Jorge A. Zegbe-Domínguez[1], Mayra Denise Herrera[2], Juan José Figueroa-González[2], Blanca I. Sánchez-Toledano[2]

[1]Campo Experimental Pabellón-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas, C.P. 20670, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. [2]Campo Experimental Zacatecas-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Zacatecas-Fresnillo km 24.5, C.P. 98500, Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. *Autor para correspondencia: zegbe.jorge@inifap.gob.mx

Introducción

La pérdida y desperdicio de alimentos (PDA) en el mundo se estima en 1,300 millones de toneladas (t). En México, fuentes oficiales estimaron en 2017 una PDA de 20.4 millones t. Sin embargo, lejos de reducir este problema, éste ha incrementado de 24 a 30 millones t entre 2021 y 2023 (Vega, 2024). Esa PDA sería suficiente para alimentar a casi 11 millones de mexicanos en pobreza y pobreza extrema. La PDA ocurre en los distintos estabones de producción, distribución y consumo de los productos primarios (PP) y elaborados (PE). Las causas de PDA son diversas, entre ellas podría señalarse las siguientes: 1) productos por debajo de las normas de calidad, principalmente tamaño; 2) sobreproducción/bajos precios; 3) cancelaciones; 4) falta o inadecuada infraestructura, 5) injusta intención de compra; 6) caminos intransitables; 7) transporte inadecuado y 7) inseguridad, entre otros (CCA, 2017). Este problema involucra, además, la pérdida de recursos como agua y suelo, pero al mismo tiempo contribuye a la contaminación ambiental, debido a la emisión de CO_2 eq (Chen et al., 2020). Entonces, minimizar la PDA es imperativo. Una alternativa es la captación y uso de la energía solar para deshidratar PP, revalorizarlos agregando valor, minimizando pérdidas en los eslabones de producción, distribución y consumo en beneficio de la seguridad alimentaria y salud humana (Guzmán et al., 2025).

Para México la guayaba es un frutal relevante ya que se cultiva en aproximadamente 21, 000 ha donde se producen poco más de 302, 000 t por año y genera ingresos aproximados de dos mil millones MXN ($ 103 mil millones USD) (SIAP, 2025). La guayaba es un fruto climatérico cuya pérdida y desperdicio oscila en 37.8% en toda la cadena de valor. Por tanto, después de la cosecha la fruta pasa por cuatro estados fisiológicos como es el pre-climatérico, climatérico, maduración de consumo y senescencia. Como en otras frutas, manipular el estado pre-climatérico contribuye a minimizar la actividad metabólica con fines comerciales (Kader et al., 2002). No obstante que este último estadio puede ser prologado, inevitablemente su proceso de vida continúa sufriendo cambios significativos que se notan en la pérdida de la firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles, acidez, deterioro del color que alteran la apariencia y calidad, atributos que son percibidos por el consumidor al momento de la compra. Al respecto, poca información ha sido dedicada a generar información al estado de la calidad de esta fruta cuando visualmente deja de ser atractiva para consumo en fresco y la posibilidad de generar nuevos productos en lugar de desperdiciarla. Por lo tanto, el objetivo fue valorar algunas propiedades funcionales y capacidad antioxidante en polvos de guayaba en madurez de consumo y senescente, cuya agua fue previamente removida con un deshidratador solar rústico.

Materiales y Métodos

El experimento fue establecido en la planta piloto agroindustrial del Campo Experimental Zacatecas (CEZAC; 22º 54' N, 102º 39' O) con una altitud de 2 197 msnm, temperatura media anual de 14.6 ºC, precipitación pluvial media anual de 416 mm y evaporación promedio anual de 1609 mm. La velocidad media anual del viento e irradiación solar (IR) fueron de 4 m s^{-1} y 520 W m^{-2}, respectivamente. El experimento fue conducido del 24 al 26 de octubre de 2022 cuando los elementos del clima, incluyendo la IR, tienden a disminuir en el hemisferio norte (Figura 1a).

Dos tipos de guayaba fueron usados: guayaba en estado lista para ser comercializada y consumida. Esta se adquirió en huertas de guayabo. La segunda fruta en estado senescente, cuando de manera visual pierde la atención del consumidor y podría considerase como desperdicio. Este tipo de fruta se obtuvo en la central de abastos de la ciudad de Zacatecas. Antes de la experimentación, ambos tipos de fruta fueron lavadas y rebanadas a un grosor uniforme de 5 mm. El proceso de remoción del agua se hizo en deshidratadores solares rústicos colocando 500 g de fruta rebanada en las charolas de secado (Figura 1b). Este proceso tuvo una duración de tres días con mediciones discontinuas. Es decir, únicamente durante el día de 9:00 a 18:00 h hasta llegar a masa constante (≈ 27 h IRI). Después de la última lectura de cada día, las entradas y salidas de los deshidratadores fueron bloqueas con polietileno para evitar ingreso de humedad durante la noche. Al día siguiente, los polietilenos fueron retirados a las 9:00 h. Las mediciones de masa de cada charola fueron hechas cada 60 min con una balanza digital (± 0.01 g) hasta alcanzar una masa constante. Una vez secas, las muestras de cada charola fueron pulverizadas, empaquetadas y llevadas al laboratorio para la determinación del análisis proximal, polifenoles, carotenoides y capacidad antioxidante (Herrera et al., 2023).

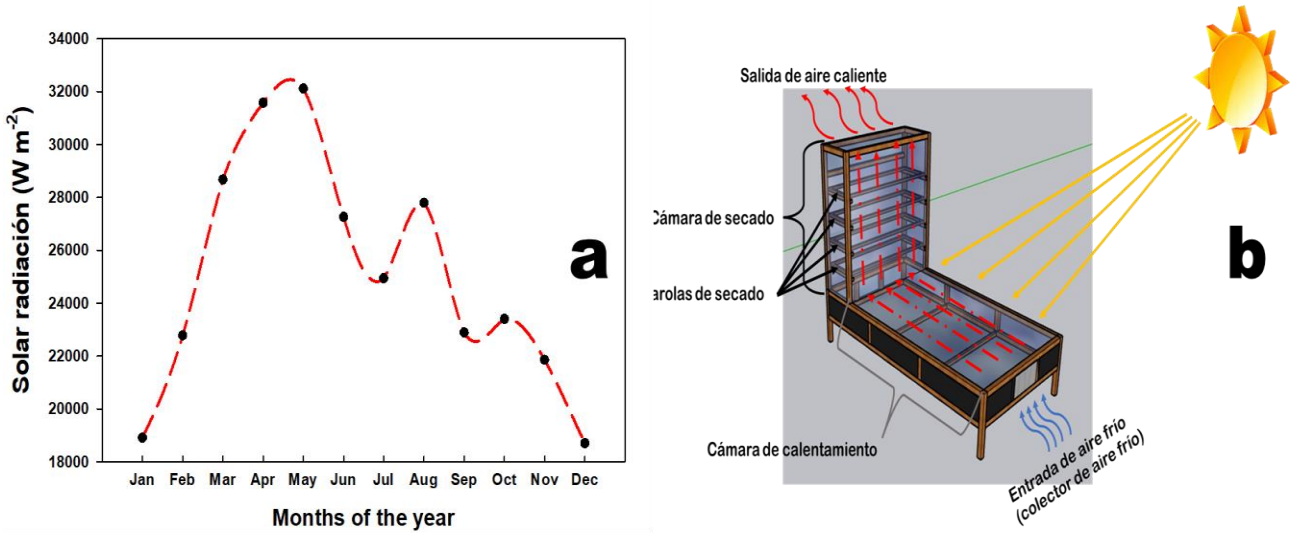


Figura 1. Radiación solar promedio mensual del Campo Experimental Zacatecas (a) y deshidratador solar rústico (b) (SEMARNAT, 2008).

La información se analizó con un modelo completamente aleatorio con cuatro repeticiones dentro cada deshidratador. En la separación de medias de tratamientos se aplicó la prueba *post-hoc* de Fisher ($p \leq 0.05$). Todos los cálculos se efectuaron en el sistema de análisis estadístico (Versión 9.3, 2002-2010; SAS Institute, Cary, NC, USA).

Resultados y Discusión

El análisis proximal indicó que los lípidos, carbohidratos y cenizas no sufrieron cambios medibles, excepto por las proteínas, las cuales se redujeron 15% en la fruta en senescencia. Los carbohidratos no digestibles permanecieron sin cambios medibles entre polvos de guayaba. En contraste, las concentraciones de licopenos, flavonoides y taninos condesados fueron más altos en el polvo de guayaba a madurez de consumo que en el polvo de fruta senescente en 13%, 15.3% y 44.0%, respectivamente. En contraste, la capacidad antioxidante tendió a incrementarse en el polvo de la fruta senescente en 2.2% y 131% por los métodos de DPPH y ABTS, respectivamente (Herrera et al., 2024). Este estudio abre la posibilidad de dar una segunda oportunidad a la fruta que en apariencia podría resultar en desperdicio, no solamente procesándola en fresco o transformándola a un nuevo producto para extender la vida de anaquel o generar otro tipo de energía antes de considerar el desperdicio (Santeramo y Lamonaca, 2021; Figueroa-González et al., 2022). De hecho, a partir de este estudio, se desarrolló una tisana con ambos polvos de guayaba. El análisis sensorial reveló una aceptación similar entre panelistas (Sánchez-Toledano et al., 2024).

Cuadro 1. Influencia del estado de madurez de la guayaba en algunas propiedades funcionales y capacidad antioxidante (Herrera et al., 2024; información no publicada).

	Madurez de la fruta	
	Madura	**Senescente**
Análisis proximal (%)		
Proteína	▲ a*	▼ b
Lípidos	≅ a	≅ a
Cenizas	≅ a	≅ a
Carbohidratos	≅ a	≅ a
Carbohidratos no digeribles (%)		
Fibra total	≅ a	≅ a
Fibra soluble	≅ a	≅ a
Fibra insoluble	≅ a	≅ a
Almidón resistente	≅ a	≅ a
Capacidad antioxidante (%)		
DPPH	▼ a	△ a
ABTS	▼ a	△ a

Simbología para los valores: ▲ sin cambio; ▼ reducción; △ tendencia; ≅ similitud. * Letras minúsculas disímiles indican diferencias estadísticas con $p \leq 0.05$ según la prueba de Fisher.

Conclusiones

En resumen, aprovechando los recursos naturales disponibles como la energía solar, la pérdida y desperdicio de alimento pude minimizarse con la extensión de la vida de anaquel y agregación de valor con el desarrollo nuevos subproductos.

Referencias

CCA (Comisión para la Cooperación ambiental). (2017). Caracterización y gestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos en América del Norte. Informe sintético. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal. 52 p.

Chen, C., Chaudhary, A., & Mathys, A. (2020). Nutritional and environmental losses embedded in global food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 160, 104912. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104912.

Figueroa-González, J.J., Servín-Palestina, M., Zegbe, J.A., & Martínez-Ruiz, A. (2022). Drying kinetics models for guava slices dried with a rustic solar dehydrator. *Journal of Experimental Systems*, 9-27:9-16. DOI: 10.35429/ JOES.2022.27.9.9.16

Guzmán, G., El Mekaoui, A., Torres-Wong, M., Cetina-Quiñones, A.J., Bassam, A., & Castro-Salazar, J.I. (2025). Risk management in sustainable indigenous energies in the Mexican southeast: Towards new resilience routes for Mayan communities to climate change. *Energy Research & Social Science*, 127,104194. https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.104194.

Herrera, M.D., Álvarez-Sánchez, F.I., Ortiz-Rodríguez, N.M. & Flores-Prieto, J.J. (2023). Solar drying modes of saladette tomatoes slices on phytochemicals and functional properties. *Solar Energy*, 262: 111903. https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111903.

Herrera, M.D, Figueroa-González, J.J, Melero-Meraz, V. & Zegbe-Domínguez, J.A. (2024). Avances en el desarrollo de un nuevo producto a base de guayaba. Determinación de la vida útil de las frutas.: Guayaba (*Psidium guajava*). Informe Técnico II. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 16 p.

Kader, A.A. (2002) Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3rd Edition, University of California, Agriculture and Natural Resources, Oakland, Publication 3311, 535 p.

Sánchez-Toledano, B.I., Zegbe-Domínguez, J.A. & Figueroa-González, J.J. (2024) Informe sensorial de tisana de guayaba. Informe Técnico. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 30 p.

Santeramo, F.G. & Lamonaca, E. (2021). Food loss–food waste–food security: a new research agenda. *Sustainability*, 13, 4642. https://doi.org/10.3390/su13094642

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2008). Transferencia de tecnología y divulgación sobre técnicas para el desarrollo humano y forestal sustentable. Deshidratador solar de alimentos. Comisión Nacional Forestal. https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/manual-Deshidratador-Solar-de-Alimentos.pdf (Consultado el 14 de agosto de 2025)

Vega, G. (2024). Es preciso detener la pérdida y desperdicio de alimentos en México. https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/es-preciso-detener-la-perdida-y-desperdicio-de-alimentos-en-mexico/#:~:text=Impacto%20de%20la%20p%C3%A9rdida%20y,%2C%20agresivas%2C%20disciplinarias%20e%20intersectoriales. (Consultado el 14 de agosto de 2025)

COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS DE ANALISIS GEOESPACIAL EN USO DE SUELO Y VEGETACIÓN: FOTOINTERPRETACIÓN TRADICIONAL O SEGMENTACIÓN CON USO DE DEEP LEARNING E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Jesús Emmanuel Pérez[1*], Jorge Salazar Arenas[2]

[1]Instituto Nacional de Estadística y Geografía, C. Selenio 107, Fracc. Cd. Industrial, C. P. 34208, Victoria de Durango, Durango. [2]Instituto Nacional de Estadística y Geografía, C. 35 Norte 3626, Colonia Ex - Rancho Colorado, 72044, Heroica Puebla de Zaragoza. *Autor de correspondencia: emmanuel.perez@inegi.org.mx

Introducción

Durante la última década se han inventado gran cantidad de tecnologías de hardware y software que han coadyuvado al cubrimiento de diversas necesidades en distintas áreas de la actividad humana (Evdokimov, 2017). El avance actual al que ha llegado la tecnología en distintos rubros nos permite explorar y experimentar nuevas técnicas que se pueden adaptar a necesidades específicas y que podrían responder a la demanda de hacer más eficientes ciertos procesos, como son la aplicación de inteligencia artificial y redes neuronales artificiales.

En el caso específico de las redes neuronales artificiales, Yegnanarayana (2006) menciona que son modelos que se asemejan al sistema neuronal biológico y que permiten habilitar cierta instrumentación de inteligencia artificial que puede resolver tareas o problemáticas. Gruzenkin (2019) resalta la importancia de las redes neuronales artificiales para el aprendizaje automático y su uso en tareas tales como el reconocimiento de imágenes o incluso el análisis profundo de datos.

A diferencia del aprendizaje automático tradicional, que suele trabajar con una o dos capas de representaciones, el aprendizaje profundo utiliza muchas capas, lo que le permite captar patrones y características más abstractas y profundos de los datos (Vargas et al., 2017). El Aprendizaje Automático podría convertirse en la tecnología que puede dar este gran salto en el manejo de los recursos naturales y el medio ambiente, en un contexto de cambio climático, al lograr comprender, aprender y responder, diferentes situaciones basadas en el aprendizaje para contrarrestar la perdida y degradación de recursos naturales, formar parte de los sistemas de alerta temprana, y contribuir de manera elevada a un desarrollo sostenible de los territorios (Sedeño y Madera, 2022).

Los modelos pre entrenados en el contexto de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático son modelos que ya han sido entrenados en un gran conjunto de datos para realizar una tarea específica. Una vez entrenados, estos modelos pueden ser reutilizados o adaptados para tareas similares o relacionadas, lo que se conoce como aprendizaje por transferencia (H. Chen et al., 2021).

Muchos de los productos cartográficos que se realizan en la actualidad dependen altamente de análisis subjetivos a través de fotointerpretación tradicional a diferencia de la segmentación automática a la cual se puede llegar a través de un modelo pre entrenado de aprendizaje profundo.

Materiales y Métodos

Se estableció el área de estudio en las coordenadas extremas de 24°16’36.43” N, 104°48’50.72” O y 24°11’29.36” N, 104°37’43” O, ubicado entre los límites de los municipios de Durango y Canatlán en el estado de Durango. La zona de estudio cuenta con alto impacto de actividad agrícola y pecuaria, con algunas zonas remanentes de Bosque de pino y encino, así como matorral crasicaule (Figura 1).

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

Edición geoespacial por fotointerpretación. Para la edición geoespacial se utilizó la técnica de fotointerpretación tradicional sobre una geomediana Sentinel para el año 2023 en combinación 8,4,3. El análisis fue en base al “expertise” de un especialista “humano” en uso de suelo y vegetación. Determinando las clases presentes a un mínimo de 10 hectáreas de acuerdo con el sistema de clasificación del catálogo de tipos de vegetación natural e inducida como describe INEGI (2024).

Segmentación basada en Deep learning e IA. Para la segmentación automatizada con aprendizaje profundo se partió de las clases previamente identificadas y etiquetadas y se definieron sitios de entrenamiento, previo a la modelación, para cada clase identificada. Los sitios de entrenamiento se aplicaron a nivel de píxel y hasta en conjuntos de área de pixeles a través de la función de parcelas por polígono, rectángulo y circulo. Para definir el número de parcelas de entrenamiento se aplicó un muestreo estratificado sobre las clases definidas de vegetación mediante la fórmula:

$$n_i = n \cdot \frac{N_i}{N}$$

siendo N el número de elementos de la población, n el de la muestra, N_i el del estrato i

Las parcelas de entrenamiento se sometieron a un proceso de exportación de muestras de entrenamiento para “Deep learning” y el archivo resultante se procesó para el entrenamiento y generación de un modelo de clasificación predictivo para 7 clases: Agua, Zonas urbanas, Vegetación secundaria en general, Bosque (coníferas y latifoliadas), matorrales xerófilos, Pastizales naturales y agricultura.

Resultados

Edición geoespacial por fotointerpretación. La edición geoespacial por fotointerpretación se realizó de acuerdo a la codificación de claves de la carta de uso de suelo y vegetación, serie VII (INEGI, 2020), resultando en un total de 8 clases de vegetación: Bosque de pino-encino (BPQ), Bosque de encino (BQ), vegetación secundaria arbustiva de bosque de Pino-encino (VSa/BPQ), Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino (VSa/BQP), Pastizal Natural (PN), vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural (VSa/PN), Matorral crasicaule (MC) y vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule (VSa/MC). A su vez, se determinaron 4 clases de uso de suelo: agua (H2O), áreas urbanas (AH), agricultura de riego (RA) y agricultura de temporal (TA) Figura 2.

Figura 2. Mapa temático de uso de suelo y vegetación.

Definición de clases para entrenamiento. Partiendo de las clases resultantes por fotointerpretación se realizó una reclasificación de los tipos de vegetación a agrupaciones vegetales, resultando un total de 4 clases de vegetación: Bosque (coníferas y latifoliadas), Matorrales, Pastizal natural y Vegetación secundaria en general. En el caso de los usos de suelo se reclasificaron resultando 3 clases: Agua, Zona urbana y Agricultura.

Parcelas de entrenamiento. Sobre las clases identificadas por fotointerpretación se establecieron las parcelas de entrenamiento de acuerdo con la simbología reclasificada y aplicada sobre pixeles correspondientes. La carga de parcelas de entrenamiento fue variable de acuerdo con la superficie presentada por cada una de las clases agrupadas y reclasificadas.

Se priorizó la representatividad de parcelas en cada una de las clases de manera que las muestras abarcasen la cantidad suficiente de pixeles puros (de la clase). Las parcelas de entrenamiento aplicadas sobre el mapa quedaron como se muestra en la figura 3.

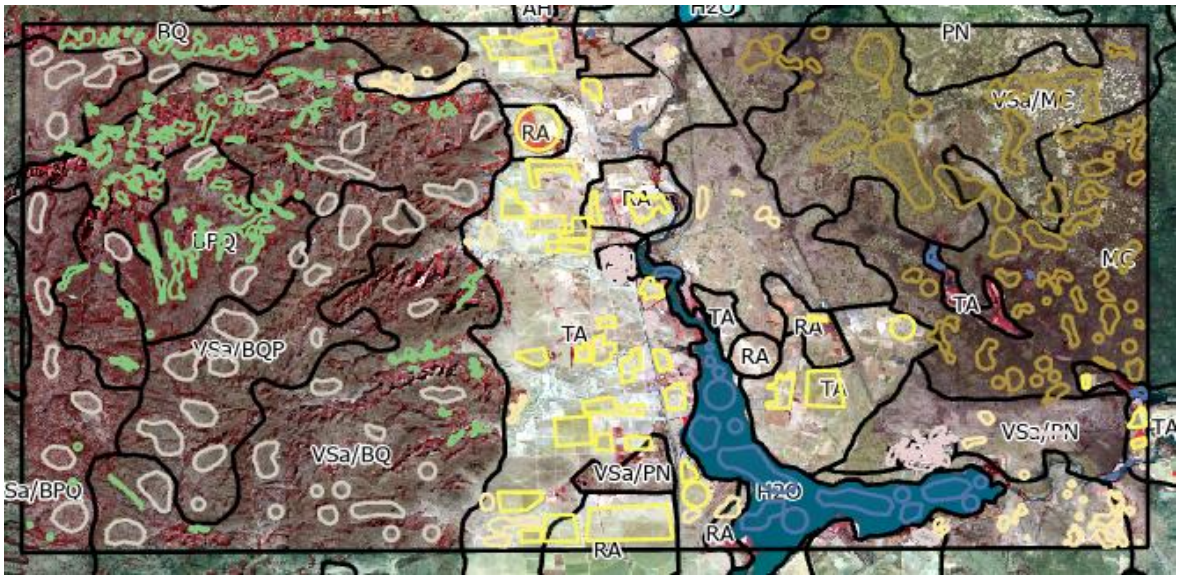


Figura 3. Parcelas aplicadas por agrupación

Establecimiento de datos para "Deep learning", entrenamiento de datos y modelo para "Deep learning". Las parcelas de entrenamiento se exportaron bajo el geoproceso de preparación de metadatos y alineación de muestras para análisis de redes neuronales. Resultando un archivo de texto preparado con los datos intrínsecos de los valores de píxeles puros por clases. A partir del archivo de texto preparado se comenzó el geoproceso de entrenamiento a través de la arquitectura U-Net de red neuronal convolucional (CNN) resultando así un modelo de segmentación de imágenes, donde cada píxel puro de la imagen de entrada se clasifico para determinar a qué clase (agrupación vegetal o uso de suelo) pertenece.

Modelo sobre ráster para clasificación de usos de suelo y vegetación. Con el modelo generado y aplicado sobre la escena sentinel se clasificaron los pixeles generando una segmentación basada a su vez en el modelo generado de Deep learning, obteniendo así un mapa temático en formato tiff que muestra una primera aproximación (mejorable y re entrenable) de la clasificación de vegetación y uso del suelo, como se muestra en la figura 4.

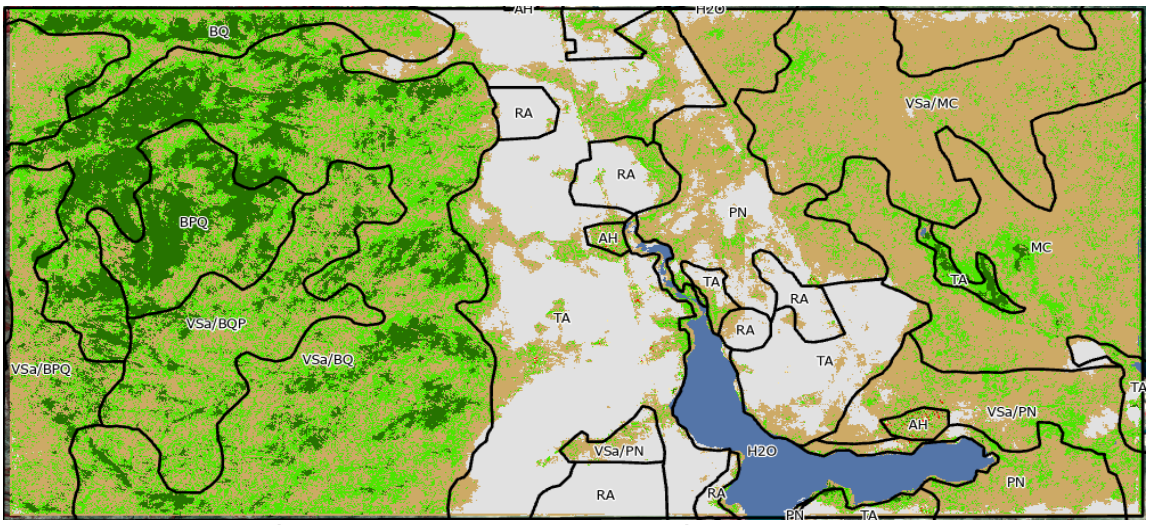


Figura 4. Mapa ráster resultante de la clasificación de pixeles con Deep learning.

Recomendaciones. Se recomienda evaluar la pertinencia y limitaciones actuales a las que se puede enfrentar al utilizar este tipo de herramientas para el procesamiento de información geoespacial. Al realizar procesos con este tipo de modelos es común que se deba añadir más procesos, como correcciones, eliminación de falsos positivos, reedición, estética focalizada y suavizamiento de la información resultante.

Conclusiones

Actualmente existe un creciente auge y sensacionalismo en torno a los términos “Deep learning” e “inteligencia artificial” que, si bien representan un gran número de ventajas en ciertos procesos, también se deben usar con cierta discrecionalidad.

En el caso específico de la clasificación de uso de suelo y vegetación, se debe destinar más datos y tiempo de entrenamiento para obtener mejores resultados, así como explorar o inclusive crear distintos modelos hasta desarrollar uno que sea acorde a la información que se genera.

Referencias

Chen, H., Wang, Y., Guo, T., Xu, C., Deng, Y., Liu, Z., Ma, S., Xu, C., Xu, C., & Gao, W. (2021). Pre-Trained Image Processing Transformer (pp. 12299–12310).

Evdokimov IV, Khaluimov A. S., Sokolov N. V. and Golokhvastov S. E. 2017. The Information Community of the Arctic in Russia: Evaluation of the Expenses for the IT Projects Development, Characteristics of the Labour Costs Calculating Arctic Yearbook ed Heininen L, Exner-Pirot H et al (Iceland: Northern Research Forum) pp 1-15

Gruzenkin, D. V. et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1399 033058

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2020). Carta de Uso de Suelo y Vegetación (Serie VII). Escala 1:250 000, México: INEGI

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2024. Diccionario de Datos de Uso del Suelo y Vegetación Escala: 1:250 000 (Versión 3), 207 p.

Sedeño, Erick et al 2022. Machine Learning as Tool for the Integrated Management of Natural Resources in a Climate Change Context. CENTRO DE INVESTIGACIONES DE MEDIO AMBIENTE DE CAMAGÜEY, Cuba. Revista Cubana de Transformación Digital. ISSN-e: 2708-3411

Vargas R., Mosavi A., Ruiz L. (2017). Deep learning: A review. *Advances in Intelligent Systems and Computing.*

Yegnanarayana B 2006 Artificial Neural Networks (New Delhi: Prentice-Hall of India Pvt Ltd)

MANEJO Y CALIDAD DEL ESTIÉRCOL BOVINO COMO ESTRATEGIA DE AGRICULTURA SOSTENIBLE PARA LA LAGUNA

Ana Laura Olivas Pérez[1*]; Selenne Yuridia Márquez Guerrero[1], Alejandro Moreno Reséndez[2], Pablo Preciado Rangel[1], Manuel Fortis Hernández[1], Arturo Reyes González[3]

[1] Instituto Tecnológico de Torreón, Carr. Torreón - San Pedro de Las Colonias, km 7.5, Ej. Ana, CP. 27170. Torreón, Coahuila, México. [2] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Periférico Raúl López Sánchez, Valle Verde, CP. 27054 Torreón, Coahuila, México. [3] INIFAP NORTE CENTRO, Av. Cuauhtémoc, Centro, 27440 Matamoros, Coahuila, México. Autor de correspondencia: analauraolivasperez@gmail.com

Introducción

La industria láctea en México constituye uno de los pilares de la producción agropecuaria nacional, tanto por su relevancia económica como por su contribución a la seguridad alimentaria. El país cuenta con un hato bovino de aproximadamente 2.49 millones de cabezas para producción de leche, destacando como principales estados productores Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato (Robledo Padilla, 2023). No obstante, esta actividad enfrenta retos importantes relacionados con la elevada generación de estiércol y la presión ejercida sobre los suelos destinados a la producción de forrajes. El manejo inadecuado de estos residuos puede convertirse en un problema ambiental, al generar emisiones, proliferación de patógenos y saturación de nutrientes en los suelos. En este contexto, el compostaje representa una alternativa sustentable que permite transformar los residuos orgánicos en un producto estable, higienizado y con alto contenido de materia orgánica y nutrientes aprovechables (Jaimes et al., 2022).

El proceso, al realizarse bajo condiciones controladas de aireación, humedad y temperatura, no solo estabiliza el material, sino que también contribuye a eliminar bacterias, huevos de parásitos y semillas viables de malezas, lo que disminuye riesgos fitosanitarios (López et al., 2021). Este proceso se divide en cuatro fases, la fase mesófila que es donde los microorganismos mesófilos actúan a temperatura moderada, la fase termófila que es cuando el aumento de la temperatura del material elimina los patógenos, la fase de enfriamiento donde la temperatura desciende y los microorganismos mesófilos procesan los nutrientes del compost y la fase de maduración, es la fase final donde la materia orgánica se estabiliza y está lista para ser aplicada en el suelo, estas fases se pueden identificar al monitorear algunas características del materia, como es la temperatura, la humedad y el pH.

Sin embargo, la aplicación masiva del compost sin una planeación adecuada puede ocasionar efectos negativos, como la sobresaturación de sales o el desbalance de macro y micronutrientes, lo que afecta directamente la calidad y productividad de los suelos agrícolas (González y Herrera, 2019). De ahí surge la necesidad de establecer estrategias de manejo que integren tanto la valorización de los residuos como la protección de los recursos naturales. El objetivo de este estudio fue analizar de manera conjunta las características del compost y del suelo, con el propósito de establecer dosis de aplicación más eficientes. De esta forma, se busca optimizar el uso del compost como abono orgánico, potenciando sus beneficios agronómicos sin comprometer la sustentabilidad de los sistemas agrícolas de la Comarca Lagunera.

Metodología

El estudio se llevó a cabo en el establo DESLAC, ubicado en las coordenadas geográficas 25°48'31" N y 103°21'14" O, a una altitud de 1,107.59 m s. n. m. En este primer capítulo se desarrollaron dos actividades principales: la producción de compost y el análisis de suelo en las tablas destinadas al estudio. Para la elaboración y evaluación del compost se establecieron tres pilas de 1.5 m de alto, 3 m de ancho y entre 350 y 500 m de largo, siguiendo la metodología propuesta por la FAO (2013). Se empleó material acumulado durante tres años, compuesto por estiércol fresco proveniente de las naves de los animales y por el residuo sólido obtenido mediante el separador de sólidos. Este material se utilizó en su forma fresca o semiseca. Además, se revolvió con un aditivo especializado para compostaje, el cual permitió homogenizar y humedecer la materia, asegurando condiciones uniformes en todas las pilas y se cubrieron con residuos plásticos provenientes de los silos.

Durante la fase de maduración del compost se monitorearon la temperatura, la humedad y el pH de las tres pilas, con el propósito de verificar el adecuado desarrollo de cada etapa del proceso. Para ello se empleó un termómetro de compost de un metro de longitud, con el que se registraron los valores en el centro de las pilas, así como un higrómetro de compost de las mismas dimensiones y un higrómetro de suelo, utilizados para medir la humedad superficial y el pH. Este seguimiento permitió confirmar que las pilas alcanzaron las temperaturas requeridas para la eliminación de patógenos y semillas de malezas, además de comprobar que la humedad y el pH se mantuvieron en rangos óptimos para el proceso, lo que favoreció la calidad del compost obtenido, se realizó un análisis de medidas repetidas con PROC MIXED de SAS, para comparar el efecto del tiempo en los diversos factores. Al finalizar el proceso de producción de compost, se realizaron pruebas de laboratorio para determinar su composición química, en particular los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), así como el pH y el contenido de materia orgánica. Estos resultados se compararon con los valores de referencia establecidos para compost de calidad, con el fin de evaluar su idoneidad como abono.

Previo al establecimiento del cultivo, se efectuó un muestreo de suelo para determinar sus características físicas y químicas, siguiendo lo establecido en el manual para metodología de suelo (Díaz-Romeu & Hunter 1978). Para este análisis, el área de estudio se dividió en tres tratamientos, definidos por las tablas donde se llevaría a cabo el estudio; tabla 9 (sin materia fresca), tabla 21 (con materia fresca) y tabla 21 (sin materia fresca). Ya que estas tablas tienen una longitud aproximada de tres hectáreas (ha), cada tratamiento se subdividió en una ha y se identificaron como H1, H2, y H3. Para el muestreo de suelo se tomó una muestra compuesta a partir de cinco puntos al azar, estos puntos se dividieron en dos profundidades; la superficial con una profundidad de 0 a 30 cm y la inferior de 30 a 60 cm, estas muestras se introdujeron en botes de 20 litros de capacidad y se mesclaron para poder tener una muestra que representara toda el área analizar, después de colocaron bolsas de plástico con cierre, previamente identificadas para después ser analizadas en laboratorio.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en el monitoreo de las pilas de estiércol (Cuadro 1) muestran que no hubo diferencias significativas entre pilas durante todo el proceso. Sin embargo, sí se detectaron diferencias asociadas al efecto del tiempo, lo cual se explica por las distintas fases que atraviesa el material en la producción de compost. Esto también se refleja en la interacción fecha × pila, donde se observa que el efecto principal proviene del tiempo y se manifiesta de manera similar en las tres pilas.

Cuadro 1. Análisis de medias repetidas de monitoreo de pilas de estiércol para producción de compost.

Efecto	Pr>F			
	Temperatura	Humedad 1	Humedad 2	pH
Pila	0.7542	0.5072	0.7612	0.2286
Fecha	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Fecha*Pila	0.5145	0.6725	0.0195	0.0356

En la Figura 1 se aprecia que, durante la fase termófila, las pilas alcanzaron temperaturas máximas de entre 55 y 68 °C, valores que indican una adecuada higienización de la materia, conforme a lo establecido por la FAO (2013). Asimismo, se observa un descenso en la temperatura del compost durante la fase de maduración, asociado a las bajas temperaturas ambientales registradas en el invierno de 2025. Particularmente, el 22 de enero se reportó una temperatura mínima de -5 °C, derivada del Frente Frío No. 24, de acuerdo con el archivo Monthly Temperatures in Mexico (Mora, 2025).

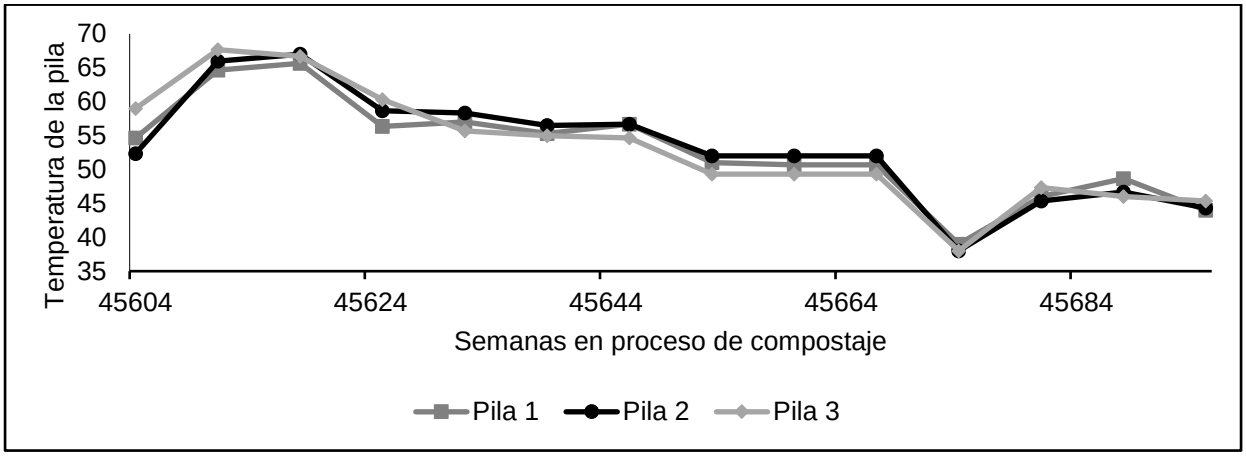


Figura 1. Evolución de temperatura de tres pilas de estiércol de vaca en proceso de compostaje.

El análisis de calidad del compost mostró que los contenidos de materia orgánica (22.8–26.9 %), carbono orgánico (12.4–15.6 %) y nitrógeno (0.67–0.91 %) se encontraron dentro de los rangos óptimos, lo que indica una adecuada estabilización del material y buen potencial nutrimental (Sánchez-Monedero et al., 2018). Asimismo, los niveles de fósforo, potasio y micronutrientes estuvieron dentro de los valores recomendados, sin riesgo de toxicidad (Tiquia et al., 2002). No obstante, el compost presentó valores de pH (10.4–10.6) y conductividad eléctrica (8.1–11.2 dS/m) por encima de lo ideal, además de una humedad baja (12–17 %). Estos resultados concuerdan con lo reportado en compost a base de estiércol bovino, donde la alcalinidad y la salinidad suelen ser elevadas debido a la acumulación de sales y compuestos nitrogenados volátiles (Karki et al., 2021). Estos parámetros sugieren que, si bien el compost es estable y rico en nutrientes, su aplicación debe hacerse con precaución, preferentemente mezclado con otros materiales para reducir efectos negativos en cultivos sensibles (Zeng et al., 2016).

Cuadro 2. Resultado análisis de muestra compuesta de tres pilas de compost compost

Parámetro	Pila 1	Pila 2	Pila 3	Promedio	Rango ideal
pH (1:5)	10.45	10.49	10.63	10.52	6.5 – 8.5
CE (dS/m)	9.84	11.18	8.19	9.74	<4.0 dS/m
Humedad (%)	17.34	13.8	12.17	14.44	30 – 50 %
Materia Orgánica (%)	22.84	26.9	21.4	23.71	>20 %
Carbono Orgánico (%)	13.25	15.6	12.42	13.76	12 – 20 %
Nitrógeno (%)	0.91	0.89	0.67	0.82	0.5 – 2.0 %
Fósforo (%)	0.59	0.48	1.18	0.75	0.3 – 1.0 %
Potasio (%)	1.32	1.14	1.37	1.28	0.5 – 2.0 %
Calcio (%)	2.51	1.2	1.29	1.67	–
Magnesio (%)	0.33	0.34	0.43	0.37	–
Cobre (ppm)	15.79	12.07	60.75	29.54	<150 ppm (según EPA)
Hierro (ppm)	876.26	750.63	1064.7	897.20	100–5000 ppm
Zinc (ppm)	201.11	189.07	244.46	211.55	<1400 ppm
Manganeso (ppm)	171.87	146.09	199.55	172.50	<500 ppm
Nitratos (ppm)	308.34	417.6	297.46	341.13	100 – 1000 ppm
Amonio (ppm)	21.95	ND	0.58	11.27	<500 ppm
Sodio (%)	0.94	0.78	0.88	0.87	<1.0 %

En el Cuadro 3 se puede observar el análisis comparativo de las muestras de suelo de las Tablas 9 y 21 mostró una disminución en los contenidos de materia orgánica entre ambas evaluaciones (de 3.22–3.52 % a 1.75–2.09 % en la capa 0–30 cm), lo que indica un agotamiento del carbono edáfico asociado al manejo intensivo (Dalal & Jayaraman 2025). Sin embargo, los valores de nitrógeno nítrico ($N\text{-}NO_3$) se incrementaron en la segunda evaluación, especialmente en H2 y H3, lo que sugiere procesos de mineralización más activos (Mousavi et al., 2023). El pH permaneció alcalino en ambas evaluaciones (7.9–8.6), lo que puede limitar la disponibilidad de ciertos micronutrientes. La conductividad eléctrica (CE) se incrementó en Tabla 21 (hasta 5.58 dS/m en H3 0–30 cm), indicando acumulación de sales solubles, mientras que la relación de adsorción de sodio (RAS) también fue mayor en Tabla 21, alcanzando valores cercanos a 5 en H2 30–60 cm. Esto sugiere un riesgo potencial de solidificación y salinización del suelo si no se aplican prácticas de manejo correctivas (Lehmann et al., 2020).

Cuadro 3. Análisis comparativo de indicadores de fertilidad del suelo de la tabla 9 y 21

Tratamientos	M.O. (%)		N-NO3 (ppm)		P (ppm)		K (ppm)	
	Tabla 9	Tabla 21	Tabla 9	Tabla 21	Tabla 9	Tabla 21	Tabla 9	Tabla 21
H1 0-30	3.22	1.75	21.69	28.2	92.53	29.09	2472.07	1321
H1 30-60	1.89	0.82	16.61	25.06	44.2	16.33	1795.44	684
H2 0-30	3.52	2.09	10.86	42.1	125.33	66.23	2448.43	1350
H2 30-60	2.26	0.76	18.04	32.35	62.9	47.8	2561.62	866
H3 0-30	3.09	1.91	63.57	68.6	75.27	64.25	2523.39	1531
H3 30-60	2.15	0.98	46.11	66.65	47.07	28.52	2621.49	1165

Cuadro 4. Propiedades físicas del suelo de la tabla 9 y 21, en un establo de producción agropecuaria

Tratamientos	pH		CE (dS/m)		RAS	
	Tabla 9	Tabla 21	Tabla 9	Tabla 21	Tabla 9	Tabla 21
H1 0-30	8.28	8.18	1.87	1.33	2.15	4.08
H1 30-60	8.42	7.99	0.95	2.47	3.39	3.41
H2 0-30	8.57	8.15	1.03	2.54	3.12	3.77
H2 30-60	8.61	8.10	0.98	3.05	3.81	4.84
H3 0-30	8.44	8.08	1.23	5.58	3.71	4.60
H3 30-60	8.44	7.88	1.14	4.38	3.69	3.59

Conclusión

Los resultados evidencian la necesidad de calcular dosis precisas de estiércol y definir métodos de aplicación más eficientes, de modo que los nutrientes sean aprovechados en ambos suelos analizados sin generar saturación de sales ni riesgos de degradación.

Referencias

Dalal, R. C., & Jayaraman, S. (2025). Fertility-Degraded Soil: Soil Health Restoration and Management-Strategies and Approaches. In *Soil Fertility Degradation, and Soil Health Restoration and Management* (pp. 127-150). Singapore: Springer Nature Singapore.

Díaz-Romeu, R., & Hunter, A. (1978). Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero (Serie Materiales de Enseñanza CATIE, núm. 12). CATIE.

González, F., & Herrera, C. (2019). Estrategias sustentables para el manejo de malezas: Compost como alternativa en la agricultura del norte de México. Revista de Agricultura Sostenible, 12(1), 33–42.

Jaimes-Valdez, M. Á., Jacobo-Hernández, C. A., & Flores-Corral, A. D. (2022). La sostenibilidad de la actividad ganadera en Sonoyta, Sonora, México. ReyDS, año 2022, [22(43)], http://www.elcoltlax.edu.mx/openj/index.php/ReyDS/article/view/197

Karki, R., Chuenchart, W., Surendra, K. C., Shrestha, S., Raskin, L., Sung, S., & Khanal, S. K. (2021). Anaerobic co-digestion: Current status and perspectives. *Bioresource Technology*, *330*, 125001.

Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth&Environment*, 1(10), 544–553.

López, A., Gutiérrez, R., & Salinas, D. (2021). Efecto del compost en la inhibición de rizomas de Sorghum halepense. Ciencia y Agricultura, 29(2), 58–65.

Martínez, G. M. (2022). Bienestar de las vacas lecheras en los sistemas de compost barn. *Ciencia Veterinaria*, *24*(2), 2-2.

Mora, M. (2025). Monthly Temperature and Precipitation Records for Mexico by State (1985-2025) (Version 2). figshare. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.28636565.v2

Mousavi, S. M., Srivastava, A. K., & Cheraghi, M. (2023). Soil health and crop response of biochar: An updated analysis. Archives of Agronomy and Soil Science, 69(7), 1085–1110. http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2022.2054998

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). Manual de compostaje del agricultor. FAO.

Robledo Padilla, R. (2023). La política de sustentabilidad de la producción de leche en México. En M. A. del C. Venegas Herrera, D. Tello, & S. E. Martínez Pellegrini (Coords.), Ordenamiento territorial. Teorías y políticas con inclusión, innovación social y sostenibilidad (pp. 381–400). UNAM-AMECIDER.

Sánchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C., & Bolan, N. (2018). Role of biochar as an additive in organic waste composting. Bioresource Technology, 247, 1155–1164. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.193

Tiquia, S. M., Richard, T. L., & Honeyman, M. S. (2002). Carbon, nutrient, and mass loss during composting. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 62, 15–24. https://doi.org/10.1023/A:1015137922816

DIVERSIDAD DE AVES EN LA UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

Moisés Martínez Estrada[1], Clementina Araceli Sandy Pacheco[2]*, Gonzalo Hernández Ibarra[2], Ramón Trucíos Caciano[3].

[1]Investigador independiente. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID RASPA, Gómez Palacio, Durango, México. *Autor de correspondencia: al2113075@chapingo.mx

Introducción

Los espacios verdes urbanos en zonas áridas representan refugios potenciales de biodiversidad, aunque su contribución ecológica ha sido poco explorada. Las universidades, al integrar zonas verdes, cuerpos de agua, fuentes de alimento, percha y anidación; además de menores niveles de perturbación humana en comparación con el entorno urbano circundante, funcionan como reservorios de aves residentes y migratorias, y como sitios clave para la educación ambiental (Liu et al., 2021; Sanllorente et al., 2023).

El Desierto Chihuahuense es la región de invernada más importante para las aves de pastizal de Norteamérica y enfrenta una creciente pérdida de biodiversidad por actividades humanas y cambio climático (Comer et al., 2018; González-Zamora & Pérez-Morales, 2025). Sin embargo, no existían estudios de avifauna en campus universitarios de esta región. Este trabajo evaluó la diversidad de aves en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo, en Durango, con el fin de documentar su papel como reservorio de especies residentes y migratorias.

Materiales y Métodos

Área de estudio. La URUZA se ubica en Bermejillo, Durango (25°53′43″ N; 103°36′07″ O) y cubre una superficie de 260 ha. Como parte en el Bolsón de Mapimí presenta clima muy seco semicálido (264 mm de precipitación media anual, 3.9 °C mín. y 37.4 °C máx.), vegetación de matorral xerófilo y uso de suelo mixto: aulas, áreas agrícolas y ganaderas, huertos, cuerpos de agua artificiales y parches de vegetación nativa.

Trabajo de campo. Se establecieron cuatro sitios de muestreo según su uso de suelo (edificios, agrícola, pecuario y forrajero) (Figura 1). Entre febrero 2022 y abril 2025 se aplicó el método de transectos por puntos (Gregory et al., 2004), con observaciones matutinas y vespertinas cada estación anual. Todas las especies de aves en cada lugar de observación se documentaron mediante registros fotográficos, utilizando cámaras digitales (Nikon P950 y P1000) y se complementaron con bases de datos de ciencia ciudadana iNaturalistMX y eBird. Para la identificación de aves utilizamos las guías de campo de Dunn et al. (2017) y Sibley (2024). El estado de conservación de la especie se clasificó utilizando la Lista Roja Mundial de Especies Amenazadas (UICN por sus siglas en inglés), así como la legislación nacional mexicana NOM-059-Semarnat-2010 (NOM-059). A cada especie se le asignó una de las siguientes categorías de estacionalidad: residente (R), que se reproduce en la región y puede observarse durante todo el año; y migratoria (M), que solo se encuentra en la región durante ciertas estaciones del año. Basándonos en González-Salazar et al. (2014), los gremios alimenticios se dividieron en las siguientes categorías: omnívoro (Om), carnívoro (Ca), carroñero (Sc), insectívoro (In), nectarívoro (Ne), granívoro (Gr), piscívoro (Pi) y frugívoro (Fr).

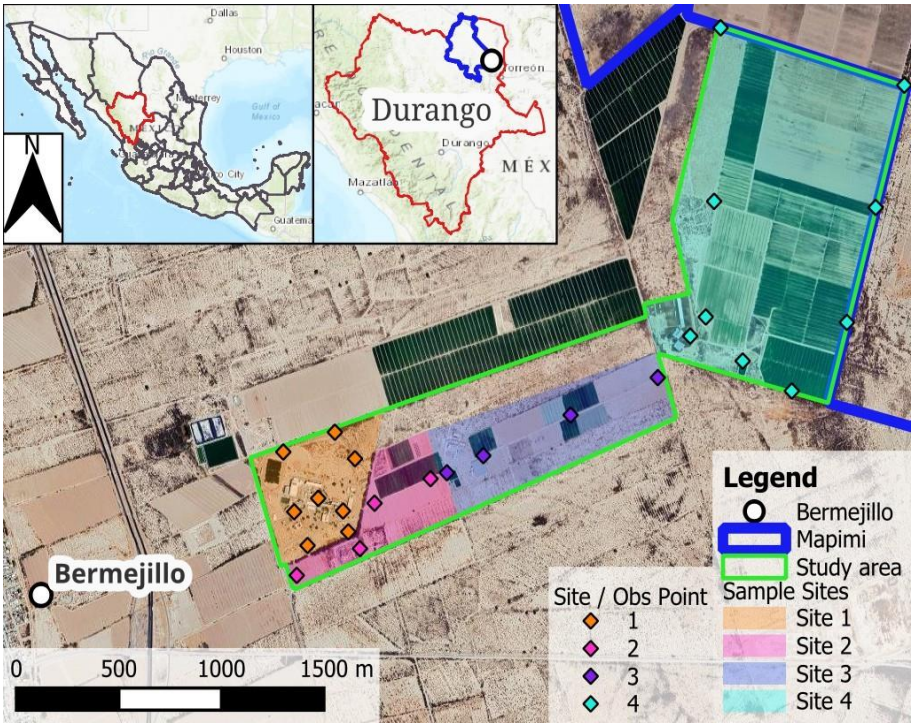


Figura 1. Ubicación, extensión espacial y distribución de los puntos de conteo de aves en URUZA, Durango, México.

Análisis de datos. Calculamos el índice de Shannon (H) y el índice de riqueza de Margalef para evaluar la diversidad de especies en cada sitio. Se calcularon el índice de similitud de Jaccard y el índice de disimilitud de Bray-Curtis para analizar las diferencias en la estructura funcional de los sitios, basándose el primero en la presencia o ausencia de especies y el segundo en la abundancia de cada gremio trófico. Por último, se utilizó un análisis Non-Metric Multidimensional Scaling (NMDS) con la matriz de disimilitud de Bray-Curtis obtenida anteriormente. Para el análisis estadístico, se utilizó un modelo jerárquico log-lineal para determinar la relación entre el sitio de muestreo, la estacionalidad y el gremio trófico.

Resultados y discusión

Se registraron 90 especies (16 órdenes, 35 familias), de las cuales 47 fueron migratorias (52%) y 43 residentes (48%). El registro completo se muestra en la Cuadro 1. En cuanto a las familias, Tyrannidae fue la que contó con mayor número de especies, con 11, seguida de Passerellidae, con 10, Icteridae, con 7, y Cardinalidae, Columbidae, Picidae y Parulidae, con 5 cada una.

El índice de Shannon arrojó valores correspondientes a una alta diversidad tanto para las especies migratorias como para las residentes (3.18-4.74). La riqueza evaluada utilizando el índice de Margalef indicó que, tanto para las aves residentes como para las migratorias, todos los sitios tenían valores superiores a 4.0, lo que corresponde a una alta riqueza. Los resultados del índice de Jaccard sugieren que las comunidades de aves residentes son más homogéneas en todos los sitios de muestreo. Esto podría atribuirse a una adaptación resiliente al entorno local y a la actividad humana, o a una mayor permanencia temporal, lo que les permite prosperar en cualquier sito del campus. Por el contrario, las aves migratorias no utilizan todos los sitios de manera uniforme, ya que existe una baja similitud entre ellos. Es probable que elijan ciertos hábitats en función de sus necesidades temporales, como descansar, comer o refugiarse durante la migración.

Para las aves residentes, todos los sitios eran ligeramente diferentes entre sí, según el índice de Bray-Curtis, siendo el sitio 4 el más diferente y vinculado a piscívoros y carroñeros, según el gráfico NMDS, aunque también mostraba una alta presencia de carnívoros. Por el contrario, las aves migratorias mostraron un grado significativo de disimilitud. El sitio 1 fue el más diferente y el más estrechamente relacionado con los frugívoros, nectarívoros, insectívoros y granívoros. El análisis log-lineal indicó diferencias entre estacionalidad y gremio trófico ($p < 0.001$), mostrando que las especies migratorias ocupan nichos distintos a las residentes.

En cuanto a la lista de la UICN, tres especies se encontraban en la categoría de casi amenazadas (NT): *Contopus cooperi*, *Charadrius vociferus* y *Lanius ludovicianus*. Según la NOM-059, tres especies estaban sujetas a protección especial (Pr): *Parabuteo unicinctus*, *Passerina ciris* y *Buteo swainsoni*; y dos especies amenazadas (A): *Geothlypis tolmiei* y *Anas diazi*. Encontramos cuatro especies semiendémicas, es decir, que solo se encuentran en México en épocas específicas del año: *Tyrannus vociferans*, *Vireo cassinii*, *Spizella pallida* y *Empidonax wrightii*.

Estudios realizados en áreas cercanas, como la Reserva de la Biosfera Mapimí (Hernández-Martínez et al., 2019), han documentado 149 especies de aves. El total de especies de aves registradas en el estado de Durango es de 516 (Lepage, 2025). Nuestro estudio abarcó el 60.4 % de las especies reportadas en el primer estudio, y el 17.44 % del total de especies del estado, en solo 0.07 y 0.002% respectivamente, de la superficie, lo que evidencia su potencial para albergar un gran número de especies de aves.

Cuadro 1. Lista alfabética de especies de aves registradas en la Unidad Regional de Zonas Áridas ubicada en Durango, México.

Especie	Nombre común	Estacionalidad	IUCN	NOM-059	Gremio trófico
Agelaius phoeniceus	Tordo sargento	R			In
Amphispiza bilineata	Zacatonero garganta negra	R			Om
Anas diazi	Pato mexicano	R		A	Om
Anser caerulescens	Ganso blanco	M			Om
Archilochus alexandri	Colibrí barba negra	M			Ne
Archilochus colubris	Colibrí Garganta Rubí	M			Ne
Ardea ibis	Garza ganadera	R			In, Pi
Athene cunicularia	Tecolote llanero	R			Ca
Auriparus flaviceps	Baloncillo	R			In, Fr
Bubo virginianus	Búho Cornudo	R			Ca
Buteo jamaicensis	Aguililla cola roja	R			Ca
Buteo swainsoni	Aguililla de Swainson	M		Pr	Ca
Callipepla squamata	Codorniz escamosa	R			Gr
Campylorhynchus brunneicapillus	Matraca del desierto	R			In
Cardellina pusilla	Chipe corona negra	M			In
Cardinalis sinuatus	Cardenal desértico	R			Gr
Cathartes aura	Zopilote aura	R			Sc
Charadrius vociferus	Chorlo tildío	R	NT		In
Chondestes grammacus	Gorrión arlequín	R			Gr
Chordeiles acutipennis	Chotacabras menor	R			In
Colaptes auratus	Carpintero de Pechera Común	M			In
Columba livia	Paloma doméstica	R			Gr
Columbina inca	Tortolita mexicana	R			Gr
Contopus cooperi	Papamoscas Boreal	M	NT		In
Contopus sordidulus	Papamoscas del oeste	M			In
Coragyps atratus	Zopilote común	R			Sc
Corthylio calendula	Reyezuelo Matraquita	M			In
Corvus corax	Cuervo común	R			Om
Dryobates scalaris	Carpintero mexicano	R			In
Elanus leucurus	Milano Cola Blanca	R			Ca
Empidonax hammondii	Papamosca de Hammond	M			In

Empidonax oberholseri	Papamoscas matorralero	M			In
Empidonax wrightii	Papamoscas bajacolita	M			In
Falco sparverius	Cernícalo americano	R			In, Ca
Fulica americana	Focha americana	R			Om
Geococcyx californianus	Correcaminos norteño	R			Om
Geothlypis tolmiei	Chipe lores negros	M		A	In
Haemorhous mexicanus	Pinzón mexicano	R			Gr
Himantopus mexicanus	Cigüeñuela de cuello negro	M			In, Pi
Hirundo rustica	Golondrina tijereta	M			In
Icteria virens	Chipe Grande	M			In, Fr
Icterus cucullatus	Calandria dorso negro menor	M			In
Lanius ludovicianus	Verdugo americano	R	NT		In, Ca
Leiothlypis celata	Chipe Oliváceo	M			In, Fr
Megaceryle alcyon	Martín pescador norteño	M			Pi
Melanerpes aurifrons	Carpintero cheje	R			In, Fr
Melospiza lincolnii	Gorrión de Lincoln	M			Gr
Mimus polyglottos	Cenzontle norteño	R			Om
Molothrus aeneus	Tordo ojos rojos	R			In, Gr
Molothrus ater	Tordo cabeza café	R			In
Myiarchus cinerascens	Papamoscas Garganta Ceniza	M			In
Numenius americanus	Zarapito pico largo	M			In, Ca
Nycticorax nycticorax	Garza nocturna corona negra	R			Pi, In, Ca
Parabuteo unicinctus	Aguililla Rojinegra	R		Pr	Ca
Passer domesticus	Gorrión doméstico	R			Gr
Passerculus sandwichensis	Gorrión sabanero	M			Gr, In
Passerina caerulea	Picogrueso azul	M			Gr
Passerina ciris	Colorín sietecolores	M		Pr	Gr
Passerina cyanea	Colorín azul	M			In, Gr
Petrochelidon fulva	Golondrina Pueblera	M			In
Pipilo chlorurus	Rascador cola verde	M			Gr, In
Piranga ludoviciana	Piranga capucha roja	M			In, Fr
Polioptila caerulea	Perlita azulgris	M			In
Polioptila melanura	Perlita del desierto	R			In
Pooecetes gramineus	Gorrión cola blanca	M			Gr, In
Pyrocephalus rubinus	Papamoscas cardenalito	R			In
Quiscalus mexicanus	Zanate mayor	R			Om
Sayornis phoebe	Papamoscas fibí	M			In
Sayornis saya	Papamoscas llanero	R			In
Setophaga coronata	Chipe rabadilla amarilla	M			In, Fr
Setophaga townsendi	Chipe de Townsend	M			In
Spatula discors	Cerceta aliazul	M			Om
Sphyrapicus nuchalis	Carpintero nuca roja	M			In, Fr
Sphyrapicus varius	Carpintero moteado	M			In, Fr
Spinus psaltria	Jilguerito dominico	R			Gr
Spizella breweri	Gorrión de Brewer	M			In, Gr
Spizella pallida	Gorrión pálido	M			Gr
Spizella passerina	Gorrión cejas blancas	M			Gr
Streptopelia decaocto	Paloma de collar turca	R			Gr
Toxostoma curvirostre	Cuitlacoche pico curvo	R			In
Troglodytes aedon	Saltapared común	M			In
Turdus migratorius	Mirlo Primavera	M			In
Tyrannus verticalis	Tirano pálido	M			In
Tyrannus vociferans	Tirano chibiú	M			In
Tyto furcata	Lechuza común americana	R			Ca
Vireo cassinii *	Vireo de Cassin	M			In
Xanthocephalus xanthocephalus	Tordo cabeza amarilla	M			Gr
Zenaida asiatica	Palola alas blancas	R			Gr
Zenaida macroura	Huilota común	R			Gr
Zonotrichia leucophrys	Gorrión corona blanca	M			Gr, In

Estacionalidad: migratorias (M) y residentes (R). Estado de conservación: casi amenazadas (NT), protección especial (Pr), amenazadas (A). Gremio trófico: carnívoro (Ca), carroñero (Sc), frugívoro (Fr), granívoro (Gr), insectívoro (In), nectarívoro (Ne), omnívoro (Om), piscívoro (Pi). NOM-059: Lista de especies en peligro, amenazadas y protegidas de la legislación nacional mexicana.
* Registro tomado de iNaturalistMx

Conclusiones

El campus universitario URUZA constituye un reservorio de aves en el Desierto Chihuahuense, sustentado por la diversidad de hábitats (agrícolas, huertos, cuerpos de agua y vegetación nativa). Las especies residentes dominan la estructura comunitaria, pero las migratorias incrementan la variabilidad trófica. La presencia de especies amenazadas y semiendémicas refuerza la importancia de mantener estrategias de monitoreo, investigación y educación ambiental, además de promover el diseño de infraestructura verde que maximice los beneficios para la biodiversidad en zonas áridas. Este estudio constituye el primer inventario avifaunístico de un campus en el Desierto Chihuahuense y puede servir de modelo para otras instituciones educativas y áreas urbanas de la región.

Referencias

Comer, P.J.; Hak, J.C.; Kindscher, K.; Muldavin, E., & Singhurst, J. (2018). Continent-scale landscape conservation design for temperate grasslands of the Great Plains and Chihuahuan Desert. *Natural Areas Journal*, 38, 196–211.

Dunn, J. L., & Alderfer, J. (2017). Field Guide to the Birds of North America (7a ed.). National Geographic Society.

González-Salazar, C.; Martínez-Meyer, E.; Lopez-Santiago, G. (2014). A hierarchical classification of trophic guilds for North American birds and mammals. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 931–941.

González-Zamora, A.; Pérez-Morales, R. (2025). Chapter 4—Loss of biodiversity and effect of climate change on the vascular flora of the Chihuahuan desert of Mexico. In *Terrestrial Biomes* (pp. 45–61); Demolin-Leite, G.L., Ed.; Academic Press: New York, NY, USA.

Gregory, R. D., Gibbons, D. W., & Donald, P. F. (2004). Bird census and survey techniques. In *Bird Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques* (pp. 17–56). Oxford University Press.

Hernández-Martínez, J.E.; Villarreal Wislar, C.; García Morales, R.; Guzmán, S.M.; Ibarra Vázquez, E.N.; Ramos Pena, B.; Maldonado Amaya, M.C. (2019) Monitoreo de aves en la Reserva de la Biosfera Mapimí. *Huitzil*, 20, e-507.

Lepage, D. (2025). Lista de verificación de las aves de México. Avibase, la base de datos mundial de aves. Recuperado el 16 de junio de 2025, de https://avibase.bsc-eoc.org/checklist.jsp?lang=ES&p2=1&list=avibase&synlang=ESAoion=MXdu&version=text&lifelist=&highlight=0.

Liu, J., Zhao, Y., Si, X., Feng, G., & Zhang, J. (2021). University campuses as valuable resources for urban biodiversity research and conservation. Urban Forestry & Urban Greening, 64, 127255.

Sanllorente, O.; Ríos-Guisado, R.; Izquierdo, L.; Molina, J.L.; Mourocq, E.; Ibáñez-Álamo, J.D. (2023). The importance of university campuses for the avian diversity of cities. Urban For. Urban Greening, 86, 128038.

Semarnat. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental–Especies nativas de México de flora y fauna silvestres–Categorías de riesgo. Diario Oficial de la Federación.

Sibley, D.A. (2024). The Sibley Guide to Birds, 2nd ed.; Knopf Publishing Group: New York, NY, USA.

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CARNE DE POLLOS DE ENGORDA SUPLEMENTADOS CON CURCUMINA: UN METAANÁLISIS

José F. Orzuna-Orzuna[1]*, Pedro A. Hernández-García[2], Gabriela Vázquez-Silva[3]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo C.P. 35230, Durango, México. [2]Centro Universitario Amecameca, Universidad Autónoma del Estado de México, Amecameca C.P. 56900, Estado de México, México. [3]Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana—Xochimilco, Coyoacán C.P. 04960, Ciudad de México, México.
* Autor de correspondencia: jforzuna@gmail.com

Introducción

La demanda mundial de carne de pollo aumentará alrededor de 3.0 % para el 2030, por lo que es necesario mejorar el rendimiento productivo de los pollos de engorda (Uzundumlu y Dilli, 2023). Sin embargo, los pollos de engorde están expuestos a diversas enfermedades que pueden afectar negativamente su productividad y causar pérdidas económicas en las granjas (Zhang et al., 2024). Ogbuewu et al. (2022) mencionan que la inclusión de antibióticos en el alimento para pollos de engorda se ha utilizado durante varias décadas como estrategia nutricional para prevenir y tratar enfermedades y estimular el crecimiento animal. Sin embargo, el uso indebido de antibióticos en las dietas para pollos de engorda ha generado residuos tóxicos en la carne y bacterias resistentes a sus efectos, lo que representa un riesgo significativo para la salud humana en todo el mundo (Zhang et al., 2024). En consecuencia, los investigadores avícolas buscan nuevos productos naturales que puedan mejorar el rendimiento productivo y la salud de los pollos de engorda sin los efectos adversos de los antibióticos (Geevarghese et al., 2023). Entre los productos naturales más novedosos se encuentra la curcumina, la cual es un compuesto polifenólico hidrofóbico extraído del rizoma de la cúrcuma (*Curcuma* spp.) y posee efectos antioxidantes, antiinflamatorios, inmunomoduladores y antimicrobianos en aves de corral (Pan et al., 2022). En años recientes, se han publicado varios artículos científicos que evalúan los efectos de la suplementación dietética con curcumina en el rendimiento productivo, el estado antioxidante en sangre, la morfología intestinal y la calidad de la carne de pollos de engorda (Zhang et al., 2024; Geevarghese et al., 2023). Sin embargo, se han observado resultados inconsistentes en algunos de estos artículos científicos, lo que limita la recomendación adecuada de la curcumina como aditivo dietético para pollos de engorde. El metaanálisis es una herramienta estadística que permite recopilar, combinar y analizar estadísticamente datos publicados previamente en varios estudios, lo cual permite obtener conclusiones científicamente confiables sobre el efecto de un tratamiento (Borenstein et al., 2009). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de la suplementación dietética con curcumina en el comportamiento productivo y la calidad de la carne de pollos de engorda a través de un metaanálisis.

Materiales y métodos

Se realizó la búsqueda de artículos científicos que evaluaron los efectos de la suplementación dietética con curcumina en el comportamiento productivo y la calidad de la carne de pollos de engorda. Los artículos científicos elegibles se identificaron mediante búsquedas sistemáticas restringidas a información publicada en inglés y disponible en las bases de datos electrónicas PubMed, Google Scholar, ScienceDirect y Scopus. En todas estas bases de datos, se utilizaron las siguientes palabras clave: “broiler chickens”, “curcumin”, “growth performance” y “meat quality”.

Para incluir los artículos en la base de datos se utilizaron los siguientes criterios de inclusión: (1) experimentos que utilizaron pollos de engorde clínicamente sanos, no expuestos a protozoos, bacterias ni virus como modelo experimental; (2) artículos científicos publicados entre enero de 2013 y junio de 2025 en revistas científicas en inglés y con revisión por pares; (3) artículos científicos que contenían información de las medias de tratamientos, el número de réplicas (n) y el error estándar (EEM) o la desviación estándar (DE) en al menos una variable de respuesta relacionada con el comportamiento productivo o la calidad de la carne; y (4) estudios que compararan al menos un grupo experimental suplementado con curcumina en la dieta con un grupo control sin curcumina. Después de aplicar los criterios de inclusión, solo 22 artículos científicos que evaluaron parámetros relacionados con comportamiento productivo y calidad de la carne fueron incluidos en la base de datos del metaanálisis.

Todos los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico especializado “metafor” disponible en la versión 4.1.2 del software estadístico R (Viechtbauer, 2010). La magnitud del efecto se expresó como diferencias medias ponderadas (DMP) con intervalos de confianza (IC) del 95%, calculados mediante modelos de efectos aleatorios con los métodos propuestos por Der-Simonian y Laird (1986).

Resultados y discusión

El Cuadro 1 muestra que el consumo diario de alimento (CDA) no fue afectado ($p > 0.05$) por la suplementación dietética con curcumina. Sin embargo, la ganancia diaria de peso (GDP) aumentó ($p < 0.001$) en respuesta a la suplementación dietética de curcumina. Por el contrario, la suplementación dietética de curcumina disminuyó ($p < 0.001$) la conversión alimenticia (CA). Estos hallazgos indican que la ingesta de curcumina puede utilizarse como promotor natural del crecimiento en pollos de engorda y, al mismo tiempo, mejorar la eficiencia alimenticia. De igual manera, Reda et al. (2020) observaron efectos positivos en la GDP y el CA en codornices japonesas suplementadas con dosis crecientes (100, 200, 300, 400 y 500 mg/kg de alimento) de curcumina dietética. Geevarghese et al. (2023) reportaron que la suplementación dietética con curcumina aumenta la longitud de las vellosidades intestinales en el duodeno de pollos de engorda, lo cual podría incrementar el área de absorción de nutrientes y conducir a una mayor GDP y una menor CA. Además, la suplementación dietética con curcumina disminuyó (de -30.2 a -45.1 %) el recuento de ooquistes de *Eimeria acervulina*, *Eimeria tenella* y *Eimeria maxima* (Rajput et al., 2013), que se correlacionan negativamente (r = -0.51 a -0.63) con la GDP en pollos de engorde (Kipper et al., 2013). Por otro lado, Chen et al. (2024) informaron que la suplementación dietética con curcumina mejora la expresión del ARNm del cotransportador de sodio-glucosa 1 (SGLT1) y el transportador de glucosa 2 (GLUT2). Una mayor cantidad de transportadores SGLT1 y GLUT2 podría incrementar la absorción de glucosa en los pollos de engorda, la cual posteriormente podría oxidarse dentro de las células para generar ATP.

Cuadro 1. Comportamiento productivo de pollos de engorda suplementados con curcumina.

Parámetro	N (NC)	Media del control (DE)	DMP (95 % IC)	Valor p
CDA, g/d	22 (52)	103.92 (27.12)	0.333 (-0.678; 1.343)	0.519
GDP, g/d	21 (51)	55.76 (13.05)	2.55 (1.250; 3.849)	<0.001
CA, g/g	20 (49)	1.86 (0.23)	-0.086 (-0.128; -0.043)	<0.001

N: número de estudios; NC: número de comparaciones entre tratamientos suplementados con curcumina y control; SD: desviación estándar; DMP: diferencias de medias ponderadas entre tratamientos suplementados con curcumina y control; IC: intervalo de confianza de la DMP; I2: proporción de la variación total de las estimaciones del tamaño del efecto que se debe a la heterogeneidad; 1valor p para la estadística Q de Cochran; CDA: consumo diario de alimento; GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia.

El Cuadro 2 muestra que la suplementación dietética con curcumina aumentó ($p < 0.05$) el rendimiento de la canal caliente (RCC), así como el enrojecimiento (a*) y amarillamiento (b*) en la carne. Sin embargo, la suplementación dietética con curcumina no afectó ($p > 0.05$) la luminosidad (L*), el pH de la carne ni el contenido de proteína en la carne. El mayor RCC podría estar directamente relacionado con el mayor peso corporal de los pollos de engorda suplementados con curcumina, como consecuencia de su mayor GDP. Asimismo, altos valores de RCC pueden incrementar la cantidad de carne producida y la rentabilidad económica de las granjas de pollos de engorda. Las propiedades antioxidantes de la curcumina pueden aumentar la a* en la carne al disminuir la oxidación de la mioglobina a meta mioglobina, al igual que otros polifenoles vegetales antioxidantes (Pan et al., 2022). De acuerdo con Zhang et al. (2024), los altos valores de a* podrían tener un bajo impacto en la calidad de la carne de pollo, ya que el color rojo no es un parámetro deseable en la carne de pollo y otras aves de corral. Por otro lado, los valores b* en la carne de pollo son igual de importantes que los valores a* en la carne de rumiantes, ya que algunos consumidores asocian b* con mayor frescura y calidad en la carne de pollo (Hayat et al., 2024). La curcumina es responsable del color amarillo de la cúrcuma y ha demostrado potencial como pigmento amarillo natural en la carne y la piel de pollos de engorda (Geevarghese et al., 2023). Esto explicaría el mayor b* observado en la carne de pollos suplementados con curcumina en el presente estudio.

Cuadro 2. Calidad de la carne de pollos de engorda suplementados con curcumina.

Parámetro	N (NC)	Media del control (SD)	DMP (95 % IC)	Valor p
RCC %	5 (16)	72.47 (2.83)	1.043 (0.389; 1.697)	0.002
pH en carne	7 (18)	6.04 (0.32)	-0.089 (-0.196; 0.019)	0.106
Luminosidad (L*)	7 (17)	50.10 (5.79)	0.447 (-0.028; 0.922)	0.065
Enrojecimiento (a*)	7 (17)	4.57 (1.23)	0.356 (0.095; 0.617)	0.007
Amarillamiento (b*)	7 (17)	5.07 (1.06)	0.393 (0.020; 0.767)	0.039
PPC, %	3 (6)	14.23 (2.75)	-0.996 (-1.663; -0.330)	0.003
FC, kgf/cm^2	3 (9)	1.39 (0.11)	0.013 (-0.026; 0.052)	0.518
Composición de carne g/100 g				
Grasa	3 (9)	2.28 (0.67)	-0.256 (-0.361; -0.152)	<0.001
Proteína	3 (9)	22.08 (1.04)	0.261 (-0.253; 0.776)	0.319
MDA, mg/kg	3 (5)	1.13 (0.56)	-0.253 (-0.390; -0.117)	<0.001

N: número de estudios; NC: número de comparaciones entre tratamientos suplementados con curcumina y control; DE: desviación estándar; DMP: diferencias de medias ponderadas entre tratamientos suplementados con curcumina y control; IC: intervalo de confianza de la DMP; I^2: proporción de la variación total de las estimaciones del tamaño del efecto que se debe a la heterogeneidad; [1]valor p para la estadística Q de Cochran; PPC: pérdida por cocción; FC: fuerza de corte; MDA: malondialdehído.

Por otro lado, la suplementación dietética con curcumina no afectó ($p > 0.05$) la fuerza de corte (FC) en la carne, pero disminuyó ($p < 0.01$) la pérdida por cocción (PPC), así como el contenido de grasa y malondialdehído (MDA) en la carne. Esto sugiere que la curcumina mejora la capacidad de retención de agua de la carne de pollo durante la cocción sin afectar su terneza. En la carne de ave, una menor PPC aumenta la jugosidad sensorial de la carne y su preferencia por los consumidores (Estévez, 2011). Además, la suplementación dietética con curcumina disminuye la carbonilación proteica en el tejido muscular de los pollos de engorde (Shan et al., 2024). Este efecto podría explicar la menor PPC observada en el presente metaanálisis porque la PPC en la carne de ave disminuye cuando la carbonilación proteica en el tejido muscular es baja (Estévez, 2011).

Por otro lado, la suplementación dietética con dosis crecientes (500, 1000 y 2000 mg/kg de alimento) de curcumina disminuye la expresión del ARNm del receptor activado por el proliferador de peroxisomas γ (PPARγ) y la sintasa de ácidos grasos (FASN) en el tejido muscular de pollos de engorda (Rajput et al., 2013). Este mecanismo de acción de la curcumina podría explicar el menor contenido de grasa en la carne de pollo observado en el presente estudio, debido a la correlación positiva (r entre 0.55 y 0.60) entre el contenido de grasa de la carne y los niveles de expresión del ARNm de PPARγ y FASN en el tejido muscular de pollos de engorda (Suzuki et al., 2022). La reducción del contenido de MDA observada en el presente estudio sugiere que la curcumina podría mejorar la vida útil de la carne de pollo, debido a que un alto contenido de MDA en la carne de ave provoca sabores desagradables y decoloración (Oke et al., 2024). La suplementación dietética con curcumina (100 a 1000 mg/kg de alimento) aumenta hasta 40.3 % la actividad de las enzimas antioxidantes (glutatión peroxidasa, catalasa y superóxido dismutasa) en el tejido muscular de los pollos de engorda (Sureshbabu et al., 2023), lo que disminuye el contenido de MDA en carne al neutralizar las especies reactivas de oxígeno.

Conclusiones

La curcumina puede utilizarse como aditivo dietético para mejorar la ganancia diaria de peso y disminuir la conversión alimenticia en pollos de engorda sin alterar la ingesta diaria de alimento. Asimismo, el uso de curcumina como aditivo dietético para pollos de engorda mejora el rendimiento de canal caliente, el color y la capacidad de retención de agua en la carne, a la vez que disminuye el contenido de grasa y la peroxidación lipídica.

Referencias

Borenstein, M., Higgins, J. P., Hedges, L. V., & Rothstein, H. R. (2017). Basics of meta-analysis: I^2 is not an absolute measure of heterogeneity. *Research Synthesis Methods, 8(1)*, 5-18.

Chen, X., Li, F., Xu, X., Wang, L., Yu, Y., Yan, J., Shan, X., Zhang, R., Xing, H., & Zhang, T. (2024). Dietary curcumin supplementation enhances growth performance and anti-inflammatory functions by modulating gut microbiota, microbiota-derived metabolites, and expression of inflammation-related genes in broilers. *Journal of Animal Science, 102*, skae296.

Der-Simonian, R., & Laird, N. (1986). Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinical Trials, 7*, 177–88.

Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Science, 89*, 259–279.

Geevarghese, A. V., Kasmani, F. B., & Dolatyabi, S. (2023). Curcumin and curcumin nanoparticles counteract the biological and managemen tal stressors in poultry production: An updated review. *Research in Veterinary Science, 162*, 104958.

Hayat, M. N., Ismail-Fitry, M. R., Kaka, U., Rukayadi, Y., Ab Kadir, M. Z. A., Radzi, M. A. M., Kumar, P., Nurulmahbub, N. A., & Sazili, A. Q. (2024). Assessing meat quality and textural properties of broiler chickens: The impact of voltage and frequency in reversible electrical water-bath stunning. Poult. Science, 103, 103764.

Kipper, M., Andretta, I., Lehnen, C. R., Lovatto, P. A., & Monteiro, S. G. (2013). Meta-analysis of the performance variation in broilers experimentally challenged by *Eimeria* spp. *Veterinary Parasitology, 196*, 77–84.

Ogbuewu, I., Mokolopi, B., & Mbajiorgu, C. (2022). Meta-analysis of growth performance indices of broiler chickens in response to turmeric (*Curcuma longa* L.) supplementation. *Animal Feed Science and Technology, 283*, 115155.

Oke,O., Akosile, O., Oni, A., Opowoye, I., Ishola, C., Adebiyi, J., Odeyemi, A., Adjei-Mensah, B., Uyanga, V., & Abioja, M. (2024). Oxidative stress in poultry production. *Poultry Science, 103*, 104003.

Pan, S., Yan, J., Xu, X., Chen, Y., Chen, X., Li, F., & Xing, H. (2022). Current development and future application prospects of plants-derived polyphenol bioactive substance curcumin as a novel feed additive in livestock and poultry. *International Journal of Molecular Sciences, 23*, 11905.

Rajput, N., Naeem, M., Ali, S., Zhang, J. F., Zhang, L., & Wang, T. (2013). The effect of dietary supplementation with the natural carotenoids curcumin and lutein on broiler pigmentation and immunity. Poultry Science, 92, 1177–1185.

Reda, F. M., El-Saadony, M. T., Elnesr, S. S., Alagawany, M., & Tufarelli, V. (2020). Effect of dietary supplementation of biological curcumin nanoparticles on growth and carcass traits, antioxidant status, immunity and caecal microbiota of japanese quails. *Animals, 10*, 754.

Shan, X., Xu, X., Wang, L., Lu, Y., Chen, X., Li, F., Du, M., Xing, H., & Pan, S. (2024). Dietary curcumin supplementation attenuates hepatic damage and function abnormality in a chronic corticosterone-induced stress model in broilers. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology, 243*, 106579.

Sureshbabu, A., Smirnova, E., Karthikeyan, A., Moniruzzaman, M., Kalaiselvi, S., Nam, K., Le Goff, G., & Min, T. (2023). The impact of curcumin on livestock and poultry animal's performance and management of insect pests. *Frontiers in Veterinary Science, 10*, 1048067.

Suzuki, S., Kobayashi, M., Murai, A., Tsudzuki, M., & Ishikawa, A. (2019). Characterization of growth, fat deposition, and lipid metabolism related gene expression in lean and obese meat-type chickens. *Journal of Poultry Science, 56*, 101–111.

Uzundumlu, A. S., & Dilli, M. (2023). Estimating chicken meat productions of leader countries for 2019–2025 years. *Ciencia Rural, 53*, e20210477.

Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analysis in R with the metaphor package. *Journal of Statistical Software, 36*, 1–48.

Zhang, J., Zhang, R., Jin, S., & Feng, X. (2024). Curcumin, a plant polyphenol with multiple physiological functions of improving antioxidation, anti-inflammation, immunomodulation and its application in poultry production. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 108*, 1890–1905.

DINÁMICA ESTACIONAL Y ESTRUCTURA TRÓFICA DE LA AVIFAUNA DEL SURESTE DE SALTILLO, COAHUILA.

Francisco Cruz-García[1]*, Sofia de la Cruz-Godoy[1], Juan A. García-Salas[2], Genaro E. García-Mosqueda[1], Juan A. Encina-Domínguez[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calz. Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México. [2] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Ornitología, Pedro de Albas/n, 66451 San Nicolás de Los Garza, Nuevo León, México. *Autor de correspondencia: guarimochi494@gmail.com

Introducción

El incremento de la población y la urbanización aumentan de forma alarmante generando una presión en los ecosistemas debido a que la población requiere de una sobreexplotación de los recursos y a su vez la urbanización duplicara su cobertura, esto conlleva a cambios abruptos en los ecosistemas debido al cambio de uso de suelo que da paso a la fragmentación de hábitat, deforestación o al establecimiento de edificaciones, estos procesos se presentan en diferente medida lo que conlleva a variaciones en la composición y estructura de la flora y fauna (Wackernagel et al. 2002; Faggi y Perepelizin, 2006).

La avifauna se ve afectada por la estructura de la vegetación debido a que se establecen en sitios donde pueden satisfacer sus requerimientos ecológicos tales como la disponibilidad de agua, alimento, descanso y refugio (Bojorges Baños, 2009). La fragmentación y la falta de conectividad de la vegetación condiciona la obtención de alimento y de espacios para anidar (Pena et al. 2003; Watson et al., 2004). Así mismo, la variación estacional cambia la disponibilidad de alimento (Poulin et al., 1992).

Las aves, dependiendo de su dinámica estacional se pueden diferenciar en dos grupos: las residentes que son aquellas que se encuentran en un área permanentemente y las migratorias que realizan desplazamientos a otras áreas por temporadas especificas (Linares Hernández et al., 2018). Estos desplazamientos son estacionales, sin embargo, algunas especies llegan a áreas urbanizadas donde la estructura vegetal fue modificada, por lo tanto, estas áreas cuentan con recursos insuficientes o inadecuados para las necesidades de las especies, además de obstruir rutas migratorias o de dispersión (Juri y Chani, 2009).

Las clasificaciones de los gremios tróficos se ven beneficiadas o perjudicadas por los diferentes grados de urbanización y por la composición vegetal, esta sensibilidad ante las perturbaciones sirve como indicador de conservación o perturbación (Salas Correa y Mancera Rodríguez, 2020). El objetivo del presente estudio fue analizar la composición de los gremios tróficos y la dinámica estacional de las aves presentes en terrenos (la reforestación y el campus) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el campus de la Universidad, específicamente en la sede Saltillo y la reforestación (Figura 1). La sede está ubicada en la calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, en las coordenadas 100° 59' 57" longitud oeste y 25° 23' 42" longitud norte a una altura de 1,783 m sobre el nivel del mar (msnm) (Cámara de diputados, 1998). Mientras que la reforestación se ubica en las coordenadas 100° 59 57” longitud oeste y a 25° 23” 42” latitud norte (Gutiérrez y Arredondo, 1995).

En cada área se establecieron cinco transectos con un kilómetro de longitud, en los cuales se establecieron seis puntos de conteo con un radio de 25 m. La separación entre los sitios fue de 200 m (Figura 1) (Ortega Álvarez et al., 2012; Herrera Rodríguez y Salgado Ortiz, 2022). Los transectos fueron monitoreados dos veces al mes en un horario matutino (7:00 am hasta las 10:00 am) y vespertino (5:00 pm hasta las 7:00 pm), desde el mes de febrero a noviembre. En cada punto de conteo se permaneció 10 minutos en los que se registraron las especies observadas o escuchadas (Blasio Quintana y Pineda López, 2020).

La observación de las aves se realizó con binoculares (Bushnell 10X42) y para la identificación visual se emplearon las guías de campo de aves (Kaufman, 2005; Dunn et al., 2017).

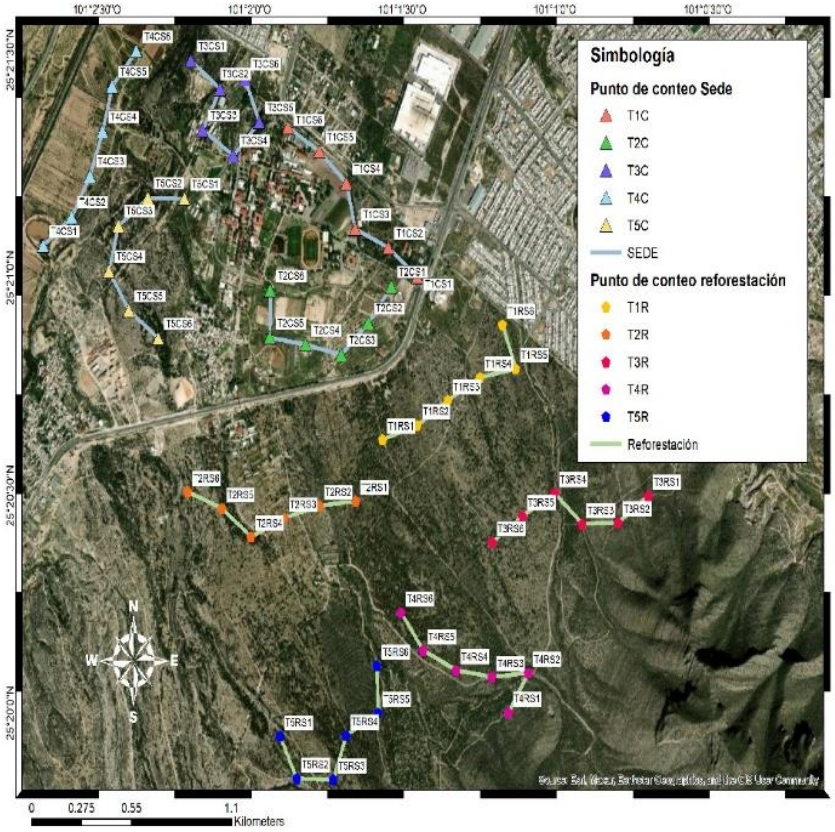


Figura 1. Ubicación de los puntos de conteo de las áreas en el sureste de Saltillo, Coahuila, México.

La estacionalidad se obtuvo siguiendo el criterio de Howell y Webb (1995). Donde establecen las categorías de estacionalidad que se detallan a continuación: residente (R), veraniego (V), invernal (I), transeúnte (T, visitante no reproductor presente durante la migración de primavera o/y otoño). Para las especies no incluidas en esta publicación, se utilizó como referencia el trabajo de Garza de León et al. (2007). Mientras que el gremio de cada especie se determinó a partir de la información de Ehrlich et al. (1988), considerando los siguientes grupos: carnívoro, ictiófago, insectívoro, invertebrados acuáticos, carroñero, nectarívoro, frugívoro, herbívoro, granívoro y omnívoro.

Resultados y discusión

De manera general, entre las áreas de estudio las residentes representan el 44%, mientras que las migrantes y transeúntes son las dominantes, coincidiendo con la composición para el estado de Coahuila y para la ecorregión de matorrales xerófilos del Desierto Chihuahuense según Garza de León et al., (2007) (Figura 2).

Esta dominancia podría incrementar debido a que el periodo de muestreo no incluyo en su totalidad meses de la temporada de hibernación (diciembre y posiblemente enero) (Martínez Morales, 2007). Por otra parte, la estacionalidad en la reforestación coincide con la composición de áreas verdes dentro de una zona urbana en San Cristóbal de las Casas, Chiapas (Medrano Guzmán, 2020).

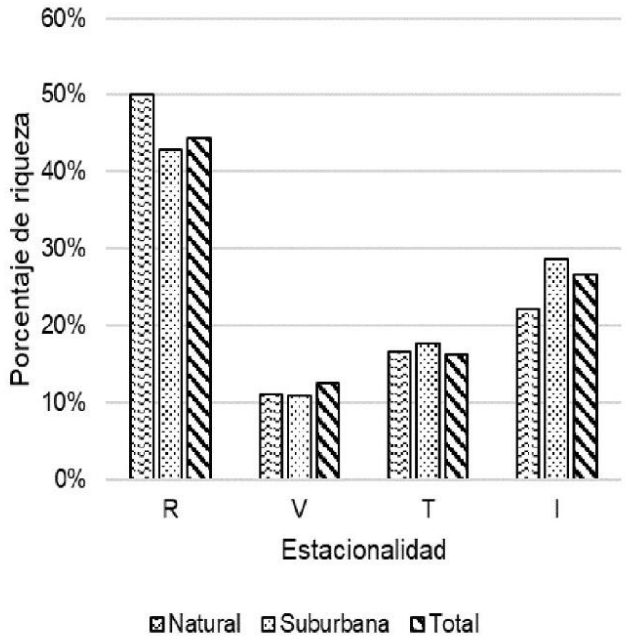


Figura 2. Porcentaje de la riqueza de las estacionalidades, a nivel general y por área de estudio. R=residente, V=veraniegas, T=transeúntes e I=invernales.

La estructura trófica está dominada por los gremios insectívoro y granívoro ya que registraron un porcentaje de riqueza del 67% y el 13%, respectivamente. Esto coincide con lo encontrado en zonas de amortiguamiento bajo restauración en la Reserva Ecológica Del Pedregal De San Ángel en CDMX y en áreas verdes urbanas alrededor de la Universidad Autónoma Metropolitana, en CDMX (San José et al., 2010; Ostos Gutiérrez, 2023).

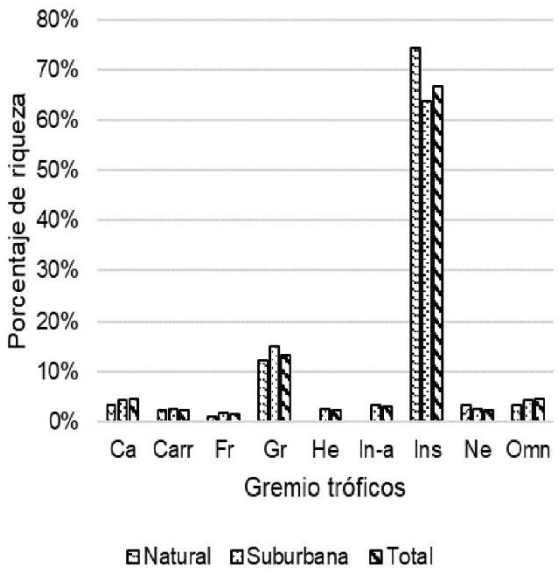


Figura 3. Porcentaje de la riqueza de gremios tróficos, a nivel general y por área de estudio: suburbano y natural. Ca=carnívoro, Carr=carroñero, Fr=Frugívoro, Gr=Granívoro, He=herbívoro, In-a=Invertebrados acuáticos, Ins=insectívoro, Ne=insectívoro y Omn=omnívoro.

Conclusiones

Las especies migratorias y transeúntes fueron predominantes en las áreas estudiadas, esto indica que las áreas son una estancia para las aves migratorias ya que cuentan con disponibilidad de espacio, refugio, agua y alimento para permanecer en ellas, en especial el ambiente suburbano. La dominancia de los gremios insectívoros y granívoros realizan mantienen ecosistémicos como el control de plagas y dispersión de semillas, ayudando y manteniendo condiciones del hábitat adecuados para permitir la presencia de otras especies de flora y fauna silvestre.

Referencias

Blasio Quintana, C. y Pineda López, R. (2020). Diversidad de aves en ambientes antrópicos en una localidad del semidesierto del centro de México. *Huitzil Revista Mexicana De Ornitología*, *21*(2), 1-19. https://doi.org/10.28947/hrmo.2020.21.2.449

Bojorges Baños, J. C. (2009). Amenazando la biodiversidad: Urbanización y sus efectos en la avifauna. *Ciencia y Mar*, *XIII* (39), 61-65.

Cámara de diputados. (1998). *Sesión solemne del LXXV aniversario de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (1923-1998)*. Cámara de diputados. http://biblioteca.diputados.gob.mx/janium/bv/dp/lvii/sesol_lxxv_uniautag_antnarro.pdf

Dunn, J. L., Alderfer, J. K. y Lehman, P. E. (2017). *National Geographic field guide to the birds of North America.* Seventh edition. National Geographic.

Ehrlich, P., Dobkin, D. S. y Wheye, D. (1988). *The birder's handbook: A field guide to the natural* history of North American birds. Simon & Schuster.

Faggi, A. y Perepelizin, P. (2006). Riqueza de aves a lo largo de un gradiente de urbanización en la ciudad de Buenos Aires. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 8*(2)*,* 289-297.

Garza de León, A., Morán, I., Valdés, F. y Tinajero, R. (2007). COAHUILA en R. Ortiz Pulido, A. Navarro-Sigüenza, H. Gómez de Silva, O. Rojas-Soto, y T.A. Peterson (Eds.), *Avifaunas Estatales de México* (pp. 98-136). CIPAMEX.

Gutiérrez, J. y Arredondo, T. M. (1995). Evaporación de agua del suelo en bosque de pino Alepo en el sureste de Coahuila. *Agraria, 11*(2), 106-119. https://doi.org/10.59741/agraria.v11i1-2.93

Herrera Rodríguez, E., y Salgado Ortiz, J. (2022). Diversidad avifaunística en agroecosistemas de riego y temporal de la cuenca baja del Lago de Cuitzeo, Michoacán. *Huitzil Revista Mexicana De Ornitología*, *15*(1), 17–30. https://doi.org/10.28947/hrmo.2014.15.1.50

Howell, S. N. G. y Webb S. (1995). *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press.

Juri, M. D. y Chani, J. M. (2009). Variación estacional en la composición de las comunidades de aves en un gradiente urbano. *Ecología Austral*, *19*(3), 175–184.

Kaufman, K**.** (2005). *Guía de campo a las aves de Norteamérica* (P. Manzano Fischer, Trad.). Houghton Mifflin Harcourt.

Linares Hernández, G. I., Dorantes Euan, A. y Evan Feldman, R. (2018). La urbanización y su impacto en la variación estacional de las aves de la Ciudad de Mérida. *Herbario CICY* 10, 233–240.

Martínez Morales, M. A. (2007). Avifauna del bosque mesófilo de montaña del noreste de Hidalgo, México. *Revista mexicana de biodiversidad 8,*149-162. http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.001.395

Medrano Guzmán, A. P., Enríquez, P. L., Zuria, I. y Castellanos Albores, J. (2020). Riqueza y abundancia de aves en áreas verdes en la ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. *Revista Peruana de Biología, 27(*2), 169-182. https://doi.org/10.15381/rpb.v27i2.17883

Ortega Álvarez, R., Sánchez González., L. A., Berlanga, H. Rodríguez-Contreras, V. y Vargas, V. (2012). *Manual para monitoreos comunitarios de aves*. SEMARNAT. https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/cienciaciudadana/documentos/m_monitores_comunitarios_aves.pdf

Ostos Gutiérrez, V. (2023). *Diversidad de Aves en Áreas Verdes Urbanas Alrededor de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco] https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/40772

Pena, J. C., Ovaskainen, O., MacGregor-Fors, I., Teixeira, C. P. y Ribeiro, M. C. (2023). The relationships between urbanization and bird functional traits across the streetscape. *Landscape and Urban Planning*, *232*, 104685, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104685

Poulin B., Lefebvre, G. y McNeil R. (1992). Tropical Avian Phenology in Relation to Abundance and Exploitation of Food Resources. *Ecology, 73*(6)*, 2295–2309.* doi:10.2307/1941476

Salas Correa, Á. D. y Mancera Rodríguez, N. J. (2020). Aves como indicadoras ecológicas de etapas sucesionales en un bosque secundario, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical, 68*(1), 23-39. https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i1.34913

San José, M., Garmendia, A. y Cano-Santana, Z. (2010). Monitoreo de aves en dos zonas de restauración ecológica y una de referencia, en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F., México. *El canto del Centzontle 1*(2), 148-164.

Wackernagel, M., Schulz, N. B., Deumling, D., Linares, A. C., Jenkins, M., Kapos, V., Monfreda, C., Loh, J., Myers, N., Norgaard, R. y Randers, J. (2002). Tracking the ecological overshoot of the human economy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(14), 9266–9271. doi:10.1073/pnas.142033699

Watson, J. E. M., Whittaker, R. J. y Dawson, T. P. (2004). Avifaunal Responses to Habitat Fragmentation in the Threatened Littoral Forests of South-Eastern Madagascar. *Journal of Biogeography, 31*(11), 1791–1807*.* doi:10.2307/3554779

EFECTOS DE LA BIOESTIMULACION EN MELÓN (*Cucumis melo*) BAJO DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SILICIO EN LA COMARCA LAGUNERA.

Derek Sebastián Gutiérrez Nevárez*, Ricardo Trejo Calzada, Jorge Osvaldo Ruelas Arroyo

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas Km. 40 Carr. Gómez Palacio-Chihuahua, Bermejillo, Durango, México C.P.35230. *Autor de correspondencia: al22102204@chapingo.mx

Introducción

La agricultura sostenible constituye uno de los principales retos de la actualidad, dado que debe responder a las necesidades alimentarias de una población en constante crecimiento, sin comprometer la integridad de los recursos naturales. En este contexto, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha establecido una visión que promueve la preservación de los recursos naturales mediante la transformación técnica de los sistemas productivos, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria de las generaciones presentes y futuras (FAO, 2019). Como parte de esta estrategia, se ha priorizado un enfoque sustentable, basado en métodos alternativos que toman en cuenta el entorno y los procesos biológicos naturales para mejorar el rendimiento, contribuyendo al mismo tiempo a la mitigación de los efectos del cambio climático (FAO, 2019).

En este marco, la utilización de bioestimulantes se ha posicionado como una de las innovaciones más prometedoras dentro de los sistemas agrícolas contemporáneos. Los bioestimulantes, de acuerdo con la Regulación (UE) 2019/1009, se definen como productos de origen microbiano o no microbiano capaces de estimular los procesos de nutrición vegetal, independientemente de su contenido nutricional, con el objetivo de mejorar características como: (a) la eficiencia en el uso de nutrientes, (b) la tolerancia al estrés abiótico, (c) los atributos de calidad, o (d) la disponibilidad de nutrientes confinados en el suelo o rizosfera (Carderelli et al. 2024).

Un estudio de la Cuenca Nazas-Aguanaval sobre el periodo 1940-2020 evidenció un calentamiento progresivo de la temperatura mínima en la mayoría de los municipios, mientras que, para la temperatura máxima, sólo un 80 % mostraba variabilidad significativa, y para precipitación apenas un 33 % mostraba cambios detectables (Cano-Villegas, 2023). Estas tendencias climáticas atípicas implican riesgos para el sector agropecuario, lo cual señala la necesidad de implementar alternativas para la producción en condiciones cada vez más adversas.

En este sentido, el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.), de gran importancia económica en la comarca lagunera (Espinoza-Arellano, 2019), representa una oportunidad para evaluar la eficacia de la bioestimulación bajo diferentes dosis de Silicio. Asimismo, el silicio se reconoce como un elemento benéfico en la fisiología vegetal, particularmente en la inducción de tolerancia a estrés y en la mejora de parámetros de calidad, lo que abre nuevas perspectivas para optimizar el rendimiento y los atributos de calidad del fruto mediante su aplicación en esquemas de bioestimulacion (Hu et al., 2021).

Metodología

Ubicación. El estudio se llevó a cabo en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada en Bermejillo, Durango, México, en las coordenadas 25°53′33″ LN y 103°36′09″ LO. El clima de la región se clasifica como árido con régimen de lluvias en verano (BW(h)HW(e)), de acuerdo con García (1973). La precipitación pluvial media anual es de 258 mm, con una evaporación potencial de aproximadamente 2,000 mm. La temperatura media anual es de 21 °C, con una máxima registrada de 33.7 °C y una mínima de 7.5 °C.

Establecimiento del experimento. El melón se estableció en camas de cultivo de 100 m de longitud, con un ancho promedio de 0.8-0.90 m separadas entre sí a una distancia de 2 m de centro a centro, permitiendo la disposición de 39 surcos en total. Las plantas fueron establecidas en una sola hilera, con una distancia de siembra de 0.3 m entre individuos, coincidiendo con los orificios del acolchado plástico utilizado como cubierta. El sistema de riego consistió en cintilla de goteo, con emisores colocados cada 0.20 m, logrando una densidad aproximada de 13,000 plantas por hectárea.

La siembra se realizó el 9 de marzo de 2025, y se efectuó una resiembra el 24 de marzo del mismo año para reponer fallas de establecimiento. La variedad a sembrar fue Cruiser F1.

Diseño experimental. El diseño experimental fue bloques completos al azar, con tres repeticiones y cuatro tratamientos. La unidad experimental fue constituida por 3 camas de 15 metros de longitud. La parcela útil fue la cama central, específicamente los 12 metros centrales.

Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar del producto “Optysil” de la empresa Fenumex ® (7.8% de silicio y 16.5% de dióxido de silicio), por encima y por debajo de la dosis recomendada por el fabricante, con el objetivo de identificar la concentración óptima para el cultivo:

- T1 (Testigo): aplicación únicamente de agua.
- T2: Silicio 10 ppm.
- T3: Silicio 20 ppm
- T4: Silicio 30 ppm

Aplicación de los tratamientos. La aplicación de los tratamientos fue vía foliar a través de una mochila aspersora motorizada, con una boquilla de cono hueco. Todas las aplicaciones se hicieron al atardecer entre las 18:00 y 19:00 horas los siguientes días:

- Primera aplicación: 12 de abril de 2025 (primeros brotes florales).
- Segunda aplicación: 20 de abril de 2025 (primeros frutos).
- Tercera aplicación: 3 de mayo de 2025 (llenado de fruto).
- Cuarta aplicación: 16 de mayo de 2025(enmallado del fruto).

Variables medidas.

- Rendimiento: Se pesaron los melones individualmente con una báscula electrónica.
- Numero de frutos: el total de frutos aptos para venta.
- Diámetro polar y ecuatorial: se midieron los melones individualmente con una cinta métrica corporal.
- Grados brix: se midió con un fotocolorímetro al momento del corte.
- Contenido de clorofila: se midió con un Fieldscout® CM 100
- Temperatura interna: Pistola termómetro infrarrojo

Análisis estadístico. Los datos obtenidos se sometieron a una prueba de media Tukey al 95% de confiabilidad a través del programa SAS.

Resultados y discusión

La Figura 1 evidencia que el tratamiento 3 (T3) alcanzó el mayor rendimiento, así como los valores más elevados de grados brix (figura 2), lo que confirma que la dosis recomendada en la etiqueta resultó ser la más efectiva. Este comportamiento puede atribuirse a la acción del silicio, el cual estimula la actividad enzimática asociada a la biosíntesis de lignina, favoreciendo el engrosamiento del córtex, la expansión de los haces vasculares y del xilema, y una mayor resistencia mecánica del tallo, lo que en conjunto contribuye a mejorar el desempeño productivo del cultivo (Hu et al., 2021).

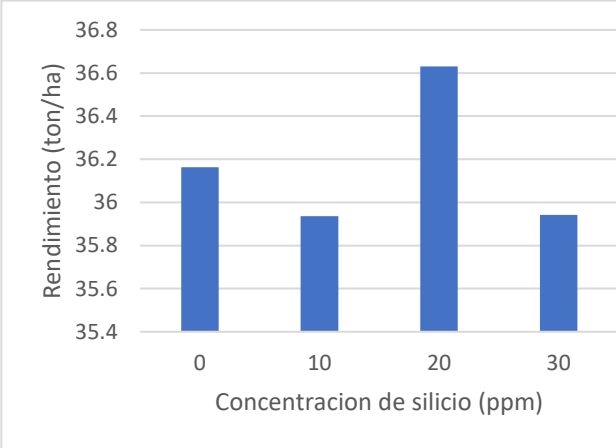


Figura 1. Rendimiento de melón en diferentes concentraciones de silicio.

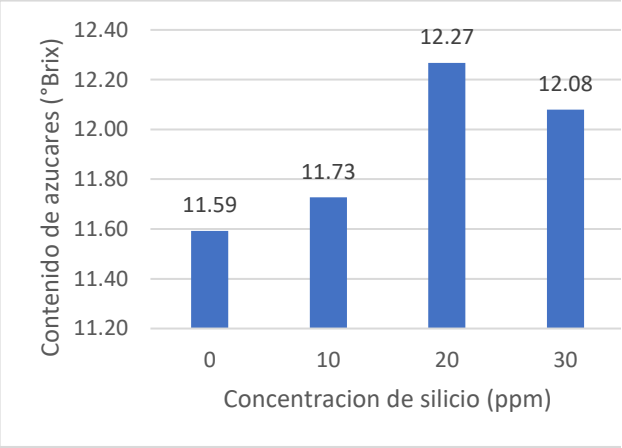


Figura 2. Contenido de azúcares (ºBrix) de melón por efecto de diferentes concentraciones de silciio.

La Figura 3 muestra que las plantas correspondientes a los tratamientos 2 y 4 presentaron temperaturas internas más elevadas, lo que podría estar relacionado con la disminución del rendimiento en comparación con el testigo. En contraste, aunque el tratamiento 3 también registró temperaturas internas relativamente altas, este evidenció un mayor rendimiento y más grados brix respecto al tratamiento 1. Este comportamiento sugiere un posible efecto positivo de la aplicación de silicio en el cultivo de melón, lo cual es consistente con lo reportado por Alam et al. (2021), quienes observaron que el rendimiento de melón disminuye bajo condiciones de estrés hídrico, en comparación con plantas no estresadas, aunque no se detectaron diferencias significativas entre distintas dosis de silicio.

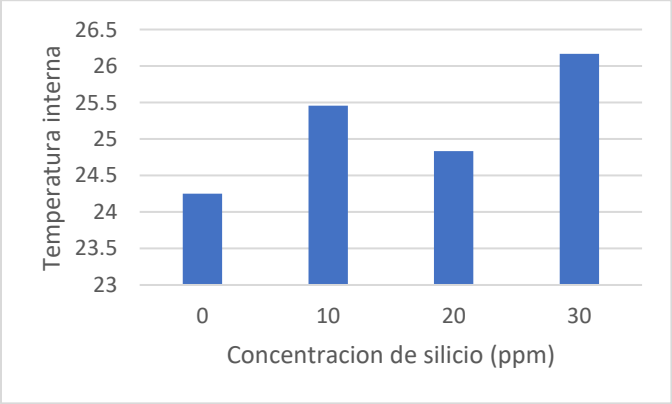


Figura 3. Temperatura interna de plantas de melón.

No existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para las variables a medir (cuadro 1), sin embargo, si ocurrieron diferencias reales que pueden indicar efectos del silicio en el cultivo.

Cuadro 1. Variables medidas en melón bajo diferentes concentraciones de silicio.

Tratamiento	Numero de frutos	Diámetro polar	Diámetro ecuatorial	Contenido de Clorofila
1	82.7 a	47.6 a	43.8 a	11.59 a
2	76.1 a	46.34 a	43.6 a	11.72 a
3	84 a	47.5 a	43.95 a	12.26 a
4	84 a	46.0 a	42.6 a	12.08 a

* Letras minúsculas iguales indican que no hay diferencias estadísticas significativas bajo la prueba tukey=95%

Conclusiones

La aplicación del producto de silicio a 20 ppm de concentración (T3) muestra un incremento de 0.46 toneladas por hectárea conforme a la ausencia de aplicación de silicio(T1).

La aplicación de silicio induce un mayor contenido de grados brix.

El estado fisiológico de la planta modifica la respuesta de la planta a estímulos en diferentes dosis, cuando las plantas entran a un estrés severo, los efectos del silicio en el rendimiento pueden verse opacados.

Referencias

Alam, A., Hariyanto, B., Ullah, H. et al. Effects of Silicon on Growth, Yield and Fruit Quality of Cantaloupe under Drought Stress. Silicon 13, 3153–3162 (2021). https://doi.org/10.1007/s12633-020-00673-1

Cano-Villegas, Omag & Gisela, Muro-Pérez & Castaneda, Gamaliel & Jaime, Sánchez-Salas. (2023). Tendencias locales de cambio climático y sus efectos en la Cuenca Nazas-Aguanaval: análisis de un periodo de 80 años (1940-2020). Revista Ciencia UANL. 25. 34-38. 10.29105/cienciauanl25.113-1.

Cardarelli M, El Chami A, Rouphael Y, Ciriello M, Bonini P, Erice G, Cirino V, Basile B, Corrado G, Choi S, Kim H-J and Colla G (2024) Plant biostimulants as natural alternatives to synthetic auxins in strawberry production: physiological and metabolic insights. Front. Plant Sci. 14:1337926. doi: 10.3389/fpls.2023.1337926

Espinoza-Arellano, J. de J., Orona-Castillo, I., Guerrero-Ramos, L. A., Molina-Morejón, V. M., & Ramírez-Quiroga, E. C. (2019). Análisis del financiamiento, comercialización y rentabilidad del cultivo del melón con enfoque de “siembras por etapas” en la Comarca Lagunera de Coahuila, México. CienciaUAT, 13(2), 71–82. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1054

FAO (2019) Food and agriculture organization of the United Nations. Available at: https://www.fao.org/3/ca5043en/CA5043EN.pdf.

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México.

Hu, Y., Javed, H. H., Asghar, M. A., Peng, X., Brestic, M., Skalický, M., Ghafoor, A. Z., Cheema, H. N., Zhang, F.-F., & Wu, Y.-C. (2022). Enhancement of lodging resistance and lignin content by application of organic carbon and silicon fertilization in Brassica napus L. Frontiers in Plant Science, 13, Article 807048. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.807048

VULNERABILIDAD DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS ANTE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN EL NORESTE DE MÉXICO: IMPLICACIONES PARA EL MANEJO Y LA CONSERVACIÓN

Jorge E. Ramírez-Albores[1*], Marlín Pérez-Suárez[2], Heliot Zarza[3], José F. González-Maya[3], J. Javier Ochoa-Espinoza[3], José Antonio Hernández-Herrera[3]

[1]Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro 1923, Col. Buenavista. 25315. Saltillo, Coahuila, México. [2]Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Carr. El Cerrillo - Piedras Blancas s/n. 50009. Toluca, Estado de México, México. [3]Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón, 52005, Lerma de Villada, Estado de México. [4]Departamento de Recursos Naturales Renovables, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro 1923, Col. Buenavista. 25315. Saltillo, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: jorgeramirez22@hotmail.com

Introducción

Las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) son pilares fundamentales para la conservación de la biodiversidad en el contexto de la crisis climática, ya que su diseño y gestión se orientan a la protección de ecosistemas estratégicos y especies en riesgo (Pulido-Chadid et al., 2023). Su importancia radica en la capacidad de preservar diversidad genética y de especies, actuando como bancos genéticos y refugios climáticos que aseguran la supervivencia de organismos sometidos a condiciones ambientales adversas (Selwood & Zimmer, 2020). Esta reserva genética constituye un recurso esencial para la adaptación de comunidades biológicas frente al cambio climático. Además, las ANPs fortalecen la resiliencia ecológica mediante el mantenimiento de ecosistemas y procesos naturales, lo que facilita la recuperación tras disturbios ambientales. Su función como corredores ecológicos resulta crítica, al permitir la migración y dispersión de especies, reducir el aislamiento poblacional y promover el flujo génico, incrementando así la diversidad genética (Melillo et al., 2016). Estas funciones las convierten en elementos clave para amortiguar los efectos del cambio climático y sostener la provisión de servicios ecosistémicos.

No obstante, su efectividad se ve amenazada por la expansión de especies exóticas invasoras (EEI), que comprometen tanto la biodiversidad nativa como los procesos ecológicos que sostienen la resiliencia de los ecosistemas (Carneiro et al., 2025). La prevención y control de estas invasiones dependen de la detección temprana de áreas de riesgo, aunque dicho proceso se limita por la escasez de recursos y la extensión de las superficies ya afectadas (El-Barougy et al., 2021). Ello evidencia la necesidad de enfoques innovadores en biología de invasiones que permitan anticipar la expansión de especies con alto potencial invasivo. En este contexto, se evaluó la idoneidad climática actual y futura de tres EEI: la paloma de collar turca (*Streptopelia decaocto*), el cerdo asilvestrado (*Sus scrofa domesticus*) y el borrego berberisco (*Ammotragus lervia*) en ANPs del noreste de México. El objetivo fue identificar zonas de alto riesgo de invasión, analizar la influencia de las condiciones ambientales en su potencial invasivo, proyectar cambios en su distribución asociados al cambio climático y generar insumos para estrategias de prevención y manejo. Los resultados constituyen una herramienta diagnóstica clave para orientar la gestión regional frente a las EEI, en concordancia con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible 13 (Acción por el clima) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres) (Naciones Unidas, 2023).

Material y métodos

La región noreste de México, integrada por Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas, posee gran relevancia socioeconómica y ambiental. Con una superficie de 295,796 km² —equivalente al 15 % del territorio nacional— constituye la segunda región más extensa del país, aunque con baja densidad poblacional (INEGI, 2021). Su importancia económica se asocia al dinamismo urbano, la infraestructura, el turismo y su papel como corredor fronterizo con Estados Unidos, lo que la convierte en un nodo estratégico para el desarrollo nacional. Desde la perspectiva biológica, destaca por su riqueza y endemismo (Luna et al., 2004). Alberga parte del Desierto Chihuahuense, la mayor ecorregión árida de Norteamérica y uno de los desiertos más biodiversos del planeta. En particular, Tamaulipas concentra ecosistemas de transición — matorrales xerófilos, pastizales, chaparrales y bosques templados— que favorecen una elevada diversidad de especies, muchas de ellas endémicas. En conservación, la región cuenta con más de 80 Áreas Protegidas (APs) de diferentes categorías de manejo, que en conjunto abarcan 41,656.4 km² distribuidos en 47 APs en Coahuila, 30 en Nuevo León y 11 en Tamaulipas (CONANP, 2025). Estas áreas aseguran la preservación de ecosistemas, la conectividad ecológica y la protección de especies en riesgo. Sin embargo, la presencia de especies exóticas invasoras (EEI) dentro y en los alrededores de varias APs representa una amenaza creciente para la biodiversidad.

Entre las EEI de mayor preocupación destacan la paloma de collar turca (*Streptopelia decaocto*), el cerdo asilvestrado (*Sus scrofa domesticus*) y el borrego berberisco (*Ammotragus lervia*), introducidos con fines cinegéticos u ornamentales, o liberados de manera accidental o deliberada (Álvarez-Romero et al., 2008). Su alta capacidad de dispersión, plasticidad ecológica y tasas reproductivas han facilitado su expansión, ocasionando competencia con especies nativas, depredación, alteración de procesos ecológicos y degradación de hábitats críticos. Ante este escenario, resulta prioritario anticipar su expansión bajo condiciones actuales y futuras de cambio climático. Para ello se compiló una base de datos de registros de presencia a partir de GBIF y observaciones de campo. Su idoneidad climática se describió con variables de WorldClim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017), y se modeló con MaxEnt (Phillips et al., 2006) en R software, estimando distribuciones potenciales actuales y futuras. Las proyecciones se basaron en los modelos MIROC6 e IPSL-CM6A-LR bajo el escenario SSP585, que prevé un incremento global de ~2 °C hacia 2041–2060 (IPCC, 2021). Este enfoque genera información científica robusta para identificar zonas de alto riesgo de invasión en las APs del noreste de México y sustentar estrategias de monitoreo, prevención y manejo adaptativo frente al impacto combinado de las EEI y el cambio climático.

Resultados y discusión

Las especies exóticas invasoras (EEI) representan una de las principales amenazas para la biodiversidad al alterar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, desplazar especies nativas y modificar procesos ecológicos esenciales (Foxcroft et al., 2017). En el noreste de México se identificaron tres EEI con creciente incidencia en Áreas Naturales Protegidas (ANP): la paloma de collar turca (*Streptopelia decaocto*), el cerdo asilvestrado (*Sus scrofa domesticus*) y el borrego berberisco (*Ammotragus lervia*). Mediante modelado de nicho climático se estimó su distribución potencial actual y futura bajo un escenario pesimista de cambio climático (2041–2060), revelando riesgos diferenciados para la conservación.

La paloma de collar turca mostró afinidad por ambientes urbanos y periurbanos. Actualmente ocupa un hábitat potencial de 205,356 km² (69 % de la superficie regional) y 19,591 km² (47 %) dentro de ANP. Bajo escenarios futuros, su rango disminuiría a 151,603 km² (51 %) a nivel regional y 16,072 km² (38.6 %) en ANP, con reducciones de hasta 18 % y 8 %, respectivamente.

Aunque se prevé una contracción de su distribución, su capacidad de adaptación a entornos antropizados podría sostener su expansión local y mantener presiones sobre comunidades nativas. El cerdo asilvestrado presentó una distribución actual de 132,638 km² (45 %) y 15,126 km² (36 %) en ANP, asociada principalmente a ranchos cinegéticos. Bajo condiciones futuras, su hábitat se expandiría a 163,807 km² (55.4 %) y 17,743 km² (42.6 %) en ANP, con incrementos superiores al 10 % regional y 6 % dentro de ANP. Su expansión hacia el centro y sur de Nuevo León y Tamaulipas refuerza la necesidad de control, dado su carácter depredador oportunista, su impacto sobre cultivos, la competencia con fauna nativa y el riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas. El borrego berberisco, introducido con fines cinegéticos, mostró una distribución actual de 176,419 km² (59.6 %) y 20,987 km² (50.4 %) en ANP. Bajo escenarios futuros, se expandiría a 220,832 km² (74.6 %) y 26,813 km² (64.3 %) en ANP, con incrementos del 15 % y 14 %. Su expansión continua en Coahuila, Nuevo León y el oeste de Tamaulipas amenaza a ungulados nativos por competencia directa y alteración de dinámicas tróficas.

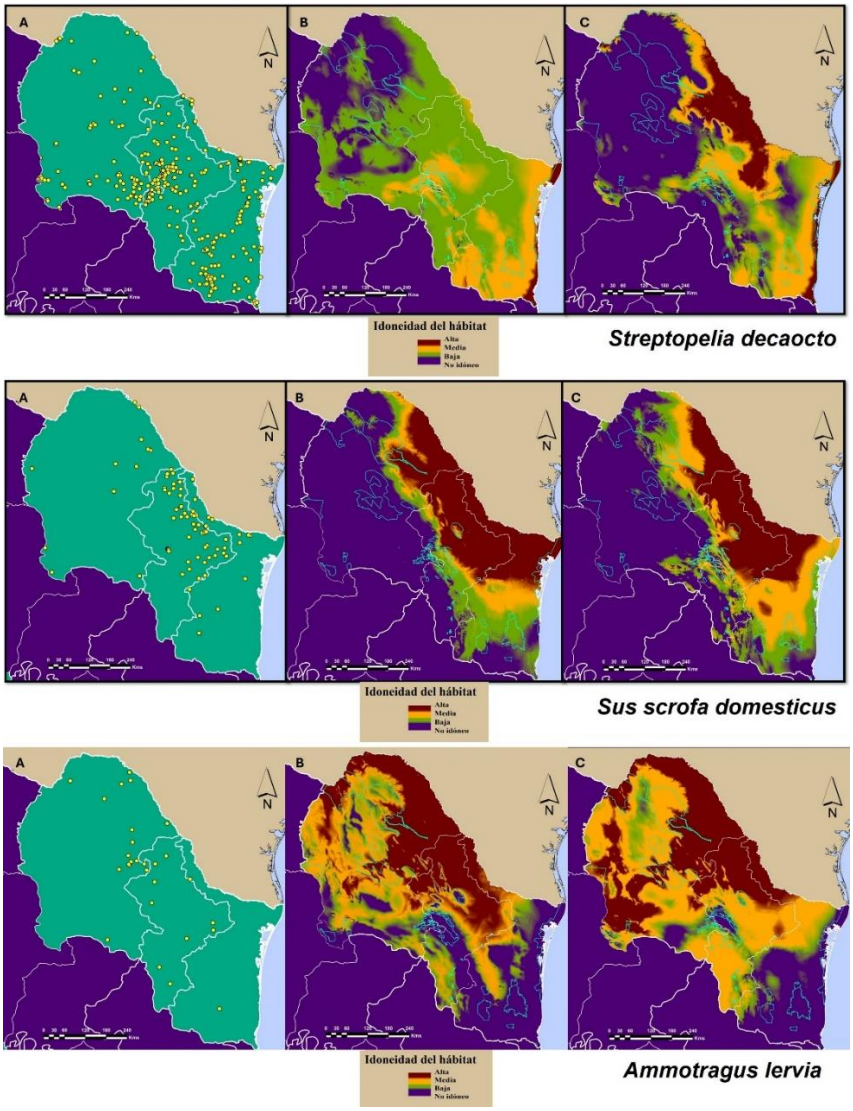


Figura 1. Presencia actual (A) y distribución potencial de la idoneidad climática estimada de la ploma de collar turca (*Streptopelia decaocto*), el cerdo asilvestrado (*Sus Scrofa domesticus*) y el borrego berberisco (*Ammotragus lervia*) en la actualidad (B) y predicciones para el periodo 2041-2060 (C) en caso de no implementarse acciones destinadas a mitigar el cambio climático. Las líneas azules representan las áreas protegidas en la región.

En conjunto, los modelos proyectan contracción para la paloma de collar turca y expansión significativa del cerdo asilvestrado y el borrego berberisco. Estos escenarios implican riesgos ecológicos complementarios que comprometen la función de las ANP como refugios de biodiversidad. En consecuencia, resulta indispensable fortalecer el monitoreo, prevenir nuevas introducciones, implementar medidas de control poblacional y restaurar hábitats degradados.

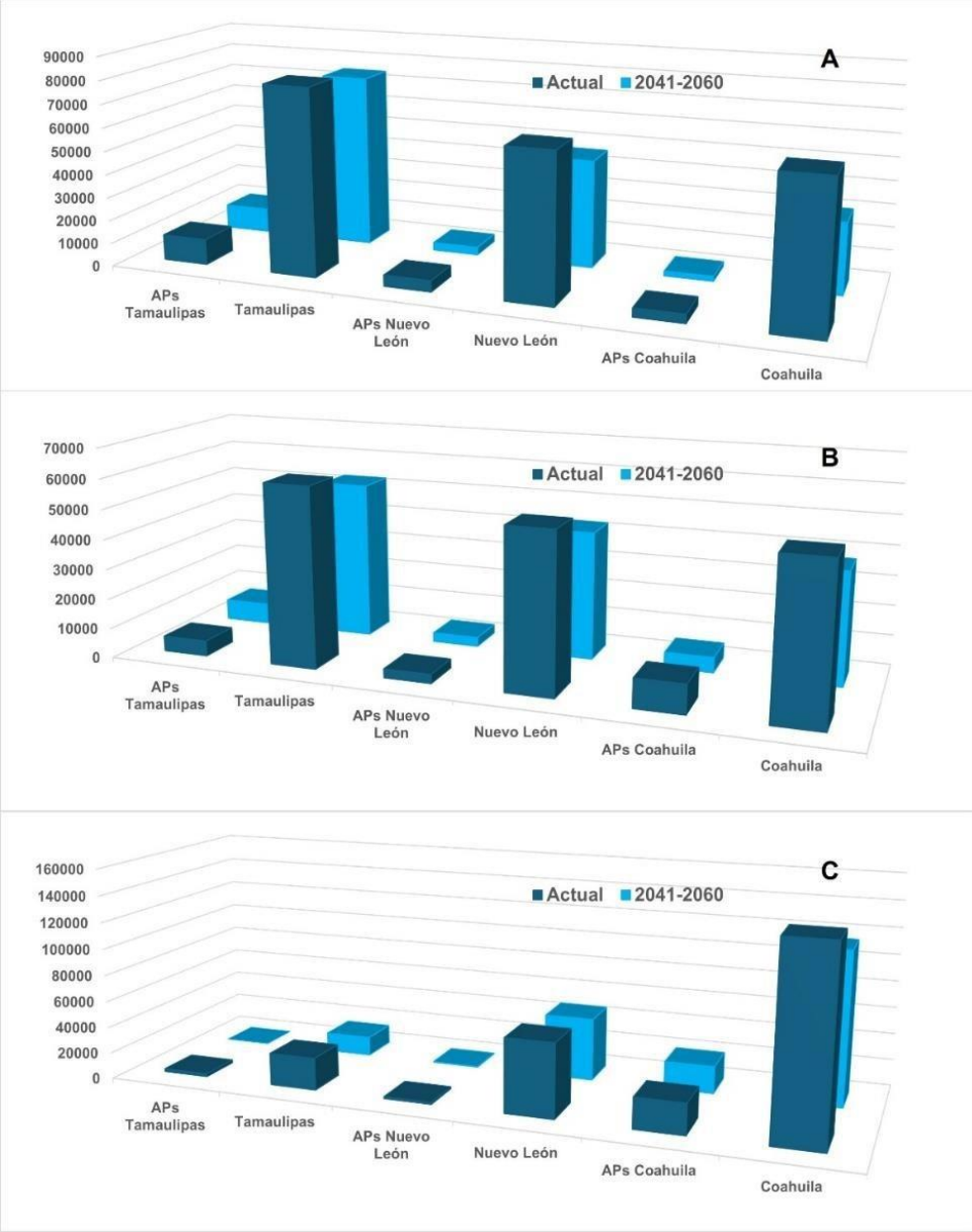


Figura 2. Variación de la superficie de distribución potencial de la idoneidad climática de la paloma de collar turca (*Streptopelia decaocto*, A), el cerdo asilvestrado (*Sus scrofa domesticus*, B) y el borrego berberisco (*Ammotragus lervia*, C) estimada en la actualidad y predicciones para el periodo 2041-2060 en las ANPs de la región noreste de México.

Conclusiones

Los resultados evidencian que, bajo escenarios de cambio climático, la problemática de las especies invasoras en ANP del noreste de México podría intensificarse, en especial por la expansión proyectada de Sus scrofa domesticus y Ammotragus lervia. Estos hallazgos refuerzan la urgencia de integrar enfoques predictivos como la modelación de nicho ecológico en las políticas de conservación, a fin de anticipar riesgos, diseñar medidas adaptativas y garantizar la efectividad a largo plazo de las ANP como refugios de biodiversidad en un contexto de cambio global.

Referencias

Álvarez-Romero, J.G., Medellín, R.A., Oliveras de Ita, A., Gómez de Silva, H. y Sánchez, O. (2008). Animales Exóticos en México: Una Amenaza para la Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Ecología-UNAM, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Carneiro, L., Miiler, N.O.R., Prestas, J.G., Vitule, J.R.S. & Cuthbert, R.N. (2025). Impacts and mechanisms of biological invasions in a global protected areas. Biological Invasions, 27, 20. https://doi.org/10.1007/s10530-024-03498-w

CONANP. (2025). Áreas Naturales Protegidas. CONANP. México. https://www.gob.mx/conanp/documentos/areas-naturales-protegidas-278226

El-Barougy, R.F., Dakhil, M.A., Halmy, M.W., Gray, S.M., Abdelaal, M., Khedr, A-H. A. & Bersier, L-F. (2021). Invasion risk assessment using trait-environment and species distribution modelling techniques in an arid protected area: Towards in an conservation prioritization. Ecological Indicators, 129, 107951. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107951

Fick, S.E. & Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37(12), 4302-4315. https://doi.org/10.1002/joc.5886

Foxcroft, L.C., Pyšek, P., Richardson, D.M., Genovesi, P. & MacFadyen, S. (2017). Plant invasion science in protected areas: progress and priorities. Biological Invasions, 19, 1353– 1378. https://doi.org/10.1007/s10530-016-1367-z

IPCC. (2021). Summary for Policymakers. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, A., S.L. Connors, S.L., et al. (coords.), Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 3–32), IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge University Press, Cambridge and New York.

INEGI. (2021). Atlas territorial de México. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). México.

Luna, I., Morrone, J.J. & Espinosa, D. (2004). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Melillo, J.M., Lu, X., Kicklighter, D.W., Reilly, J.M., Cai, Y. & Sokolov, A.P. (2016). Protected areas' role in climate-change mitigation. Ambio, 45, 133–145. https://doi.org/10.1007/s13280-015-0693-1

Naciones Unidas. (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/

Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190, 231-259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Pulido-Chadid, K., Virtanen, E. & Geldmann, J. (2023). How effective are protected areas for reducing threats to biodiversity? A systematic review protocol. Environmental Evidence, 12,18. https://doi.org/10.1186/s13750-023-00311-4

Selwood, K.E. & Zimmer, H.C. (2020). Refuges for biodiversity conservation: a review of the evidence. Biological Conservation, 245,108502. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108502

ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN EL BOSQUE DE GALERÍA DEL RÍO AGUANAVAL MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA AÉREA

Jonathan G. Escobar Flores[1*], Sarahi Sandoval Espinoza[2], Eduardo Sánchez Ortiz[1], Jacqueline Lizeth Álvarez González[3], Juan José Castañeda Gaytán[3], José Leonel Colón Hernández[1], Alfonso Gaytán Alarcon[1]

[1]CIIDIR Durango, Instituto Politécnico Nacional, Durango 34220, DG, Mexico, [2]SECIHTI, Instituto Politécnico Nacional, Durango 34220, DG, MexicO34220, México. [3]Pronatura Noreste, Loma Grande 2623; Loma Larga, Monterrey Nuevo Leon, México, 64710. * Autor de correspondencia: jescobarf@ipn.mx

Introducción

Los bosques de galería son ampliamente reconocidos por brindar numerosos servicios ecosistémicos y ser puntos críticos de biodiversidad que brindan hábitat crítico para peces y vida silvestre (Naiman et al., 2010). A pesar de esto, estos ecosistemas se han degradado gravemente en todo el mundo y su restauración puede ser una estrategia valiosa para brindar tanto un valor de secuestro de carbono rápido a largo plazo (Zedler & Kercher, 2005). En general, las plantas utilizan CO_2 y liberan O_2 durante el proceso fotosintético; asimismo, almacenan componentes de carbono en sus estructuras por periodos prolongados, por lo cual se les considera como reservas naturales de carbono (Schlesinger & Andrews, 2000). Para determinar la biomasa de los árboles se utilizan métodos directos, costosos que implican la destrucción de los árboles evaluados y se requieren de ecuaciones alométricas locales, como lo indican Fehse, et al. (2002), los métodos directos se basan en el derribo y pesaje de la vegetación, lo que se traduce en la destrucción de la vegetación riparia. Sin embargo, una alternativa para estimar la biomasa vegetal no destructiva se basa en la combinación de técnicas SIG y enfoques de teledetección con los cuales es posible realizar una estimación indirecta tanto de la biomasa como del carbono sin causar ningún daño a estos ecosistemas. Sin embargo, en los hábitats ribereños, es necesario una resolución espacial muy alta para mapear la vegetación debido a la anchura limitada y la alta complejidad estructural de los parches de vegetación ribereña (Congalton et al., 2002). El uso de imágenes de vehículos aéreos no tripulados (UAV) puede superar este problema ya que con estos sensores se puede lograr una resolución espacial fina de centímetros (Rango et al., 2009). El estudio utilizó imágenes provenientes de vehículos aéreos controlados a distancia (VANT) con el objetivo de obtener información detallada que permita realizar procesos de interpolación espacial con el menor error posible para estimar el volumen de carbono en el bosque de galería en el río Aguanaval.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en tres sitios del río Aguanaval del estado de Coahuila, México. El primer sitio se denomina Cañón del Rialito (25° 2'53.11"N, 103°16'21.36"O), con una extensión de muestreo de aproximadamente 4 km. El segundo sitio fue El Paso de las Trocas (25° 1'27.77"N, 103°16'22.80"O), este lugar se caracteriza por la dominancia de sabinos (*Taxodium mucronatum*) y el área de muestreo fue de 2 km. El último sitio fue el Cañón del Barreal de Guadalupe (24°59'42.01"N, 103°14'49.70"O), con una extensión de 4.4 km. Los criterios para seleccionar estos sitios fueron: 1) A partir de la información de imágenes de satélite se identificó que eran los sitios con mayor presencia de árboles, 2) los ejidatarios y el Biol. Juan Castañeda Gaytán (personal de PRONATURA) nos indicaron la importancia ecológica de estos sitios y 3) áreas viables para realizar vuelos controlados a distancia.

Estimación de carbono almacenado. Previo a la determinación del carbono almacenado se seleccionaron dos especies que son representativas del bosque de galería y que por su forma de vida y longevidad almacenan más carbono, estas especies fueron: el Sabino (*Taxodium mucronatum*) y el Sauce (*Salix babylonica*). En las tres localidades mencionadas previamente se realizaron las siguientes medidas dasométricas al 100% de los árboles encontrados en campo: Área basal, Volumen del fuste, altura de los árboles, biomasa área total, carbono almacenado.

Área basal. El área basal que se denota por la letra G se estimó a partir de las mediciones de los diámetros a la altura de pecho (DAP) que inicia a una altura estándar de 1.30 m con respecto al nivel del suelo. La ecuación para estimar G fue con base en Balam (2013) (Ec. 1).

$$G = \pi \cdot \frac{DAP^2}{4} \quad \text{..... (Ec. 1)}$$

Volumen del fuste. Se denota con la letra V se calcula a partir de G, el resultado obtenido se reporta en m^3. La estimación consiste en multiplicar el área basal por la altura (h) y el coeficiente mórfico (Cm) para el Sabino se reporta 0.70 y para el Sauce 0.65 (Ec. 2).

$$V = G \cdot h \cdot Cm \text{.....(Ec. 2)}$$

Altura de los árboles. La altura de cada árbol se determinó mediante fotogrametría y generación de nube de puntos a partir de vuelos realizados con un vehículo aéreo no tripulado (UAV) marca DJI mini 2. Este UAV contiene un sistema de posicionamiento integral GPS + GLONASS + Galileo.

Con la ubicación geográfica de cada árbol se sobrepone en el MDS para que mediante un proceso de extracción por máscara se obtenga la elevación del suelo (ES) y la altura de copa (AC) de cada árbol de forma individual. Para determinar la altura de los árboles en metros se aplicó (Ec. 3).

$$Altura\ del\ arbol\ = AC - ES \text{.....(Ec. 3)}$$

Biomasa aérea total (B). Esta variable se obtiene multiplicando el volumen de cada árbol por el factor de densidad de madera reportado para la Global Wood Density (https://www.worldagroforestry.org) para el caso del Sabino δ = 0,43 g/ cm^3 y para el Sauce δ = 0,44 g/ cm^3. Con esta información se aplica la ecuación de estimación de biomasa a través del volumen del fuste (V), utilizando la densidad básica de la madera para determinar el peso seco. Para este caso no se aplica factor de expansión de biomasa (FEB) dado que no se halló biomasa de ramas o de follaje, por lo anterior se considera el resultado final como el peso seco total (biomasa total del árbol) (Brown,1997) (Ec. 4). La biomasa se obtiene en Kg y se transforma a toneladas de biomasa (Schlegel et al., 2001).

$$B = (\mathrm{V})(\delta) \text{.....(Ec. 4)}$$

Carbono Almacenado (C): Se calcula a partir de la multiplicación entre la biomasa (B) por la fracción de carbono establecida por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) que es igual a Fc= 0,45 (IPCC, 2003 citado por Balam, 2013). Esta fracción de carbono se ha determinado por varios autores como el equivalente a la proporción de carbono contenido en cualquier especie vegetal (Díaz et al., 2007).

Determinación geoespacial del carbono almacenado. La predicción del carbono almacenado se fundamentó en medidas dasométricas de dos especies de árbol: Sabinos y Sauces, porque estas especies son representativas y almacenan carbono de forma constante. Se generaron 3 bases de datos (una por lo calidad) las cuales contienen el carbono almacenado para cada árbol (777 en total). Las bases de datos se convirtieron a formato shapefile (shp) y se analizó la distribución espacial de los sitios de muestreo en el terreno con el módulo de análisis geoestadístico del software ArcGIS Pro. Primero se determinó si los datos tienen una distribución normal, en caso negativo, los valores de la variable se transformaron a logaritmo base 10 para ajustarlos y reducir el sesgo y curtosis con el objetivo de realizar una interpolación con el menor error posible (Xie et al., 2011). El siguiente paso fue la interpolación espacial por el método de Kriging ordinario. El método de interpolación kriging utiliza varios programas para predecir valores desconocidos de variables distribuidas en un espacio determinado a partir de datos observados en lugares conocidos (Xie et al., 2011). Se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción. El kriging ordinario asume que las predicciones son una combinación lineal de los datos. Para validar el modelo geoespacial se utilizó el módulo validation/prediction en ArcGIS Pro, el cual compara los valores medidos en campo versus la predicción realiza con Kriging; entre más parecidos sean los datos el error tenderá a 0 y el modelo geoespacial se considerará aceptable. También se reporta el efecto pepita o nugget, el cual es un indicador del semivariograma que advierte si el modelo de interpolación se concentra a distancias inferiores a las observadas (Giraldo, 1996).

Resultados y discusión

El carbono almacenado por parte de todos los árboles de Sauce fue de 222.05 CO_2/t/ Anuales. Los sabinos en total tuvieron una menor captura de carbono con un total 188.38 CO_2/t/Anuales, sin embargo, hay que considerar que el número de árboles de sabinos represento el 30% del total de las mediciones. De forma individual, se encontró que los Sabinos que se distribuyen en el sitio El Paso de las Trocas son los que más CO_2 están almacenando con valores entre 4 y 8 CO_2/t/anual por individuo, mientras que solo un par de árboles de Sauce almacenaron entre más de 1 CO_2/t/Anual (Figura 1). El árbol de Sauce que más $C0_2$ fue de 7.9 CO_2/t/Anual, este árbol es representativo del poblado de El Barreal de Guadalupe y se localiza en el arroyo a 400 metros de la comunidad (Latitud 24.998541°, Longitud -103.248712°).

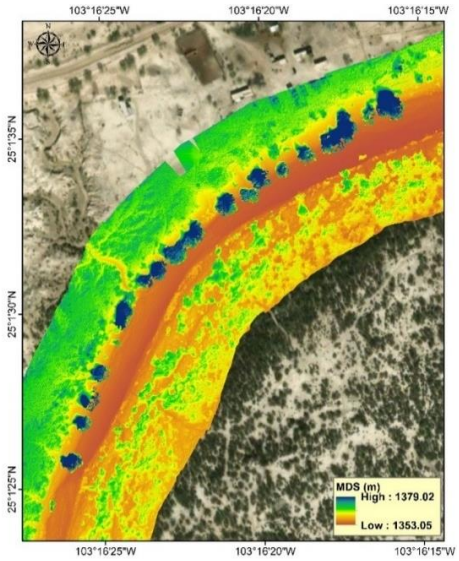


Figura 1. Modelo de elevación de superficie derivado de la fotogrametría de imágenes tomadas con el VANT. En color azul se observa con detalle las copas de los árboles de Sabinos.

El volumen de carbono almacenado en las áreas de estudio del río Aguanaval no es uniforme, la variación en el DAP y altura de los árboles indican que el área con mayor captura de carbono por los árboles es el Cañón del Rialito con un promedio de 56.93 CO_2/t/ha. Este resultado es semejante al reportado por la Harmonized Wordl Soid Daabase (HWSD) quienes proyectan para esta area entre 50 y 56 CO_2/t/Anual.El total de CO_2 almacenado por todos los árboles (n=777) es de 410.85 CO_2/t/Anual, lo cual equivale a la captura de CO_2 emitido por 117,051 por camionetas tipo pick up al año. De acuerdo con el periódico Milenio en el año 2022 (www.milenio.com/laguna) las unidades automotrices que circulaban entre los municipios de Torreón, Gómez Palacio, Matamoros y Lerdo es de 587,952 unidades, en este sentido solo las áreas de este estudio contribuyen a mitigar la emisión del 20% de $C0_2$ del parque vehicular mencionado anteriormente.

En términos de las poblaciones de árboles que componen el bosque de galería se observó que tanto para los Sabinos como los Sauces el reclutamiento es muy bajo (<100 individuos por hectárea). El reclutamiento es un indicador ecológico que indica el incorpora miento de nuevos individuos de árboles desde su fase de plántula a una población existente. En este sentido, los resultados encontrados indican que el bosque de galería tiene una alta vulnerabilidad y su permanencia puede estar en riesgo. En la localidad El Barreal de Guadalupe fue donde se estimó la menor captura de carbono con 5.4 CO_2/t/ha y se observó en el trabajo de campo una baja densidad de árboles y prácticamente sin reclutamiento.

Conclusiones

Se recomienda incluir a las localidades Cañón del Rialito y el Paso de las Trocas dentro de los polígonos de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco. Además de la importancia de los sitios en la captura de carbono se identificaron que prácticamente todos los árboles tenían evidencia de anidación y uso por las aves, y también se documentaron evidencias directas e indirectas fauna silvestre, por ejemplo: venado cola blanca (*Odocoileus virginiaus*), gato montés (*Lynx rufus*), tejón (*Taxidea taxus*), coyote (*Canis latrans*). Es importante resaltar la cobertura del uso de suelo, que de acuerdo con la serie VII de uso de suelo y vegetación (la cual es la más reciente) no se reporta la existencia de un bosque de galería lo cual contrasta con lo encontrado en este estudio en donde se reportan 176 hectáreas de este bosque que se confirmó con trabajo de campo. Es importante mencionar que en las áreas de estudio donde fue evidente la pérdida de árboles de Sauces y Sabinos están siendo reemplazadas por arboles de mezquite (*Neltuma glandulosa*, *Neltuma juliflora*) y uña de gato (*Mimosa sp*.) los cuales se caracterizan por tolerar sequías y posiblemente indiquen una transformación del bosque de galería.

Referencias

Balam, L. 2013. Valoración económica del servicio ambiental: Captura de carbono, en la reserva Forestal Xilitla, San Luis Potosí, México. San Luis Potosí: Universidad Nacional Autónoma de México.

Brown, S., Lugo, A. 1984. Aboveground biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. Science, 223: 1290-1293.

Congalton, R. G., Birch, K., Jones, R., & Schriever, J. (2002). Evaluating remotely sensed techniques for mapping riparian vegetation. *Computers and Electronics in Agriculture*, *37*(1-3), 113-126.

Diaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., Etchevers, J. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl et cham, Madera y Bosques, 13(1): 25-34.

Fehse, J., Hofstede, R., Aguirre, N., Paladines, C., Kooijman, A., & Sevink, J. (2002). High altitude tropical secondary forests: a competitive carbon sink?. *Forest Ecology and Management*, *163*(1-3), 9-25.

Giraldo, R. 1996. Geoestadística Aplicada a Datos Multivariados Provenientes del Monitoreo de las Aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Complejo Pajarales, Caribe Colombiano. tesis de grado Especialización en Estadística. Universidad Nacional de Colombia.

Naiman, R. J., Decamps, H., McClain, M. E. 2010. Riparia: Ecology, conservation, and management of streamside communities. Burlington, MA: Academic Press

Rango, A., Laliberte, A., Herrick, J. E., Winters, C., Havstad, K., Steele, C., & Browning, D. (2009). Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. *Journal of Applied Remote Sensing*, *3*(1), 033542.

Schlegel, B., Gayoso, J., Guerra, J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia: Universidad Autral de Chile.

Schlesinger, W. H., & Andrews, J. A. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, *48*(1), 7-20.

Xie, Y., T. Chen, M. Lei, J. Yang, Q. Guo, B. Song, and Z. Zhou. 2011 . Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: Accuracy and uncertainty analysis. Chemosphere, 82, 468-476.

Zedler, J. B., & Kercher, S. (2005). Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, *30*(1), 39-74.

ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LOS ESTUDIOS GEOQUÍMICOS DE VANADIO EN DURANGO

José L. Colón Hernández[1], Jonathan G. Escobar Flores[1], Eduardo Sánchez Ortiz[1], Janette M. Murillo Jiménez[2].

[1]Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación Interdisciplinario Regional Unidad Durango, Sigma 342, Frac. 20 de noviembre II. C.P 34220, Durango, México. [2]Departamento de Oceanología, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Playa Palo de Santa Rita, 23096 La Paz, Baja California Sur, México. *Autor de correspondencia: leohdez774@gmail.com

Introducción

La demanda global de recursos minerales continuará aumentando rápidamente en los próximos años, y estos recursos son fundamentales para el desarrollo social y económico (Zhou, 2023). La prospección de recursos minerales se ha desarrollado y busca identificar la localización de los depósitos minerales a través de métodos sofisticados de exploración; es la única forma de cubrir el constante requerimiento de recursos en las sociedades contemporáneas (Zhai et al., 2021). Identificar las diferencias en las concentraciones de Vanadio en los suelos es esencial para ubicar las zonas con mayor potencial de explotación y aprovechamiento económico. Las diferencias notables en la composición geoquímica de las piedras, que constituyen los materiales parentales de los suelos, así como las fluctuaciones en la intensidad de los procesos que crean el suelo, pueden resultar en un rango amplio de concentraciones de vanadio en el suelo (Guagliardi et al., 2018). El objetivo principal de este estudio fue analizar las concentraciones de Vanadio en el estado de Durango a partir de los datos de geoquímica y la predicción de interpolación espacial lineal con el valor esperado (kriging, en inglés), y localizar las zonas con mayor potencial de concentración.

Materiales y Métodos

Esta Investigación se llevó a cabo en el actual estado de Durango, al noroeste de México. Según cifras de CONABIO (2017), el estado tiene 39 municipios y ocupa una superficie territorial de 123,451.29 km^2, lo que equivale al 6.3% de la superficie total del país. Colinda con los estados de Nayarit, Sinaloa, Coahuila, Chihuahua y Zacatecas, y sus alturas fluctúan entre los 150 y los 3.440 metros sobre el nivel del mar (CONABIO, 2017). Se encuentra en las siguientes coordenadas: Latitud: 22°20'42.36" N a 26°50'41.64" N y longitud: 107°12'36.00" W a 102°28'22.80" W (INEGI, 2025). El clima semiseco y el templado subhúmedo son los de mayor presencia, y entre ambos cubren la mitad de la superficie estatal. Durango posee una geología diversa que ha favorecido la existencia de numerosos yacimientos minerales. El estado es rico tanto en metales industriales, como el hierro, el zinc y el plomo, como en metales preciosos como la plata y el oro. La geología de esta zona tiene sistemas complejos de vetas y depósitos minerales que han sido utilizados por muchos siglos. De acuerdo con la Cámara Minera de México, Durango se encuentra entre los mayores generadores de minerales en el país, aportando de manera importante a la producción nacional de zinc, oro, plomo y plata (CAMIMEX, 2024).

Las muestras de geoquímica están disponibles en el portal del Servicio Geológico Mexicano (SGM), portal donde los puntos se encuentran georreferenciados en el territorio nacional, estos se realizaron mediante el levantamiento de muestras de sedimento activo de arroyo seco, principalmente en los meses del año con poca presencia de lluvia. Todas las muestras se envían a los centros de experimentación del SGM, donde se analizaron en un espectrómetro emisor de plasma (ICP) y se reportaron resultados de 31 elementos. El laboratorio entrega los resultados en partes por millón (ppm), a excepción del hierro que se pide en porciento, mientras que el oro, telurio y selenio en partes por billón (ppb) (SGM, 2022).

En este estudio se obtuvieron 590 muestras de estudios de geoquímica, de los puntos presentes en el estado de Durango y exista una concentración con Vanadio (V) en ppm. Además, se utilizó una técnica geoestadística (kriging) para crear mapas de distribución regional para la interpolación de nuevos valores (SGM, 2025). Se utilizaron métodos geoestadísticos (es decir, análisis de variograma y kriging) para procesar la información química para generar mapas de contorno (Goovaerts, 1997). Se utilizó el kriging para ofrecer la mejor estimación local del valor medio de una variable regionalizada (una propiedad específica que cambia en el espacio geográfico) mediante el uso de los valores medidos y un semivariograma, con el fin de establecer la escala de varianza y estima nuevos valores (Cinti et al., 2015).

Se empleó el método geoestadístico para: 1) crear los variogramas direccionales con el fin de examinar la dependencia espacial de las concentraciones de V, es decir, calcular los parámetros fundamentales del variograma, como el nugget (efecto pepita, es decir que aunque dos puntos estén muy cerca siempre hay un pequeño salto en la variación, y está siempre tiende a 0), rango y umbral); 2) identificar las diferencias en términos de dirección (anisotropía) para la estimación de kriging (es decir, determinar las direcciones y la relación entre los ejes mayor y menor de la elipse anisotrópica); 3) modelar los variogramas usando datos geológicos; 4) validar el modelo seleccionado (o sea, mediante validación cruzada), con el objetivo de calcular errores y así establecer qué tan bien se adapta el modelo; 5) estimar la distribución espacial de las variables analizadas a través del uso de parámetros del modelo de variograma dentro del algoritmo kriging para elaborar mapas de contorno (Cinti et al., 2015).

Resultados y Discusión

Las estadísticas básicas (Tabla 1) muestran que los resultados son sesgados positivamente (es decir, el promedio es mayor que el valor de la mediana) tanto para los valores de las muestras como en las predicciones. La media de las muestras originales (V en ppm) es mayor que la mediana, además de la asimetría cuenta un valor positivo de 1.96, lo que indica una distribución asimétrica hacia la derecha (cola larga de valores altos) y también que hay pocos valores que puedan elevar la media. La alta desviación y rango muestran que el vanadio presenta gran variabilidad espacial, con algunos puntos extremadamente altos (casi 500 ppm) frente a la mayoría que se concentran en valores bajos o moderados. En cuanto a los valores de predicción con la aplicación del Kriging nos indica que la media es ligeramente mayor a la de los datos originales (68.6 ppm), indicando el Kriging suavizó la distribución. Con una desviación estándar menor a la original (59.33) y un rango menor también se confirma que se reduzco la variabilidad extrema de los datos, mientras que las curtosis (2.93, cercana a 3) de la predicción al normalizar los datos, se corrigen los datos y nos da una distribución normalizada con una fuerte leptocurtosis. Y finalmente el intervalo de confianza al 95% tiene un valor de -4.18+, indicándonos un rango de 67.7 a 76.1 ppm.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos

Vanadio	Mín.	Máx.	Mediana	Promedio	Desv. Estándar	Asimetría	Curtosis	Rango
V_ppm	1	493	52	68.5765	59.3349	1.9627	7.6087	492
Predicción	1.2290	338.2538	60.97831	71.9163	51.7150	1.3194	2.9358	337.0248
Error	-229.95	196.2538	4.97252	3.3397	34.8058	-0.7277	7.5246	426.2064

El análisis geoestadístico mediante Kriging ordinario con transformación logarítmica se aplicó a 590 muestras de Vanadio (V_ppm) (Figura 1). Los indicadores de validación cruzada muestran que el modelo es estadísticamente adecuado: 1) un sesgo mínimo: el valor medio de error (3.34) y el error estandarizado (0.032) están muy cercanos a cero, lo que indica ausencia de sobreestimación o subestimación sistemática; 2) una precisión aceptable: el error cuadrático medio estandarizado (1.09) está próximo a 1, lo que confirma un buen ajuste entre los errores observados y los estimados; 3) una variabilidad alta: el RMS absoluto (34.9 ppm) es elevado en comparación con la media, reflejando la fuerte heterogeneidad natural en la distribución del vanadio; y 4) una estimación conservadora: el error estándar medio (48.0 ppm) es mayor que el RMS, lo que muestra que el modelo tiende a sobreestimar la incertidumbre, siendo prudente en sus predicciones. El análisis geoestadístico con Kriging ordinario y transformación logarítmica permitió corregir el sesgo de los datos originales, ajustando un modelo estable de semivariograma con: 1) un nugget muy bajo (0.045), que indica que casi toda la variación es espacial y no por error de muestreo; 2) un sill parcial = 1.51, representando la varianza espacial explicada; 3) un rango ≈ 4.35 km, que define la distancia máxima de correlación espacial entre muestras; y 4) una isotropía asumida, que nos dice que la variabilidad es similar en todas las direcciones (Cinti et al., 2015).

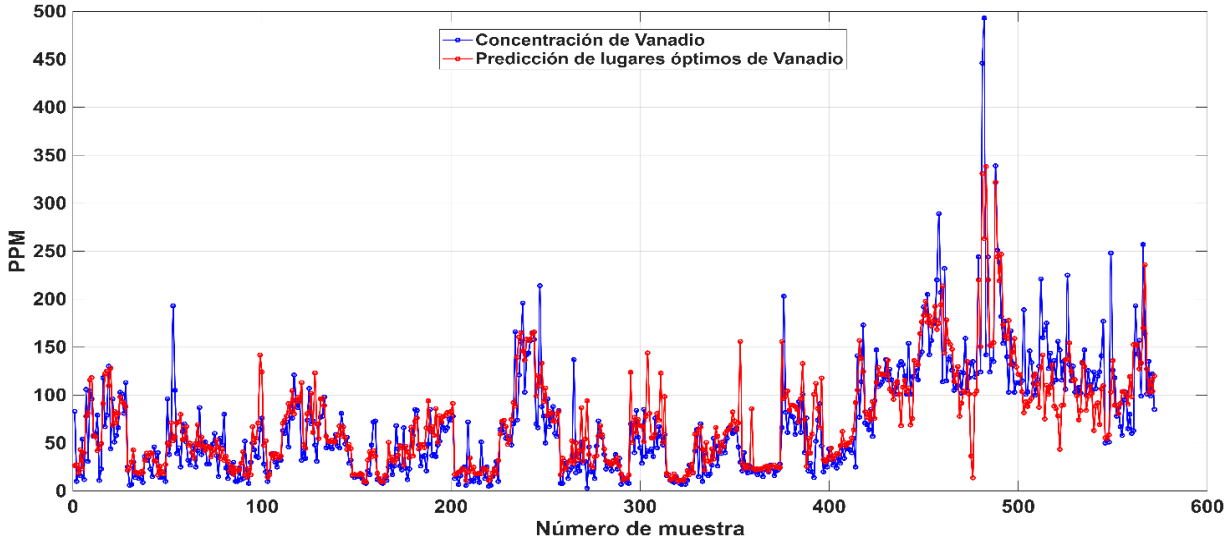


Figura 1. Comparación de los valores observados y los de predicción obtenidos por interpolación espacial Kriging ordinario en el área de estudio.

De acuerdo con la gráfica de la Figura 1, se confirma que el kriging con transformación logarítmica es adecuado para capturar la tendencia espacial del Vanadio, aunque suaviza los extremos. Donde se puede observar que las concentraciones reales de Vanadio (línea azul), presentan una alta variabilidad, mientras que la predicción (línea roja) sigue un patrón más cerca del patrón general, realizando variaciones más controladas y conforme a los nuevos valores, a partir de los datos reales.

Con los resultados de la interpolación se descubrió que los datos de los valores observados de Vanadio versus los resultantes de la interpolación son muy parecidos, lo cual se debe a su nugget que es muy bajo (0.045). La predicción de las muestras presenta una similitud muy similar a los valores de los datos obtenidos en campo, además de valor de nugget sugiere que los variaciones observadas y predichas tienen un error cercano a cero, lo que indicó que el modelo de interpolación espacial es eficiente. Lo valores de V fueros altos para los sitios de cerros y arroyos, de acuerdo con la interpolación se esperan valores cercanos a 350 ppm (Escobar-Flores & Sandoval, 2023) (Figura 2-A). Al visualizar el mapa B de la figura 2 se pueden visualizar los polígonos de concentraciones mayores a 90 ppm, y con conforme a lo dicho por el SGM son 100 ppm mínimas para su aprovechamiento, dándonos lugares óptimos en 17 municipios del estado, y solo 2 ocupan una pequeña parte de las áreas naturales protegidas (ANP): al noreste de Mapimí y al sureste de Pueblo Nuevo, conforme a la capa de ANP disponible en el portal de CONABIO (2024).

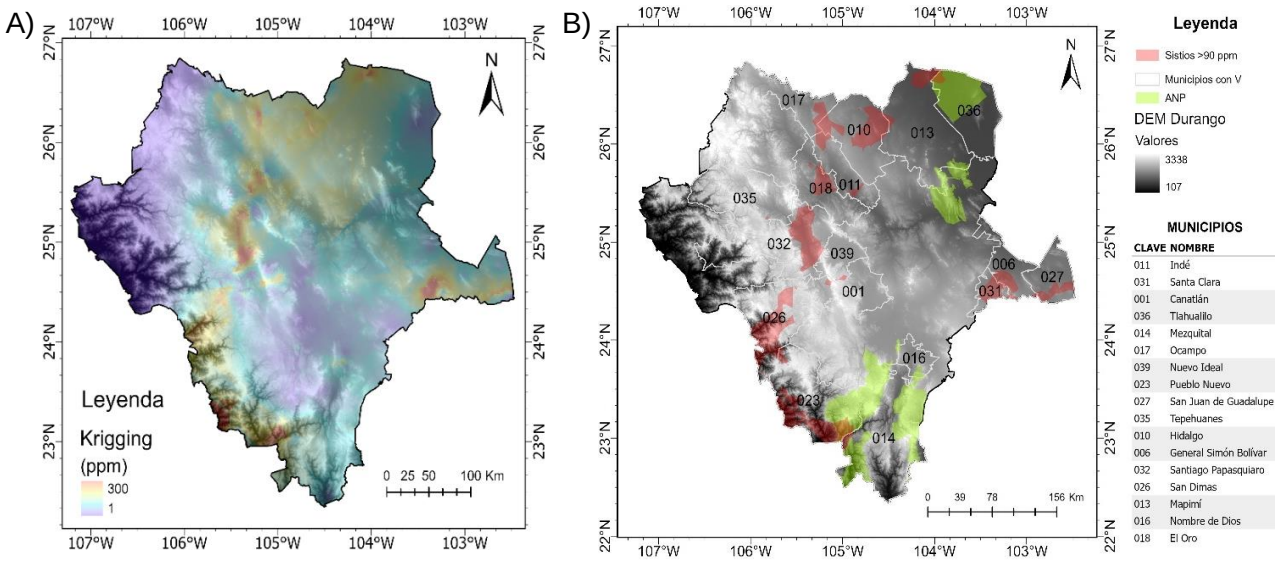


Figura 2. A) Mapa de Interpolación de Kriging y B) Sitios con valores superiores a 90 ppm de Vanadio.

Los resultados del análisis geoestadístico evidencian que la distribución espacial del Vanadio en el estado de Durango presenta una marcada heterogeneidad, lo cual se confirma tanto por los valores estadísticos como por el modelo de kriging aplicado. Las gráficas de distribución espacial en conjunto con el mapa de la figura 2 confirman que los valores más altos tienden a localizarse en regiones volcánicas y en áreas de sedimentación terciaria, lo que coincide con estudios que vinculan al vanadio con areniscas rojas, lutitas y depósitos volcánicos (Sánchez-Lara, 2020). El kriging permitió generar un modelo predictivo robusto con una media ligeramente mayor (71.9 ppm) y menor desviación estándar en comparación con los valores medidos, lo que sugiere un buen ajuste entre los datos observados y las predicciones (Zhao et al., 2025). Las distribuciones mostraron sesgo positivo (Skewness > 1), indicando la existencia de áreas con valores anómalos de vanadio que podrían estar asociadas a ambientes volcánicos y zonas geotérmicas del estado de Durango, concordando con reportes previos del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2022; Loza-Aguirre et al., 2012).

Conclusiones

Los mapas de concentraciones de Vanadio se obtuvieron de los puntos de geoquímica recolectados y por tanto la interpolación produjo una superficie de predicción más suave, estable y cercana a la normalidad estadística en comparación con los datos originales. Aunque los valores extremos se desvían de la media son datos reales por lo que es necesario una normalización, por lo cual se genera una predicción confiable para representar la tendencia regional del Vanadio. Los resultados de las zonas de predicción, de acuerdo con el SGM son 100 ppm ideales para su aprovechamiento, se encuentran casi totalmente fuera de las áreas naturales protegidas (ANP), por lo cual es factible para su explotación. En particular, las áreas con valores extremos superiores a 300 ppm deben ser consideradas como anomalías prioritarias, ya que pueden reflejar mineralización asociada a ambientes volcánicos, y zonas de sedimentos de arroyos. Además de que estos resultados tienen implicaciones directas para la gestión ambiental y minera, ya que el Vanadio es considerado un mineral estratégico para la producción de aleaciones de alta resistencia, almacenamiento de energía en baterías, medicinas, entre otras áreas.

Referencias

CAMIMEX, 2025 Informe Annual CAMIMEX 2025. Cámara Minera de México. https://camimex.org.mx/application/files/2017/5443/6647/InfoCamimex2025.pdf

Cinti, D., Poncia, P. P., Brusca, L., Tassi, F., Quattrocchi, F., & Vaselli, O. (2015). Spatial distribution of arsenic, uranium and vanadium in the volcanic-sedimentary aquifers of the Vicano–Cimino Volcanic District (Central Italy). *Journal of Geochemical Exploration*, *152*, 123-133.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Durango (SRNYMA). 2017. La biodiversidad en Durango. Estudio de Estado. CONABIO, México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Durango (SRNYMA). 2024. Portal de Geoinformación 2025. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB): http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/

Escobar-Flores, J. G., & Sandoval, S. (2023). Detección geoespacial de jales mineros con imágenes de alta resolución y determinación de metales pesados en Tejamen, Durango, México. *Investigaciones geográficas*, (112).

Goovaerts, P. (1997). Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford university press.

Guagliardi, I., Cicchella, D., De Rosa, R., Ricca, N., & Buttafuoco, G. (2018). Geochemical sources of vanadium in soils: Evidences in a southern Italy area. Journal of Geochemical Exploration, 184, 358-364. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.017

INEGI, 2025. México en Cifras. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=07000010.

Loza-Aguirre, I., Nieto-Samaniego, Á. F., Alaniz-Álvarez, S. A., & Ortega-Obregón, C. (2012). Volcanismo cenozoico y extensión al noroeste de la Mesa Central, Durango, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 64(2), 243-263.

Mexicano, S. G. (2022). GeoInfoMex, El Banco de Datos del SGM. https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMex3D/.

Sánchez-Lara, E. (2020). El vanadio: desde su descubrimiento hasta su papel en la vida. *Educación química*, *31*(4), 9-20.

Zhai, M., Hu, R., Wang, Y., Jiang, S., Wang, R., Li, J., & Zhu, X. (2021). Mineral resource science in China: review and perspective. *Geography and Sustainability*, *2*(2), 107-114. https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.002.

Zhao, Z., Sun, Y., Jia, W., Yang, J., & Wang, F. (2025). Prediction of Vanadium Contamination Distribution Pattern Through Remote Sensing Image Fusion and Machine Learning. *Remote Sensing*, *17*(7), 1164.

Zhou, L. (2023). Towards sustainability in mineral resources. Ore Geology Reviews, 160, 105600. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105600.

DIETA DE HERVÍBOROS SILVESTRES EN COAHUIILA: IMPLICACIONES PARA SU MANEJO Y CONSERVACIÓN

Fernando Isaac Gastelum-Mendoza[1*], Fernando Noel González-Saldívar[1], César Martín Cantú-Ayala[1], José Isidro Uvalle-Sauceda[2], Eloy Alejandro Lozano-Cavazos[1]

[1]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional 85 kilómetro 145, C.P. 67700, Linares, N.L., México [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: gastelummendozaisaac@gmail.com

Introducción

Los herbívoros participan en la fenología de diversas plantas a través de la presión de herbivoría, contribuyen a la compactación del suelo y al aporte de nutrientes (Gastelum-Mendoza et al., 2019), y constituyen una fuente de alimento para los depredadores (Rosas-Rosas et al., 2003). En el estado de Coahuila habitan varias especies nativas de grandes herbívoros, como el venado cola blanca texano (*Odocoileus virginianus texanus*), que representa una alternativa viable para la producción pecuaria y la conservación del hábitat, a través de su aprovechamiento cinegético (Valdez et al., 2006; Lozano-Cavazos et al., 2020); y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), incluido en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, como una especie bajo Protección Especial (Pr; DOF., 2010). Por otro lado, se han desarrollado proyectos de manejo intensivo del venado bura del desierto (*Odocoileus hemionus eremicus*), originario del estado de Sonora, cuya adaptación en los matorrales desérticos de Coahuila se considera viable debido a la similitud en las condiciones del hábitat (Olivas-Sánchez et al., 2018). Sin embargo, la presencia y rápida expansión del borrego berberisco (*Ammotragus lervia*), un bóvido exótico originario del norte de África, representa una amenaza para la diversidad de flora y fauna del norte de México, ya que esta especie compite directamente por alimento y espacio, además de ser un posible portador y transmisor de parásitos y enfermedades (Ben Mimoun & Nouira 2013; Gastelum-Mendoza et al., 2023).

El conocimiento sobre la composición de la dieta de herbívoros silvestres es fundamental para el manejo adecuado del hábitat (Gastelum-Mendoza et al., 2019), puesto que proporciona información clave sobre la presión de herbivoría, la cual puede afectar negativamente la dispersión y diversidad de las especies vegetales, además de ser útil para estimar la capacidad de carga, evaluar el estado nutricional de las poblaciones y delimitar áreas prioritarias para la conservación (Saucedo-Uuh et al., 2024). Por ello, el objetivo del presente estudio fue identificar y comparar la composición y diversidad de la dieta del borrego cimarrón, borrego berberisco, venado cola blanca y venado bura en el norte del estado de Coahuila, México. Los resultados de esta investigación serán de utilidad para identificar el riesgo de traslape alimentario y generar recomendaciones de manejo integral de estas cuatro especies de herbívoros en los matorrales desérticos del noreste de México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) Rancho San Juan (26°49’31.11’’ N, 101°01’57.77’’ O), localizada en el municipio de Monclova, en el estado de Coahuila de Zaragoza, México. Con presencia de matorral desértico necrófilo y rosetófilo, principalmente. Asimismo, cuenta con cuatro áreas de manejo intensivo exclusivo para borrego cimarrón, borrego berberisco, venado cola blanca y venado bura. Para identificar la composición de la dieta de estos cuatro herbívoros, se empleó la técnica microhistológica.

Esta metodología permite reconocer y cuantificar estructuras epidérmicas vegetales presentes en heces frescas mediante el análisis microscópico (Peña & Habib, 1980). Para ello, se recolectaron muestras fecales frescas de las cuatro especies de herbívoros durante la época seca (octubre 2018 y febrero 2019) y húmeda (mayo y agosto 2019). Las muestras fueron depositadas en bolsas de papel, etiquetadas y trasladadas al Laboratorio de Fauna Silvestre de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en Nuevo León, México.

La composición de la dieta de cada especie de herbívoro se determinó mediante la frecuencia de aparición de cada especie vegetal en las muestras fecales, siguiendo la metodología propuesta por Fracker y Brischle (1944). Para comparar las dietas entre especies de herbívoros se aplicó un análisis basado en la densidad de frecuencias, el cual consistió en la comparación de percentiles entre especies ($\alpha \leq 0.05$). La similitud entre las dietas se evaluó mediante un análisis de conglomerados (clúster), utilizando la distancia euclidiana como medida de similitud. Adicionalmente, se analizó la proporción de especies vegetales consumidas en común por las cuatro especies de herbívoros, mediante la aplicación del índice de Whittaker ($\alpha \leq 0.05$). Asimismo, se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas para evaluar las diferencias en la composición de la dieta entre especies y épocas del año. Estas incluyeron la prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha \leq 0.05$) y la prueba pareada de Mann-Whitney ($\alpha \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Se recolectaron un total de 280 grupos fecales por especie, distribuidos equitativamente entre las dos épocas del año (140 por época). La dieta del borrego cimarrón se compuso por 50 especies vegetales: 28 arbustivas, siete herbáceas, 11 pastos y cuatro suculentas. Anualmente, las especies más consumidas fueron matacora (*Tiquilia canescens*; 17.75 %), crotón (*Croton torreyanus*; 10.89 %) y nopal cegador (*Opuntia microdasys*; 9.51 %). En cuanto a la contribución estacional de las formas biológicas en la dieta del borrego cimarrón, las especies arbustivas predominaron a lo largo del año. El borrego berberisco se alimentó de 64 especies, incluyendo a 34 arbustivas, 12 herbáceas, 15 pastos y tres suculentas. *Tiquilia canescens* (11.28 %), chaparro prieto (*Acacia rigidula*; 10.6 %) y nopal tunero (*Opuntia engelmannii*; 9.96 %), fueron las de mayor consumo. Además, consumió mayormente arbustos durante todo el año. La dieta del venado cola blanca consistió en 49 especies vegetales, 27 fueron especies arbustivas, diez herbáceas, nueve pastos y tres suculentas. *Opuntia engelmanni* (13.33 %), *A. rigidula* (8.83 %) y palo dulce (*Eysenhardtia texana*; 7.27 %), fueron las más importantes en la dieta anual. Las especies arbustivas llegaron a representar más de la mitad del consumo de alimento durante la época seca (50.47 %). También, las herbáceas (18.16 %) y suculentas (21.53 %) fueron más consumidas en la época seca, mientras que, los pastos fueron más consumidos durante la época húmeda (22.7 %; Figura 1). En la dieta del venado bura se identificaron 43 especies vegetales, de las cuales 25 fueron arbustivas, cuatro herbáceas, siete pastos y siete suculentas. Las especies más representativas en la dieta anual fueron *A. lechuguilla* (11.73 %), *O. engelmannii* (8.23 %) y *Cenchrus ciliaris* (5.7 %). El consumo de especies arbustivas fue predominante a lo largo del año, con mayor incidencia durante la época húmeda (52.83 %).

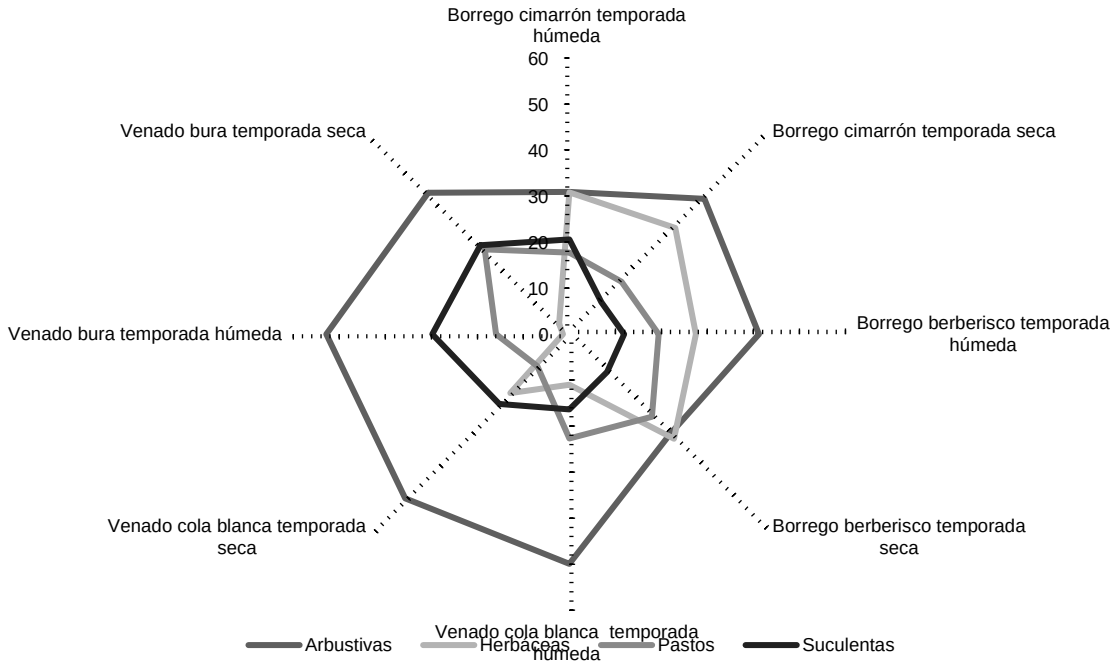


Figura 1. Variación en la composición de la dieta según la estación del año, la forma biológica del forraje consumido y la especie de herbívoro en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México (los valores se expresan en frecuencia relativa).

Según los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis ($X^2 = 2.48$, gl= 3, P= 0.68), no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la composición anual de la dieta entre las cuatro especies de herbívoros (Figura 2). De igual manera, no se encontraron diferencias significativas en el consumo de las distintas formas biológicas del forraje entre épocas ($X^2= 3.04$, gl= 7, P= 0.82). Además, los resultados de la prueba pareada de Mann-Whitney indicaron que no existen diferencias en la composición de las dietas entre ninguna de las especies ni en función de las épocas del año. El análisis de conglomerados indicó la existencia de dos grupos (clusters) con base en la similitud de las dietas (Figura 3). El primer grupo incluyó la composición estacional de la dieta del venado cola blanca, borrego cimarrón y borrego berberisco; mientras que, el segundo agrupó la dieta del venado bura en ambas épocas.

El análisis de comparación Wittaker (Cuadro 1), señaló la proporción de especies de plantas que consumen los cuatro ungulados, teniendo mayor similitud de especies consumidas entre el borrego berberisco y venado bura (61 %), venado bura y borrego cimarrón (59 %), venado cola blanca y venado bura (57 %), y el venado cola blanca, borrego cimarrón y borrego berberisco con un 29 % de similitud.

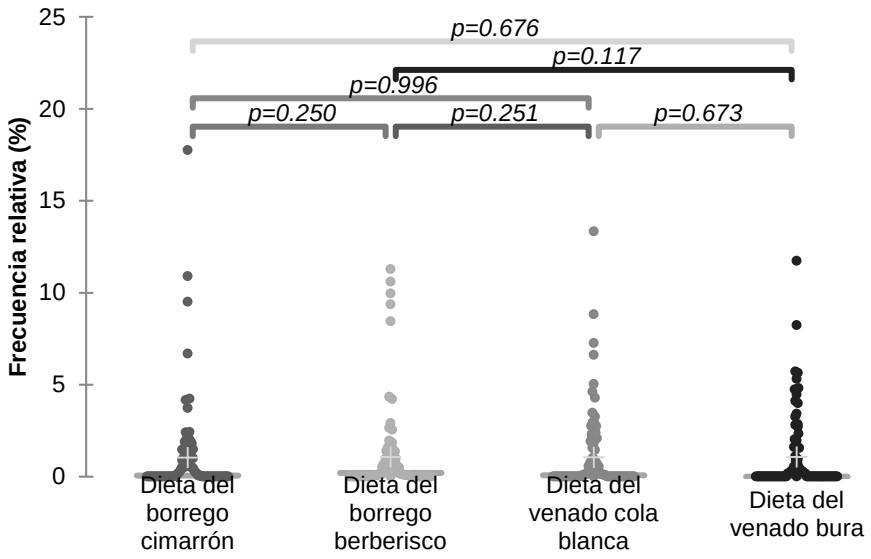


Figura 2. Comparación de la frecuencia relativa de especies vegetales en la dieta de cuatro herbívoros silvestres mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México.

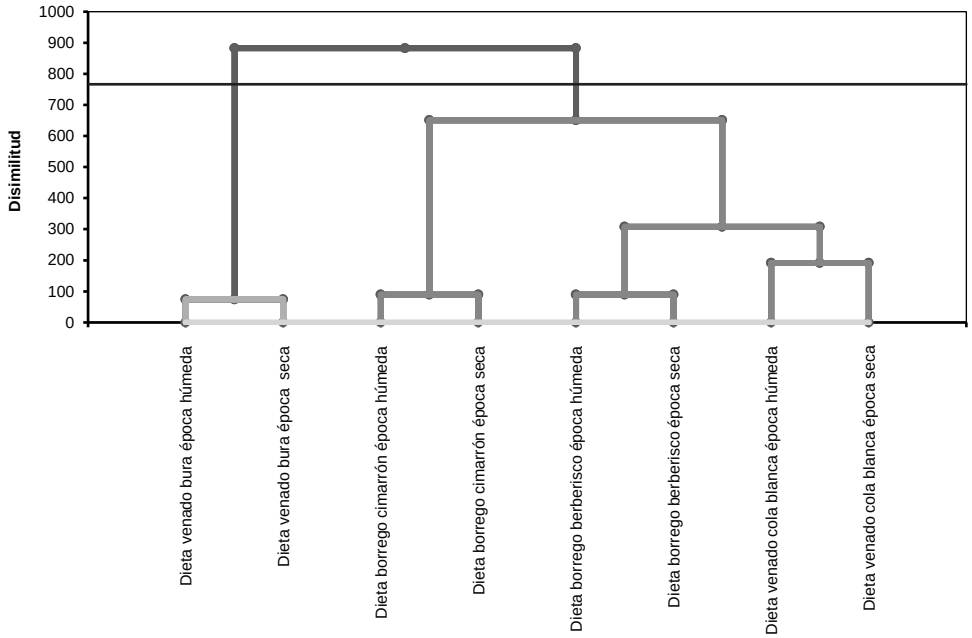


Figura 3. Dendrograma de disimilitud en la composición estacional de la dieta de cuatro herbívoros silvestres en la UMA Rancho San Juan, Coahuila, México.

Cuadro 1. Análisis de comparación Wittaker para determinar la composición de especies (proporción de especies que comparten) consumidas entre los ungulados.

	Borrego cimarrón	Borrego berberisco	Venado cola blanca
Borrego berberisco	0.23		
Venado cola blanca	0.29	0.29	
Venado bura	0.59	0.61	0.57

Conclusiones

El borrego berberisco presentó una mayor riqueza de especies en su dieta en comparación con los tres herbívoros que comparten el mismo hábitat. Esta alta riqueza de especies consumidas puede estar relacionada con su carácter de herbívoro generalista, capaz de incorporar una amplia variedad de plantas sin mostrar una preferencia marcada. En este sentido, la creación de bancos de forraje podría contribuir a reducir la presión del sobrepastoreo en los ecosistemas de matorral desértico. En general, las especies arbustivas constituyeron la base de la dieta de las cuatro especies analizadas. Las herbáceas fueron consumidas en mayor proporción por los borregos, mientras que las suculentas fueron preferidas por los venados. No se detectaron diferencias en el consumo de las formas biológicas en función de la época del año ni entre especies de herbívoros. En contraste, la evidencia sugiere un bajo riesgo de traslape trófico entre las poblaciones de cérvidos, lo que podría facilitar su manejo conjunto sin generar mayores implicaciones negativas. Finalmente, las especies más consumidas pueden constituir un criterio útil para identificar nuevos sitios de repoblación, mediante la delimitación de áreas clave de forrajeo en los matorrales desérticos del noreste de México.

Referencias

Ben Mimoun, J., & Nouira, S. (2013). Social organization of barbary sheep (Ammotragus lervia) population in the Chambi National Park, Tunisia. International Journal of Biodiversity and Conservation, 5(1),5-19.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2019). Modificación del anexo normativo III, lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Secretaría de Gobernación. México.

Fracker, S. B., & Brischle H. A. (1944). Measuring the local distribution of ribes. Ecology, 25, 283-303. https://doi.org/10.2307/1931277

Gastelum-Mendoza, F. I., Serna-Lagunes, R., Salazar-Ortiz, J., Cantú-Ayala, C. M., & González-Saldívar, F. N. (2019). Dieta de herbívoros: técnica, importancia e implicaciones en el manejo de fauna silvestre. Agroproductividad, 12(4),17-23. https://doi.org/ 10.32854/agrop.v0i0.391

Gastelum-Mendoza, F. I., González-Saldívar, F. N., Lozano-Cavazos, E. A., Uvalle-Sauceda, J. I., Serna-Lagunes, R, & Cantú-Ayala, C. M. (2023). Hábitos forrajeros de Ammotragus lervia (Pallas, 1777) (Artiodactyla: Bovidae) en matorral desértico rosetófilo de Coahuila, México. Acta Zoológica Mexicana 39, e2581. https://doi.org/10.21829/azm.2023.3912581

Lozano-Cavazos, E. A., Gastelum-Mendoza, F. I., Reséndiz-Dávila, L., Romero-Figueroa, G., González-Saldívar, F. N., & Uvalle-Sauceda, J. I. (2020). Composición de la dieta del venado cola blanca (Odocoileus virginianus texanus Mearns) identificada en contenido ruminal en Coahuila, México. Agroproductividad 13, 49-54. https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1702

Olivas-Sánchez, M. P., Vital-García, C. V., Flores-Márquez, J. P., Quiñonez-Martínez, M., & Clemente-Sánchez, F. (2018). Cambios estacionales en la dieta del venado bura (Odocoileus hemionus crooki) en matorral desértico chihuahuense. Agroproductividad 8(6).

Rosas-Rosas, O. C., Valdez, R., Bender, L. C., & Daniel, D. (2003). Food Habits of Pumas in Northwestern Sonora, Mexico. Wildlife Society Bulletin (1973-2006), 31(2), 528–535.

Saucedo-Uuh, K., Tarango-Arámbula, L. A., Serna-Lagunes, R., Olmos-Oropeza, G., Clemente-Sánchez, F., & Crosby-Galván, M. M. (2024). Availability and forage selection by four species of ungulates in Sonora, Mexico. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 23, 39-51. https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2023.10.008

Peña, J. M, & Habib, R. P. (1980). La técnica microhistológica. Un método para determinar la composición botánica de la dieta de herbívoros. México: Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, Departamento de Manejo de Pastizales, Serie Técnico Científica Vol I No 6.

Valdez, R., Guzmán-Aranda, J. G., Abarca, F. J., Tarango-Arámbula, L. A., & Sánchez, C. F. (2006). Wildlife conservation and management in Mexico. Wildlife Society Bulletin, 34(2), 270–282.

EFECTO DEL RODILLO AEREADOR SOBRE LA DIVERSIDAD FLORÍSTICA Y ESTRUCTURA DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN TAMAULIPAS, MÉXICO.

José Isidro Uvalle-Sauceda[1*], Ana Cecilia Cruz-Hernández[1], Fernando Noel González-Saldívar[1], César Martín Cantú-Ayala[1], Fernando Isaac Gastelum-Mendoza[1], Eloy Alejandro Lozano-Cavazos[2], Nelly Leal-Elizondo[1]

[1]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Km 145, Carretera Nacional 85, Linares, Nuevo León, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315. Saltillo, Coahuila. *Autor de correspondencia: juvalle.uanl@gmail.com@gmail.com

Introducción

El matorral espinoso tamaulipeco es una comunidad vegetal representativa del norte de la Planicie Costera del Golfo de México, con una distribución de entre 125,000 y 200,000 km² que abarca los estados de Nuevo León, Tamaulipas y el sur de Texas. Esta vegetación ha tenido un uso histórico silvoagropecuario desde el siglo XVI, desempeñando un papel importante en la economía regional. Las comunidades locales lo utilizan como fuente de alimento, forraje, leña, madera, carbón, medicinas y semillas para reforestación (Ramírez-Albores et al., 2007). Además, cumple funciones ecológicas esenciales como proporcionar hábitat a la fauna y prevenir la erosión del suelo. Sin embargo, el uso intensivo del matorral, especialmente por prácticas como el sobrepastoreo, ha provocado deterioro del ecosistema, reduciendo la cobertura de zacates y herbáceas nativas, y causando deforestación, erosión y pérdida de hábitat para la fauna silvestre (Molina-Guerra et al., 2013).

Ante este deterioro, se han propuesto prácticas de rehabilitación como el uso del rodillo aereador, una herramienta de manejo que estimula la regeneración de vegetación al descompactar el suelo, promover la germinación de semillas y mejorar la infiltración de agua (González & Cantú, 2001). Este tratamiento es especialmente útil en zonas áridas donde la escasez de lluvias incrementa el riesgo de erosión. El rodillo, acoplado a un tractor, puede incorporar una sembradora para facilitar la reintroducción de especies nativas. Su uso ha demostrado incrementar la producción de forraje y mejorar el hábitat para fauna silvestre como el venado cola blanca, palomas y codornices (Medina-Guillen et al., 2017). No obstante, su efectividad depende de su implementación conjunta con un adecuado manejo del pastoreo, y su impacto puede evaluarse mediante indicadores estructurales del ecosistema como el diámetro, altura, densidad y área basal de la vegetación. El objetivo de esta investigación fue evaluar la estructura y diversidad de la comunidad vegetal de un predio el cual fue sometido a un tratamiento de rodillo aereador en el matorral espinoso tamaulipeco.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el rancho San Salvador, localizado en el municipio de Villagrán, en el estado de Tamaulipas, México. El predio cuenta con una superficie total de 8,000 hectáreas, y la vegetación predominante corresponde al matorral espinoso tamaulipeco, una comunidad característica del noreste del país. Dentro del predio se seleccionaron dos áreas contiguas con características contrastantes para el desarrollo de la investigación. Una de estas áreas, con una superficie de 165 ha, fue sometida a un tratamiento con rodillo aereador, y se ubica en las coordenadas 24°38'35.38" N y 99°17'13.81" O.

El predio en el que se realizaron las actividades para llevar a cabo esta investigación estuvo sometido a tratamientos con rodillo aereador en octubre del año 2017, dicho tratamiento se llevó a cabo en franjas alternando una franja con tratamiento y dejando una sin tratar. En los sitios de muestreo se realizó un censo de todas las especias arbustivas y arbóreas, además se registraron información dasométrica de altura total (h), y diámetro de copa (dcopa) en sentido norte-sur y este-oeste (Leal-Elizondo et al., 2018).

La metodología utilizada es de acuerdo a Leal-Elizondo et al. (2018), para determinar parámetros ecológicos o variables estructurales relativas de abundancia (Ai), dominancia (Di), frecuencia (Fi). Los resultados se utilizaron para obtener un valor ponderado a nivel de taxón denominado índice de valor de importancia (IVI) que adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Magurran, 2004; Mostacedo & Fredericksen, 2000; Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974; Leal-Elizondo et al. 2018). Para estimar la diversidad alfa se usó el índice de Shannon & Wiener (H´) e índice de riqueza de Margalef (DMg).

Para estimar la producción de biomasa seca aprovechable se siguió la metodología utilizada por Serra (2006). Se estimó el número de parcelas para cada sitio y se utilizaron cuadrantes para los 3 estratos de la vegetación: para el estrato herbáceo (< 0.3 m de altura), se utilizaron 2 cuadrantes de 1 x 1 m (1 m^2) en cada parcela, con el método de parcelas de corte total, dejando los primeros 3 cm a partir de la base de la planta para que pueda regenerarse; para el estrato arbustivo (0.31-1.5 m de altura) y arbóreo (> 1.5 m de altura) se utilizaron cuadrantes de 5 x 5 m (25 m^2) y se implementó el método de Adelaide (Olguín, 2005), para calcular la biomasa aprovechable. Posteriormente, para estimar el coeficiente de agostadero se utilizó la fórmula de Huss y Aguirre (1978).

$$CA = \frac{Forraje\ consumido\ por\ UA/año}{(PFA)(FU)}$$

Dónde; CA, es el coeficiente de agostadero; forraje consumido por unidad animal al año (4,927.5 kg); UA, unidad animal; PFA, es la producción de forraje anual (kg ha^{-1}); FU, factor de utilización del forraje (0.6).

Posteriormente para estimar la Capacidad de Carga para el venado cola blanca, se utilizó la fórmula adaptada de Gallina y Chargoy (1987).

$$CVV = \frac{(\mathrm{fv})(\mathrm{pv})}{(\mathrm{cv})(\mathrm{tv})}$$

Dónde; fv, es el factor de utilización para no poner en riesgo la condición del hábitat (0.60); pv, es la biomasa disponible en cada época del año; cv, es el consumo de materia seca total de una unidad animal; tv, ciclo de pastoreo.

Resultados

En el área se encontraron 26 especies en total, pertenecientes a 15 familias. Siendo las familias Fabaceae y Malvaceae las más abundantes con 4 especies cada una y de acuerdo a su forma de vida 12 especies fueron herbáceas, 10 arbustivas y 4 arbóreas. Se encontraron 14 especies arbóreas y arbustivas, pertenecientes a 9 familias en total, con un promedio de 63.12 centímetros de altura, encontrándose valores de 25 centímetros a 1.53 m.

Las especies arbóreas y arbustivas con mayor relevancia de acuerdo al índice de valor de importancia fueron *Cordia boissieri*, *Zanthoxylum fagara*, *Aloysia gratissima*, *Celtis pallida* y *Lantana camara* (Figura 1). *Bothriochloa pertusa*, *Cynodon dactylon*, *Parthenium incanum*, *Desmanthus virgatus*, *Abutilon fruticosum*, fueron las especies herbáceas con un mayor índice de valor de importancia, por el contrario, *Evolvulus alsinoides* fue la que registró un valor menor (Figura 2).

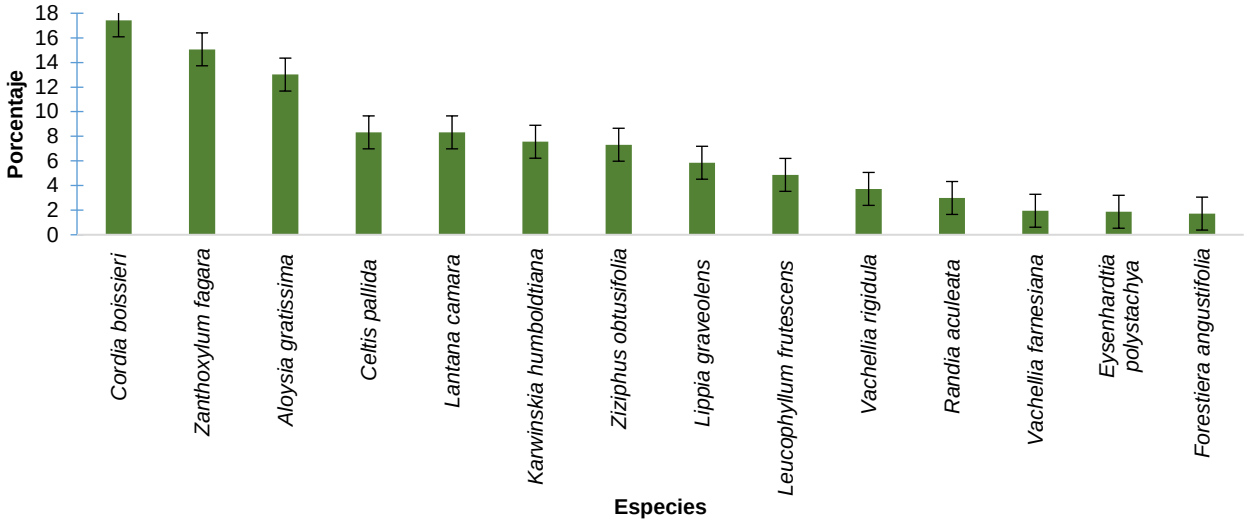


Figura 1. Variación en el índice de valor de importancia de las especies arbustivas y arbóreas (las líneas verticales sobre las barras representan el error estándar).

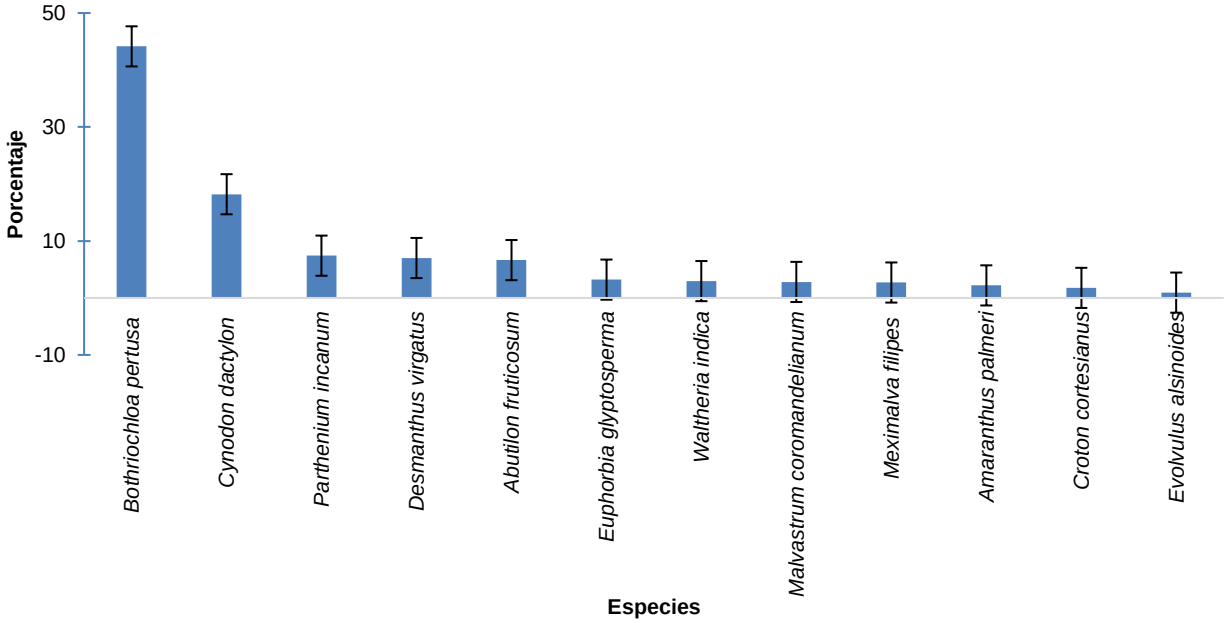


Figura 2. Variación en el índice de valor de importancia de las especies herbáceas (las líneas verticales sobre las barras representan el error estándar).

Se estimó el índice de riqueza de Margalef para las especies arbustivas ya arbóreas, obteniendo como resultado un valor de 3.13, mientras que el índice de Shannon-Wiener obtuvo un valor de 2.4. Se estimaron los índices de Margalef y de Shannon-Wiener para el estrato herbáceo, encontrando como resultados un índice de riqueza 1.96 mediante el índice de Margalef y un índice de riqueza de 1.47 al aplicar el índice de Shannon-Wiener.

La producción total de biomasa del área de estudio en los tres estratos fue de 1,871.26 kg ha^{-1}. Siendo el estrato bajo el que mayor producción tubo la cual fue de 1,564.25 kg ha^{-1}, el estrato medio 243.31 kg ha^{-1} y el estrato alto de 63.7 kg ha^{-1} lo cual representa el 83.59 % del estrato bajo, 13 % del estrato medio y 3.40 % del estrato alto (Figura 3).

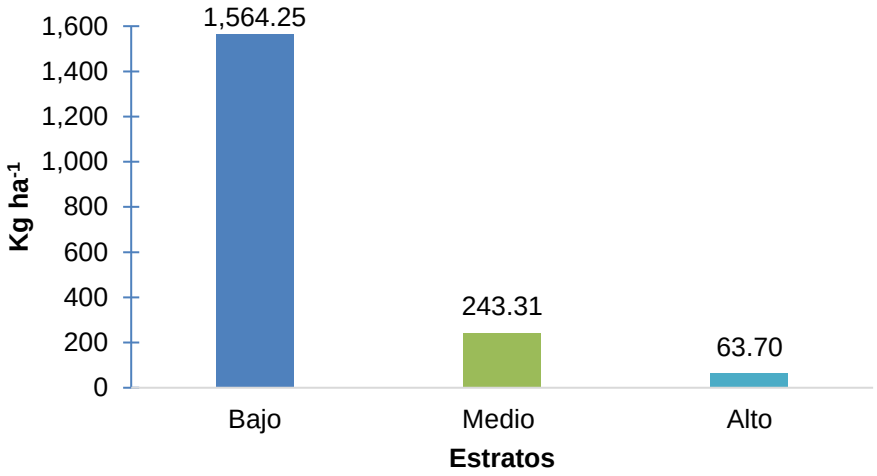


Figura 3. Variaciones en la producción de biomasa de acuerdo con los estratos vegetales.

Acorde a la biomasa registrada para el área se estimó un coeficiente de agostadero de 4.388 hectáreas anuales por UA. Considerando lo anterior el predio puede mantener anualmente 37.6 UA en las 165 hectáreas que lo componen, lo que es igual a 0.23 UA por hectárea. En lo que se refiere al venado cola blanca el predio se pueden mantener 268.5 venados al año, es decir, 1.63 venados por hectárea al año.

Conclusiones

Los resultados indican que el área tratada con rodillo aereador presenta un proceso de regeneración ecológica constante, destacando a *Cordia boissieri* y *Zanthoxylum fagara* como las especies más importantes del estrato arbóreo-arbustivo, y a *Bothriochloa pertusa* y *Cynodon dactylon* en el estrato herbáceo. Aunque los índices de riqueza y diversidad del estrato leñoso fueron similares a los de matorrales con historial de uso antropogénico, en el estrato herbáceo fueron bajos, predominando especies oportunistas como las Poaceae. *Bothriochloa pertusa* fue la especie herbácea más abundante y con mayor producción de biomasa, posiblemente favorecida por las lluvias recientes, lo cual sugiere que el rodillo puede facilitar el establecimiento de gramíneas, lo que puede ser útil como forraje, pero también representar un riesgo ecológico. En términos de capacidad de carga, el predio puede mantener 37.6 unidades animal/año, equivalentes a 268.5 venados cola blanca, lo que confirma el avance en la restauración desde la intervención con el rodillo en 2017. Se recomienda continuar con estudios de largo plazo y comparar con áreas no intervenidas para orientar decisiones de manejo sustentable del ecosistema.

Referencias

Gallina, S., y C. Chargoy. (1987). Calidad forrajera y capacidad de carga de la vegetación nativa de la Reserva de la Biosfera La Michilia, para venados y bovinos. *UACH CONACYT* IE (Informe Técnico).

González, H., y Cantú, I. (2001). Adaptación a la sequía de plantas arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, *4*, 454-459.

Huss, L. D. y Aguirre, V M. S. (1978). Fundamentos del manejo de pastizales. Ed. 1978. *ITESM*, *México*. 215 Pág.

Leal-Elizondo, N.A., Alanís-Rodríguez E., Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., y Yerena-Yamallel, J. I. (2018). Estructura y diversidad de especies leñosas del Matorral Espinoso Tamaulipeco regenerado post-ganadería en el noreste de México. *Polibotánica 45,* 75-88. https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.6

Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. Malden, Ma: Blackwell Pub.

Medina-Guillén, R., Cantú- Silva, I., Estrada-Castillón, E., González-Rodríguez, H., y Delgadillo-Villalobos, J. A. (2017). Estructura y diversidad del matorral desértico rosetófilo rehabilitado con rodillo aireador, Coahuila, México*. Polibotánica*, *44*, 95-107. https://doi.org/10.18387/polibotanica.44.7

Molina-Guerra, V., Pando-Moreno, M., Alanís-Rodríguez, E., Canizales-Velázquez, P., González Rodríguez, H., y Jiménez-Pérez, J. (2013). Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *4,*361-371.

Mostacedo, B., y Fredericksen, T. S. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia. *Editora El País*. 87pp.

Mueller-Dombois, D., y Ellenberg, H. (1974). Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley & Sons, New York. 547 pp.

Olguín, H.C.A. (2005). Determinación de la competencia alimentaria entre el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus* Zimmermann, 1780) y tres herbívoros exóticos en el Rancho Los Ébanos, Matamoros, Tamps. Tesis de Maestría. *Facultad de Ciencias Forestales*, *UANL*. 169 pp.

Ramírez-Albores, J. E., Martínez, F., Vásquez, S., y Clemente, J. (2007). Listado avifaunístico de un matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Huitzil Revista Mexicana de Ornitología*, *8*,1-10.

Serra-Ortiz, M. A. (2006). Evaluación del Hábitat y Modelo de Índice de Disponiblilidad del Hábitat del Venado Bura (*Odocoileus hemionus eremicus*) y Venado Cola Blanca (*Odocoileus virginianus couesi*), Sonora, México. Tesis de Maestría. *Facultad de Ciencias Forestales, UANL*. 169 pp.

PRESENCIA DEL OSO NEGRO AMERICANO EN LA SIERRA DE ZAPALINAMÉ

Celestino Pacheco Cortes[1], José Antonio Hernández-Herrera[1]*, Eloy Alejandro Lozano Cavazos[1], José Javier Ochoa Espinoza[1], Michelle Ivonne Ramos-Robles[1], Luis Manuel Valenzuela Núñez [2] y Perpetuo Álvarez Vázquez[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad S/N, Fracc. Filadelfia C.P. 35020, Gómez Palacio, Durango, México. *Autor de correspondencia: heheja@yahoo.com

Introducción

El Oso negro americano (*Ursus americanus*), único úrsido de México y carnívoro terrestre de mayor tamaño del país, se encuentra representado por dos subespecies: *Ursus americanus machetes*, presente en los estados de Sonora, Chihuahua y Durango, y *Ursus americanus eremicus*, registrada en Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas (Delgadillo et al., 2014). Históricamente distribuido en gran parte del territorio nacional, su rango se ha reducido en más del 80%, quedando restringido a sierras aisladas y zonas montañas debido a la fragmentación del hábitat, urbanización y la presión antrópica (Monroy-Vilchis *et al*., 2016).

A escala nacional, su distribución comprende la Sierra Madre Oriental en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, así como la Sierra Madre Occidental, donde ocupa bosques de pino-encino en Chihuahua, Sonora y Zacatecas, además de pequeñas áreas en Jalisco y Nayarit (Juárez-Casillas y Varas, 2013). También se ha documentado su presencia en las denominadas islas del cielo, cadenas montañosas desérticas de Sonora y parte de Arizona, donde enfrenta una fuerte amenaza por la fragmentación del hábitat derivada de la urbanización (Atwood *et al*., 2011). La especie ocupa bosques templados, chaparrales y matorrales xerófilos, así como cañadas y riscos que proveen alimento y refugio (Rangel-Rojas, 2023). En Coahuila, su presencia es histórica y actualmente se han registrado avistamientos en 32 de los 38 municipios, con mayor concentración en Múzquiz, Saltillo y Arteaga (SMA, 2023). El presente estudio tuvo como objetivo identificar las áreas de mayor presencia de oso negro (*Ursus americanus)* en la Sierra de Zapalinamé y delimitar las zonas afectadas por incendios forestales ocurridos en 2022, con el fin de analizar la potencial afectación al hábitat crítico de esta especie prioritaria.

Materiales y métodos

La Sierra Zapalinamé, ubicada en el norte de la Sierra Madre Oriental (NASA, 2020) fue el área de estudio. Entre 2015 y 2021 se recopilaron registros de oso negro (*Ursus americanus*) mediante un sistema de cámaras trampa instaladas en veredas y brechas con evidencia de actividad (huellas, excretas y marcas en árboles). Se seleccionaron 17 parajes, en cada uno de los cuales se instalaron dos cámaras fotográficas georreferenciadas mediante un receptor GPS. Las imágenes obtenidas fueron analizadas y seleccionadas para identificar la presencia de la especie en la imagen.

Los datos fueron organizados utilizando Microsoft Excel (versión 2016) y posteriormente se procesaron en ArcMap 10.54 de ESRI. Se realizó un análisis de interpolación geoestadística mediante el método Kriging para estimar la distribución potencial de los individuos de oso en el área de estudio. Esta técnica permitió estimar valores en ubicaciones no muestreadas a partir de los datos existentes, identificando con precisión las áreas con mayor concentración de ejemplares dentro de la zona de estudio.

Adicionalmente, se obtuvieron los polígonos de incendios forestales registrados en 2022 a partir del Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2023), los cuales se sobrepusieron a los mapas de interpolación para identificar posibles afectaciones en áreas críticas de hábitat.

Resultados y discusión

Se registraron 504 avistamientos de oso negro entre 2015 y 2021, con valores máximos en 2019 y 2021. Las mayores concentraciones ocurrieron en Prado Grande y Cañón de Santa Rosa, ambos ubicados a altitudes superiores a los 2,320 m (Figura 1). Esto sugiere una relación directa con la disponibilidad de recursos y las condiciones ambientales favorables en zonas altas. Por el contrario, áreas como La Encantada y Los Álamos donde la actividad fue mínima. probablemente por su proximidad a zonas urbanizadas, principalmente el sur de Saltillo y por condiciones ambientales menos propicias. Esto confirma un patrón altitudinal en el que las zonas elevadas ofrecen mejores condiciones de refugio y recursos, mientras que las áreas bajas reflejan perturbación antrópica.

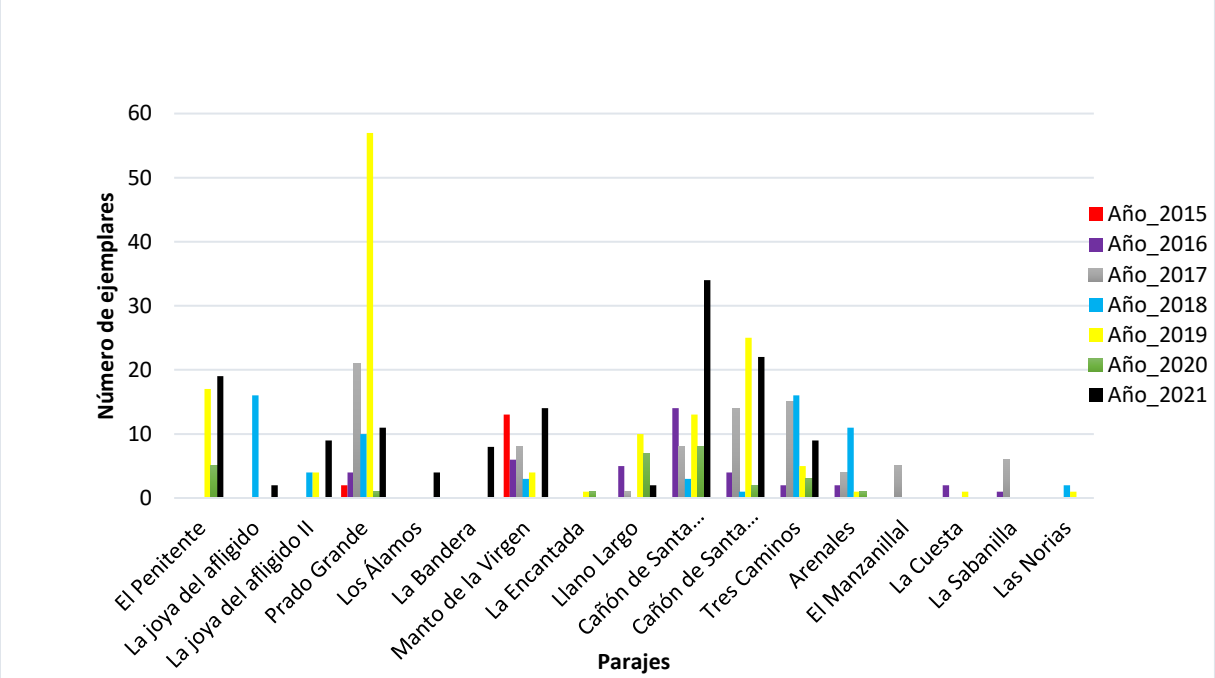


Figura 1. Avistamiento de oso negro (*Ursus americanus*) por estación de fototrampeo en diferentes parajes de la Sierra Zapalinamé.

El análisis de interpolación mostró que las concentraciones más altas de osos negros (81-100 individuos; Cuadro 1) se localizaron en Prado Grande, Cañón de Santa Rosa y El Penitente, identificados como hábitats prioritarios para la especie (Figura 2).

En 2022 se registraron incendios que afectaron 1,503 hectáreas de la Sierra Zapalinamé (Figura 2), principalmente en Santa Rosa (1,333.34 hectáreas) y Llano Largo (130.11 hectáreas) comprometiendo directamente áreas críticas de alta densidad de osos. La pérdida de cobertura vegetal en zonas altas incrementa la erosión y el riesgo de deslaves, con impactos tanto en el ecosistema como en comunidades cercanas. La duración de los incendios fue de 12 y 20 días en ser controlados, y la amplitud de la superficie afectada, subrayan la necesidad de fortalecer las estrategias de prevención y manejo de incendios forestales.

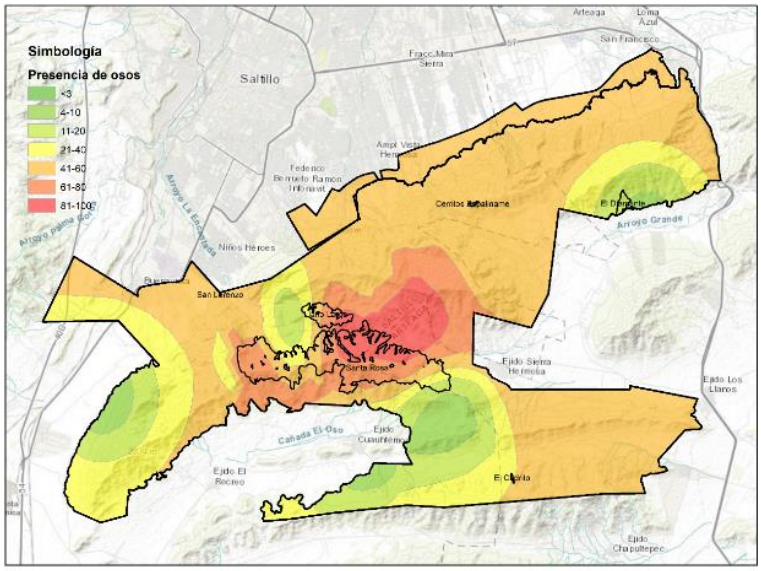


Figura 2. Presencia de osos y puntos ubicados de los incendios en la Sierra Zapalinamé.

Las zonas con menor densidad poblacional también sufrieron impactos, estos fueron de menor magnitud, lo que evidencia una correlación entre la densidad de osos y la severidad del daño por incendios. La falta de condiciones adecuadas de hábitat incrementa el riesgo de que los osos se desplacen hacia zonas urbanas de Saltillo y Arteaga, elevando la probabilidad de conflictos humano-osos y de atropellamientos en carreteras, como en el noreste del país entre los estados de Coahuila y Nuevo León se han registrado numerosos avistamientos de oso negro en los últimos años. Estos animales debido a su gran tamaño y la constantemente búsqueda de alimento y agua suelen recorrer y visitar zonas periurbanas. Este comportamiento ha llevado a las autoridades a capturarlos y reubicarlos de lugar (Carrera-Treviño *et al*., 2015).

Cuadro 1. Áreas afectadas por incendio y la presencia de ejemplares de oso negro americano (*Ursus americanus*).

Rango de Cantidad de osos	Superficie afectada por incendio hectárea
4-10	1.57
11-20	65.81
21-40	131.21
41-60	311.71
61-80	656.50
81-100	336.51
Total	1,503.33

En las áreas donde la vegetación fue quemada, estas se encuentran principalmente en las zonas elevadas de la sierra, caracterizadas por pendientes pronunciadas. La pérdida de la cobertura vegetal dejó el suelo expuesto, lo que aumentó la susceptibilidad a la erosión y los posibles deslizamientos de tierra, especialmente en las áreas más altas por el arrastre de suelo y agua. Esto representa un riesgo para las comunidades cercanas a la Sierra Zapalinamé, ya que el incremento en el caudal de los arroyos puede provocar arrastre de suelo y rocas. Es importante analizar si existe una correlación entre la densidad de osos y la severidad del daño por incendios, lo que subraya la importancia de reforzar los planes de manejo y estrategias de conservación en estas zonas prioritarias.

Conclusión

La Sierra de Zapalinamé constituye un refugio esencial para el oso negro, especialmente en zonas altas con mejores condiciones de refugio y recursos. Los incendios forestales de 2022 en Santa Rosa y Llano Largo redujeron áreas clave para la especie, comprometiendo la integridad del ecosistema. La pérdida del hábitat incrementa el riesgo de desplazamiento de los osos hacia zonas urbanas y la generación de conflictos con la población. Es prioritario reforzar la prevención de incendios y las estrategias de conservación en estas áreas críticas.

Referencias

Atwood, T. C., Young, J. K., Beckmann, J. P., Breck, S. W., Fike, J., Rhodes, O. E., & Bristow, K. D. (2011). Modeling connectivity of black bears in a desert sky island archipelago. *Biological Conservation, 144*(11), 2851–2862.

Carrera-Treviño, R., Martínez-García, L., y Lira-Torres, I. 2015. First record of the American black bear *Ursus americanus eremicus* (Carnivora: Ursidae) in the tropical rainforest of El Cielo Biosphere Reserve, Tamaulipas, Mexico. *Therya*, 6(3), 653-659.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2023). *Concentrado nacional de polígonos de incendios forestales*. https://snif.cnf.gob.mx/incendios/

Delgadillo, J.A., Gibert, S., García, M., Velázquez, R. 2014. Oso negro. En: Ecología y manejo de fauna silvestre en México. Valdez, R y Ortega S, J.A. (eds). Biblioteca Básica de Agricultura. Editorial del Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo- IICA. Guadalajara, Jalisco. México, pp. 311-330.

Juárez-Casillas, L.A., y Varas, C. 2013. Revisión bibliográfica actualizada del oso negro en México. *Therya.* 4(3): 447-46

Monroy-Vilchis, O., Castillo-Huitrón, N. M., Zarco-González, M. M., & Rodríguez-Soto, C. (2016). Potential distribution of *Ursus americanus* in Mexico and its persistence: implications for conservation. *Journal for Nature Conservation*, *29*, 62-68.

NASA, 2020. The Sierra Madre Oriental is part of a chain that stretches across three continents. Obtenido de https://earthobservatory.nasa.gov/images/147588/a-sliver-of-mexicos-mother-mountain-range

Rangel-Rojas, J. M. 2023. Evaluación de la distribución y conectividad del oso negro mexicano (*Ursus americanus eremicus*: Ursidae) en la Sierra Madre Oriental. Tesis de doctorado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1-107.

SMA, 2023. Informe Conservación y Convivencia con el Oso Negro en el estado de Coahuila de Zaragoza 2012-2023 (*Ursus americanus eremicus*). Obtenido de FINAL-INFORME-OSO-NEGRO-2012-2023-SMA-24-nov.-Patydoc.pdf

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CORDEROS DE ENGORDA SUPLEMENTADOS CON CROMO ORGÁNICO: UN METAANÁLISIS

José F. Orzuna-Orzuna[1]*, Pedro A. Hernández-García[2], Juan E. Godina-Rodríguez[3]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo C.P. 35230, Durango, México.[2]Centro Universitario Amecameca, Universidad Autónoma del Estado de México, Amecameca C.P. 56900, México. [3]Campo Experimental Valle de Apatzingán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Parácuaro C.P. 60781, Michoacán, México. * Autor de correspondencia: jforzuna@gmail.com

Introducción

La demanda mundial de carne de cordero está incrementando anualmente, por lo que es necesario mejorar el rendimiento productivo de los corderos mediante el uso de aditivos dietéticos (Mazinani y Rude, 2020). En consecuencia, los investigadores y nutricionistas de rumiantes han aumentado su interés en la búsqueda de nuevos aditivos alimenticios que mejoren el crecimiento y la calidad de la canal de los corderos (Jin y Zhou, 2022). Entre los aditivos disponibles actualmente, los modificadores metabólicos (p. ej., β-agonistas, cisteamina y cromo) en las dietas del ganado han demostrado efectos positivos en el rendimiento productivo (Dunshea et al., 2016). Sin embargo, en varios países el uso de algunos modificadores metabólicos como los β-agonistas se ha prohibido desde hace varios años (Jin y Zhou, 2022).

En comparación con los β-agonistas, la inclusión dietética de otros modificadores metabólicos, como el cromo (Cr), aún está permitida (Lashkari et al., 2018). El Cr es un microelemento que desempeña un papel importante en el metabolismo de lípidos, carbohidratos y proteínas; sin embargo, aún no se ha establecido el requerimiento de Cr en corderos (NRC, 2007). Asimismo, se ha reportado que el contenido de Cr en la mayoría de los ingredientes utilizados en la alimentación de rumiantes es bajo (Spears et al., 2017). Aunque las formas metálicas (Cr0), trivalentes ($Cr3^{+}$) y hexavalentes ($Cr6^{+}$) de Cr son las más comunes, la forma más estable y segura es $Cr3^{+}$ (Lashkari et al., 2018). El Cr puede añadirse a las dietas del ganado en forma inorgánica o como complejos orgánicos; sin embargo, la biodisponibilidad del cromo orgánico (CrO) es más de diez veces mayor que la de los compuestos inorgánicos (Spears et al., 2017). Los complejos de CrO más utilizados en la alimentación de rumiantes son Cr-levadura, Cr-metionina y Cr-picolinato (Lashkari et al., 2018).

En pequeños rumiantes, estudios recientes muestran que la inclusión dietética de CrO mejora la digestibilidad de los nutrientes, el estado inmunitario y el metabolismo de la glucosa y los lípidos en sangre (Lalhriatpuii et al., 2023; Jin y Zhou, 2022). Sin embargo, los efectos obtenidos en estos estudios son inconsistentes, lo que limita la obtención de conclusiones científicamente sólidas. De acuerdo con Borenstein et al. (2009), el metaanálisis permite obtener conclusiones científicamente confiables sobre el efecto de un tratamiento, debido a que es una herramienta estadística que permite recopilar, combinar y analizar estadísticamente datos publicados previamente en varios estudios. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de la suplementación dietética con cromo orgánico en el comportamiento productivo y las características de la canal de corderos de engorda a través de un metaanálisis.

Materiales y métodos

Se realizó la búsqueda de artículos científicos que evaluaron los efectos de la suplementación dietética con CrO en el comportamiento productivo y la calidad de la canal de corderos de engorda. Los artículos científicos elegibles se identificaron mediante búsquedas sistemáticas restringidas a información publicada en inglés y disponible en las bases de datos electrónicas PubMed, Web of Science, ScienceDirect y Scopus. En todas estas bases de datos, se utilizaron las siguientes palabras clave: “lambs”, “organic chromium”, “chromium yeast”, “chromium methionine”, “chromium picolinate”, “growth performance” y “carcass traits”.

Para incluir los artículos en la base de datos se utilizaron los siguientes criterios de inclusión: (1) artículos científicos de texto completo publicados en idioma inglés en revistas con revisión por pares entre enero de 2008 y diciembre de 2024; (2) estudios que utilizaron corderos de engorda en confinamiento como animales de experimentación; (3) estudios que midieron e informaron datos sobre el comportamiento productivo y las características de la canal; (4) estudios que evaluaron el impacto de la suplementación dietética con CrO frente a un control sin CrO utilizando la misma dieta basal en todos los tratamientos; (5) estudios que informaron la cantidad de CrO (mg/kg de MS) incluida en la dieta o proporcionaron la información necesaria para estimarla; y (6) estudios que incluyeron datos sobre las medias de los tratamientos, el número de unidades experimentales (n) y el error estándar (EEM) o la desviación estándar (DE) de las medias de los tratamientos control (dietas sin CrO) y experimentales (dietas con CrO). Después de aplicar los criterios de inclusión, la base de datos del metaanálisis incluyó 14 artículos científicos que evaluaron parámetros de comportamiento productivo y calidad de la canal de los corderos de engorda.

Todos los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico especializado “metafor” disponible en la versión 4.1.2 del software estadístico R (Viechtbauer, 2010). La magnitud del efecto se expresó como diferencias medias ponderadas (DMP) con intervalos de confianza (IC) del 95%, calculados mediante modelos de efectos aleatorios con los métodos propuestos por Der-Simonian y Laird (1986).

Resultados y discusión

El Cuadro 1 muestra que la suplementación dietética con CrO no afectó ($p > 0.05$) el consumo de materia seca (CMS); sin embargo, aumentó ($p < 0.05$) la ganancia diaria de peso (GDP). En contraste, se observó una menor ($p < 0.05$) conversión (CA) en respuesta a la suplementación dietética con CrO. Similar al resultado del presente estudio, un metaanálisis previo tampoco detectó cambios significativos en el CMS de vacas lecheras suplementadas con CrO (Cr-picolinato, Cr-aminoácidos y Cr-propionato) (Malik et al., 2023). Por otro lado, los efectos observados en GDP y CA indican que el CrO puede utilizarse como aditivo dietético para mejorar la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia en corderos de engorda. Baggerman et al. (2020) informaron que la suplementación dietética con CrO (0.450 mg/kg de MS) mejora la GDP y la CA en rumiantes al incrementar la expresión génica del factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1) y la eficiencia de absorción de glucosa por las fibras musculares esqueléticas. Además, en mamíferos el consumo de CrO mejora la síntesis proteica en el músculo esquelético y disminuye su degradación mediante la activación de la vía de señalización Akt-mTOR-S6K1-4EBP1 (Komorowski et al., 2020). Asimismo, la suplementación dietética con CrO (entre 0.353 y 0.996 mg/kg) aumenta entre 6.5 y 15.2 % la eficiencia de utilización de la energía dietética consumida por corderos (Estrada-Angulo et al., 2013).

Cuadro 1. Comportamiento productivo de corderos de engorda suplementados con cromo orgánico.

Parámetro	N (NC)	Media del control (DE)	DMP (IC 95 %)	Valor p
CMS, kg/d	14 (38)	1.199 (0.263)	0.018 (-0.008; 0.045)	0.182
GDP, kg/d	13 (38)	0.189 (0.064)	0.042 (0.020; 0.063)	<0.001
CA, kg/kg	10 (22)	6.17 (1.05)	-0.514 (-0.858; -0.171)	0.003

N: representa el número de estudios; NC: representa el número de comparaciones entre el tratamiento con cromo orgánico y el tratamiento control; DE: desviación estándar; DMP: diferencias de medias ponderadas entre el control y los tratamientos con cromo orgánico; IC: intervalo de confianza de la DMP; CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia.

El Cuadro 2 muestra que la suplementación dietética con CrO aumentó ($p < 0.05$) el peso de la canal caliente (PCC), el rendimiento de la canal caliente (RCC) y el peso de la canal fría (PCF). Estos efectos podrían estar relacionados con el aumento observado en AMLD, ya que un estudio reciente (Robles et al., 2022) mostró que PCC, RCC y PCF tienen una correlación positiva significativa (r entre 0.34 y 0.49) con LDMA en corderos. Por otro lado, la suplementación dietética con CrO aumentó ($p < 0.05$) el área del músculo *Longissimus dorsi* (AMLD). El mecanismo de acción a través del cual actúa el CrO sobre AMLD no se ha estudiado en corderos. Sin embargo, en condiciones *in vitro*, se ha detectado que CrO aumenta el número y tamaño de las fibras musculares esqueléticas de los rumiantes (Tokach et al., 2015). Estos efectos del CrO explicarían la mayor AMLD observada en el presente metaanálisis, debido a que el número y tamaño de las fibras musculares esqueléticas se correlacionan positivamente con la AMLD en rumiantes (Ozawa, 2000).

Cuadro 2. Características de la canal de corderos de engorda suplementados con cromo orgánico.

Parámetro	N (NC)	Media del control (DE)	DMP (IC 95 %)	Valor p
PCC, kg	8 (23)	19.95 (4.40)	0.543 (0.304; 0.782)	<0.001
RCC, %	6 (17)	51.02 (3.68)	0.391 (0.063; 0.719)	0.019
PCF, kg	5 (14)	19.77 (4.30)	0.438 (0.105; 0.771)	0.010
AMLD, cm^2	8 (24)	15.10 (1.82)	0.835 (0.554; 1.115)	<0.001
EGD, mm	5 16)	4.92 (1.86)	-0.412 (-0.750; -0.075)	0.016

N: representa el número de estudios; NC: representa el número de comparaciones entre el tratamiento con cromo orgánico y el tratamiento control; DE: desviación estándar; DMP: diferencias de medias ponderadas entre el control y los tratamientos con cromo orgánico; IC: intervalo de confianza de la DMP; PCC: peso de la canal en caliente; RCC: rendimiento de la canal caliente; PCF: peso de la canal fría; AMLD: área del músculo Longissimus dorsi; EGD: espesor de la grasa dorsal.

Por otro lado, se observó un menor ($p < 0.05$) espesor de grasa dorsal (EGD) en respuesta a la suplementación dietética con CrO. La suplementación dietética con CrO disminuye hasta 15 % la concentración de acetato ruminal en corderos (Jin y Zhou, 2022). Este efecto podría explicar el menor EGD observado en el presente estudio, ya que el acetato ruminal es el principal precursor lipogénico en la grasa subcutánea de los rumiantes (Tokach et al., 2015). Asimismo, Tokach et al. (2015) demostraron que el CrO aumenta los niveles de ARNm de la proteína quinasa activada por adenosina monofosfato (AMPK) en adipocitos subcutáneos de rumiantes. Según Dagon et al. (2006), la activación de AMPK induce apoptosis en los adipocitos y disminuye la expresión de genes (p. ej., PPARγ y C/EBPα) involucrados en el proceso de adipogénesis, lo cual podría disminuir el EGD.

Conclusiones

El cromo orgánico puede utilizarse como aditivo dietético para aumentar la ganancia diaria de peso y disminuir la conversión alimenticia en corderos de engorda. Además, la suplementación dietética con cromo orgánico mejora el peso y el rendimiento de la canal caliente, el peso de la canal fría, el área del músculo *Longissimus dorsi* y, al mismo tiempo, disminuye el espesor de la grasa dorsal.

Referencias

Baggerman, J. O., Smith, Z. K., Thompson, A. J., Kim, J., Hergenreder, J. E., Rounds, W., & Johnson, B. J. (2020). Chromium propionate supplementation alters animal growth performance, carcass characteristics, and skeletal muscle properties in feedlot steers. *Translational Animal Science, 4(3)*, 146.

Borenstein, M., Higgins, J. P., Hedges, L. V., & Rothstein, H. R. (2017). Basics of meta-analysis: I^2 is not an absolute measure of heterogeneity. *Research Synthesis Methods, 8(1)*, 5-18.

Dagon, Y., Avraham, Y., & Berry, E.M. (2006). AMPK activation regulates apoptosis, adipogenesis, and lipolysis by eIF2α in adipocytes. *Biochemical and Biophysical Research Communications, 340(1)*, 43-47.

Der-Simonian, R., & Laird, N. (1986). Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinical Trials, 7*, 177–88.

Dunshea, F. R., D'Souza, D. N., & Channon, H. A. (2016). Metabolic modifiers as performance-enhancing technologies for livestock production. *Animal Frontiers, 6(4)*, 6-14.

Estrada-Angulo, A., Valdés, Y. S., Carrillo-Muro, O., Castro-Pérez, B. I., Barreras, A., López-Soto, M. A., Plascencia, A., Dávila-Ramos, H., Rios, F. G., & Zinn, R. A. (2013). Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: Effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. *Animal Production Science, 53*, 308-315.

Jin. Y., & Zhou, Y. (2022). Effects of concentrate level and chromium methionine supplementation on the performance, nutrient digestibility, rumen fermentation, blood metabolites, and meat quality of Tan lambs. *Animal Bioscience, 35*, 677-689.

Komorowski, J. R., Ojalvo, S. P., Sylla, S., Tastan, H., Orhan, C., Tuzcu, M., Sahin, N., & Sahin, K. (2020). The addition of an amylopectin/chromium complex to branched-chain amino acids enhances muscle protein synthesis in rat skeletal muscle. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *17(1)*, 26.

Lalhriatpuii, M., Chatterjee, A., Dutta, T. K., Mohammad, A., & Patra, A. K. (2023). The Effects of Dietary Inorganic and Organic Chromium Supplementation on Blood Metabolites, Hormones, and Mineral Composition of Blood and Internal Organs in Black Bengal goats. *Biological Trace Element Research, 51*, 1-17.

Lashkari, S., Habibian, M., & Jensen, S. K. (2018). A review on the role of chromium supplementation in ruminant nutrition—effects on productive performance, blood metabolites, antioxidant status, and immunocompetence. *Biological Trace Element Research, 186*, 305-321.

Malik, M. I., Raboisson, D., Zhang, X., & Sun, X. (2023). Effects of dietary chromium supplementation on dry matter intake and milk production and composition in lactating dairy cows: A meta-analysis. *Frontiers in Veterinary Science, 10*, 1076777.

Mazinani, M., & Rude, B. (2020). Population, world production and quality of sheep and goat products. *American Journal of Animal and Veterinary Science, 15*, 291-299.

NRC. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. National Academies Press, Washington, DC

Ozawa, S., Mitsuhashi, T., Mitsumoto, M., Matsumoto, S., Itoh, N., Itagaki, K., Kohno, Y., & Dohgo, T. (2000). The characteristics of muscle fiber types of *longissimus thoracis* muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers. *Meat Science, 54(1)*, 65-70.

Robles, J. L. E., Partida, P. J. A., Arechavaleta, V. M. E., & Domínguez, V. I. A. (2022). Correlation between ante-mortem and post-mortem variables in sheep carcasses produced in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 13(1)*, 115-126.

Spears, J. W., Lloyd, K. E., & Krafka, K. (2017). Chromium concentrations in ruminant feed ingredients. *Journal of Dairy Science, 100(5)*, 3584-3590.

Tokach, R. J., Ribeiro, F. R., Chung, K. Y., Rounds, W., & Johnson, B. J. (2015). Chromium propionate enhances adipogenic differentiation of bovine intramuscular adipocytes. *Frontiers in Veterinary Science, 2*, 26.

Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analysis in R with the metaphor package. *Journal of Statistical Software, 36*, 1–48.

HIMENÓPTEROS PARASITOIDES ASOCIADOS A GOBERNADORA *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville. DEL AREA DE BERMEJILLO, DGO. MÉXICO

Fabián García-González[1*], Clementina Araceli Sandy Pacheco[1].

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez, Bermejillo, 35230 km 40, Durango. *Autor de correspondencia: fgarciag@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El Desierto Chihuahuense es el segundo con mayor diversidad biológica en la tierra con 3,382 especies de plantas, entre las que se incluyen un gran número de elementos restringidos (Henrickson y Johnston, 2007, citado por Villareal-Quintanilla et. al. 2017). Los matorrales son predominantes en este desierto y cubren aproximadamente el 55% de su superficie. Las especies vegetales más comunes en las zonas más secas son gobernadora *Larrea tridentata* (Moç. & Seseé ex DC.) Coville, hojasén *Flourensia cernua* DC., lechuguilla *Agave lechuguilla* Torr. y candelilla *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., yucas *Yucca* spp, sotol *Dasylirion wheeleri* S. Watson ex Rothr., mezquite *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., acacias *Acacia* spp. y orégano *Lippia* spp (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020).

En relación a la fauna nativa de las zonas áridas, los estudios se han enfocado a grupos como aves y reptiles, sin embargo los estudios relativos a insectos son muy escasos. Uno de ellos es el realizado por Reyes-Carrillo y colaboradores en 2009 en la Comarca Lagunera en el cual reportaron que las abejas obreras de *Apis mellifera* L. realizan pecoreo en especies vegetales nativas de zonas áridas como la gobernadora *Larrea tridentata* (DC) Cov.) y mezquite *Prosopis juliflora* (Swartz) DC. Otro estudio es el realizado por Guevara (2021) quien evaluó el efecto de extractos acuosos de *Helianthus ciliaris* DC, *Larrea tridentata* (Moç. & Seseé ex DC. Coville) y *Solanum elaeagnifolium* Cav., en el control de larvas de *Spodoptera frugiperda* en condiciones in vitro, en el cual encontró que el extracto acuoso del fruto de *S. elaeagnifolium* fue el que ocasionó mayor mortalidad en larvas de segundo instar de *S. frugiperda* con 47.5 % de mortalidad promedio en un lapso de 24 a 72 h de exposición. En 2023, González estudió el efecto de *Argemone pleiacantha* Greene y *Helianthus ciliaris* D.C. en el control de mosquita blanca *B. tabaci* Gennadius en el cual realizó bioensayos de toxicidad con extractos acuosos de hoja y tallo de cada especie de planta para ninfas y etanólicos para adultos. Los resultados de este estudio indican una mortalidad de 70% y 66.3% de adultos de *B. tabaci* a una concentración de 10,000 partes por millón (ppm) de extractos etanólicos de *H. ciliaris* y *A. Pleiacantha*, respectivamente. Aunque hay algunos estudios como los anteriores, sobre los himenópteros parasitoides en especies de zonas áridas no existen reportes, por lo que la presente investigación pretende contribuir al conocimiento de este grupo de insectos ya que juegan una función regulatoria de insectos fitófagos que afectan el desarrollo de plantas, en particular de las zonas áridas.

Materiales y métodos

Fase de Campo: Durante el periodo del 13 de marzo de 2018 al 19 de febrero de 2019 se realizaron 25 colectas de insectos asociados a *L. tridentata* en el área no disturbada colindante a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo ubicada en Bermejillo, Dgo., en las coordenadas 25.896316 N, -103.591838 O, a una altitud de 1120 metros sobre el nivel del mar. La frecuencia de las colectas fue de cada dos semanas. El método de colecta fue de red de golpeo realizando tres pasos de red en cinco plantas de gobernadora en cada fecha de colecta.

El material obtenido de las cinco plantas de pasó a una cámara letal con acetato de etilo para ocasionarle la muerte y posteriormente se transfirió a un recipiente de 250 ml con alcohol al 70% debidamente etiquetado para su posterior limpieza e identificación.

Fase de Laboratorio: De cada muestra de los insectos colectados, se realizó la separación de los grupos morfológicos insectos obtenidos y en particular de los himenópteros parasitoides para realizar su montaje por el método de montaje en punto o en preparaciones permanentes según su tamaño, y posteriormente se realizó su identificación en base sus características morfológicas con el apoyo de las claves e información de Fernández y Sharkey (2006), Gibson et al. (1997), Goulet y Huber (1993), Gauld y Bolton (1988) y Pinto (1995).

Resultados y discusión

De las 25 fechas de muestreo, se colectaron 668 ejemplares de insectos de los órdenes Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Homoptera, Lepidoptera, Neuroptera, Orthoptera, Thysanoptera e Hymenoptera. De este último orden se obtuvieron 280 ejemplares representando el 41.9% del total de insectos, en contraste con Orthoptera y Neuroptera de los cuales se obtuvieron solo 5 y 1 ejemplares, respectivamente.

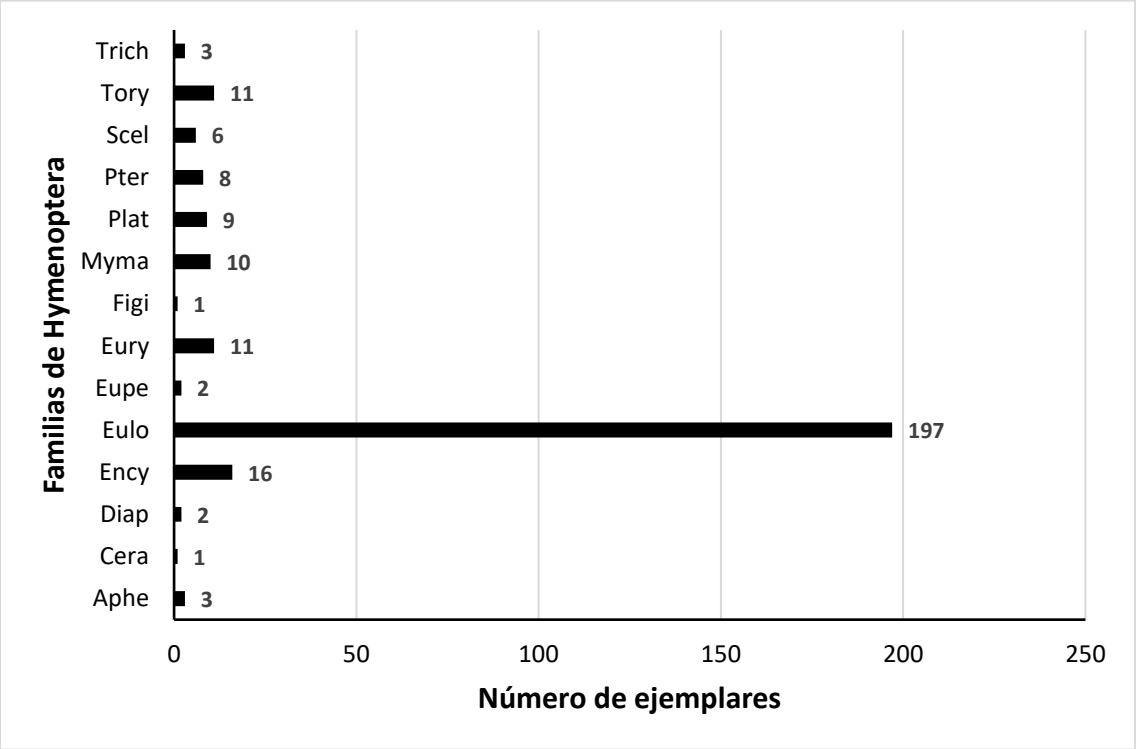
Los himenópteros parasitoides, se obtuvieron en 23 de las 25 fechas de muestreo. De los cuales se identificaron 14 familias taxonómicas (Figura 1), resaltando la familia Eulophidae con 197 ejemplares de los 280 colectados, representando un 70.3%. En contraste de Ceraphronidae y Figitidae se obtuvo solo un ejemplar de cada familia, en tanto de Diapriidae y Eupelmidae se colectaron 2 ejemplares, respectivamente. Otras familias con más de 10 ejemplares colectados fueron Encyrtidae, Eurytomidae, Torymidae y Mymaridae con 16,11,11 y 10 ejemplares, respectivamente.

En relación al número de ejemplares por fecha de colecta (Figura 2), la mayor cantidad se presentó el 2 y 29 de septiembre de 2018 con 48 y 43 ejemplares, respectivamente. Este periodo coincidió con la etapa de lluvias que se presentó en la región en ese año en donde también se presentaron insectos fitófagos que se alimentaron de la gobernadora principalmente insectos chupadores como chicharritas (Homoptera: Cicadellidae) y en consecuencia la cantidad de himenópteros parasitoides también se incrementó en días posteriores.

Una breve información relativa a la diversidad y biología de las familias de himenópteros determinadas es la siguiente. Los Eulophidae son comunes en todos los hábitats de nuestro planeta, con más de 4,288 especies incluidas en 294 géneros. Sus hospederos incluyen numerosos de taxones de arañas, ácaros, nemátodos, y huevos de diversos ordenes de incluidos otros himenópteros los cuales se incluyen en más de 100 familias en 10 órdenes de artrópodos (LaSalle 1994 y Noyes 2002, citados por Fernández y Sharkey, 2026). Casi todas las especies de Encyrtidae, son endoparasitoides primarios de otros artrópodos, un tercio de estas especies son registradas de huéspedes pseudococidos, otro tercio de coccidos y el resto de las especies son registradas de otras familias de Homoptera, Neuroptera, Coleóptera, Lepidoptera, Orthoptera, Diptera, garrapatas, y huevos de arañas (González y Lomelí, 2011). Los Eurytomidae atacan un amplio rango de hospederos, como parasitoides o depredadores, o como fitófagos, o algunas veces la combinación de ambos. Especies de muchos géneros parasitan consumidores de semillas del orden Coleóptera.

El género *Macrorileya* parasita huevos de Oecanthinae (Grillos de los árboles) y *Neorileya* parasita huevos de Coreidae y Pentatomidae (Chinches fitófagas). Muchas especies de *Eurytoma* atacan insectos formadores de agallas, especialmente de Cynipidae, Tephritidae, Cecidomyiidae y Psyllidae (González y Lomelí, 2011). Los Mymaridae tienen distribución mundial y sus individuos pueden encontrarse en todos los hábitats terrestres, y estanques de agua fresca, y corrientes. La mayoría de las plagas que parasitan registradas están incluidos el orden Hemiptera, particularmente de Cicadellidae, Delphacidae, Membracidae pero también hay registros de Psocoptera, Coleoptera, Orthoptera y Diptera.

Los himenópteros de Torymidae son ectoparasitoides de dípteros e himenópteros formadores de agallas en plantas, además son parasitoides de ootecas de Mantidae, de Lepidoptera y Coleoptera. En Platygastridae se incluyen 1,100 especies y son endoparasitoides de Cecidomyiidae (Diptera) (formadores de agallas), Coleoptera y Homoptera (Fernández y Sharkey, 2026). Respecto a Pteromalidae, estos son ectoparasitoides gregarios de larvas y pupas de lepidópteros, coleópteros y dípteros. Los scelionidos son endoparasitoides solitarios primarios, parasitan huevos de insectos de los órdenes mayores como Coleoptera, Lepidoptera, Homoptera y Diptera, y ocasionalmente de huevos de arañas (González y Lomelí, 2011). Estos autores también citan que muchas especies de Aphelinidae son parasitoides primarios o hiperparasitoides de Homoptera, por ejemplo, el género *Aphytis* son parasitoides externos primarios de Diaspididae, y especies del género *Aphelinus* son invariablemente parasitoides internos primarios de Aphididae (pulgones). Esta información permite asociar los himenópteros parasitoides identificados en este estudio con los demás grupos de insectos fitófagos colectados en *L. tridentata.*



Aphe: Aphelinidae, Cera: Ceraphronidae, Diap: Diapriidae, Ency: Encyrtidae, Eulo: Eulophidae, Eupe: Eupelmidae, Eury: Eurytomidae, Figi: Figitidae, Myma: Mymaridae, Plat: Platygastridae, Pter: Pteromalidae, Scel: Scelionidae, Tory; Torymidae y Trich:Trichogrammatidae

Figura 1. Familias de himenópteros parasitoides colectados en *Larrea tridentata* (Moç. & Seseé ex DC.) Coville en Bermejillo, Dgo. 2018-2019.

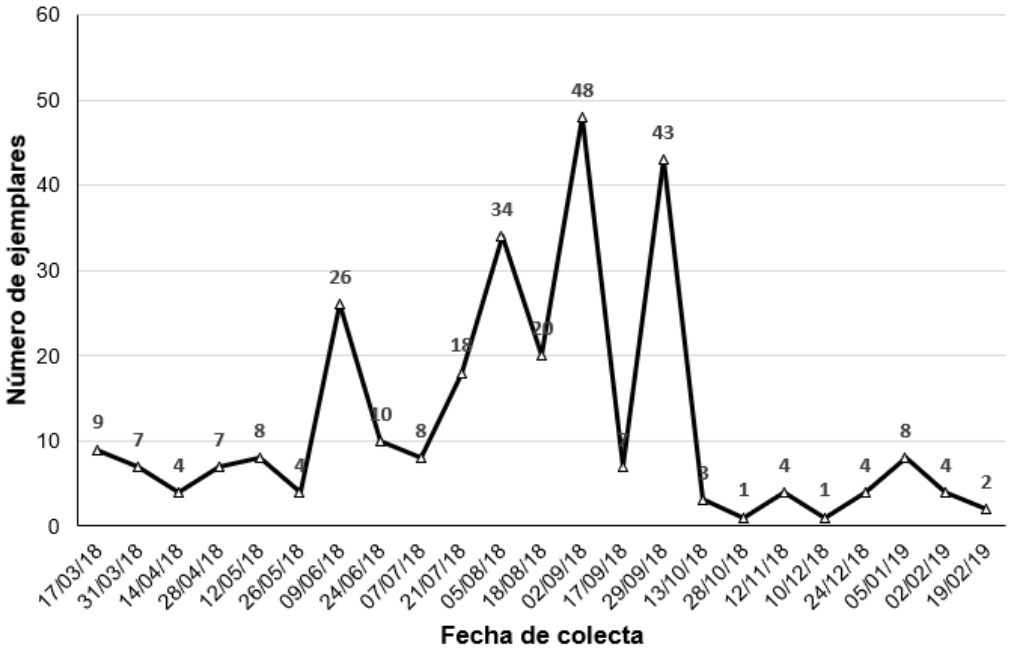


Figura 2. Número de ejemplares de himenópteros parasitoides colectados en *Larrea tridentata* (Moç. & Seseé ex DC.) Coville en Bermejillo, Dgo. 2018-2019.

Conclusiones

El presente estudio presenta una importante diversidad de himenópteros parasitoides asociados a *L. tridentata* aunque la identificación preliminar es a nivel familia, se estima que al menos se pueden identificar unas 30 especies, y es el primer reporte de este grupo de insectos en una especie arbustiva de las zonas áridas.

Eulophidae fue la familia más abundante, la cual está estrechamente asociada a los grupos de insectos fitófagos encontrados en *L. tridentata*

Se sugiere la realización de un estudio a nivel regional que contemple colectas semanales durante un año para generar un conocimiento más completo de la diversidad de insectos en *L. tridentata* y establecer posibles relaciones con variables climáticas y con los insectos que atacan especies cultivables de la región como hortalizas y frutales.

Referencias

Fernández, F. y Sharkey, M. J. (2006). Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical. Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C., ISBN: 958-701-708-0. 894 pp.

Gauld I. & Bolton, B. (1993) The Hymenoptera. Oxford University Press. ISBN 0-19-858521-17. New York 332 p.

Gibson, G. A. P., Huber, J. T. & Woolley, J. B. (1997). Annotated Keys to the Genera of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera). NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. 794 p. https://cdnsciencepub.com/doi/book/10.1139/9780660166698.

González, N. C. (2022). Efectividad de *Argemone pleiacantha* Greene y *Helianthus ciliaris* D.C. en el control de la mosquita blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). Tesis Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. 66 p. https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/bb7179e8-736e-4dbd-a156-e661be2f6374/content

González H. A. y Lomelí, F. R. (2011). Principales familias de Hymenoptera parasítica. Memorias del Taller de Taxonomía de Insectos Entomófagos. Sociedad Mexicana de Control Biológico**.** Monterrey, Nuevo León, México 6 al 11 de noviembre de 2011**.** Pág. 8-38.

Goulet H. and Huber, J.T. (1993). Hymenoptera of the world: An identification guide to families. Research Branch Agriculture Canada Publication 1894/E. 666 p https://esc-sec.ca/wp/wp-content/uploads/2017/03/AAFC_hymenoptera_of_the_world.pdf

Guevara, C.S.C. (2021). Evaluación de extractos vegetales en el control in vitro del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae). Tesis Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. 50 p. https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/ff63bcad-5d61-4d60-99e9-1fca14a431e0/content

Pinto, J. D. (1995). Trichogrammatidae. *In*. Hanson D. and D. Gauld, eds., Hymenoptera of Costa Rica. Oxford Univ. Press. New York. 893 pp. https://global.oup.com/academic/product/the-hymenoptera-of-costa-rica-9780198549055?cc=mx&lang=en&

Reyes-Carrillo, J. L., Eischen, F. A., Cano-Ríos, P., Rodríguez-Martínez, R. & Nava, C.U. (2009). Plant species visited by honey bee foragers during induced cantaloupe pollination. Acta Zoológica Mexicana. 25(3): 507-514. https://azm.ojs.inecol.mx/index.php/azm/article/view/657/826

Villarreal-Quintanilla J. A., Bartolomé-Hernández J. A., Estrada C. E., Ramírez-Rodríguez H. y Martínez-Amador S. J. (2017). El elemento endémico de la flora vascular del Desierto Chihuahuense. *Acta Botánica Mexicana*, (118), 65-96 DOI: https://doi.org/10.21829/abm118.2017.1201

Zavala-Hurtado, J.A: y Jiménez, M. (2020). Diversity and Uniqueness at Its Best: Vegetation of the Chihuahuan Desert. *In* Mandujano, M.C., Pisanty, I., Eguiarte, L.E.(Eds) (2020) Plant Diversity and Ecology in the Chihuahuan Desert Emphasis on the Cuatro Cienegas Basin. Springer Nature Switzerland AG 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44963-6

CARACTERIZACIÓN DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN COMO MICROHABITAT PARA FAUNA SILVESTRE AL SURESTE DE DURANGO, MÉXICO

Gonzalo Hernández-Ibarra[1*]; Miguel Àngel Mata-Espinosa[1]; Jorge Homero-Rodríguez Castro[2]; Mayela Rodríguez-González[3] y Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo; Km 40 de la Carretera Gómez Palacio, Durango-Cd. Jiménez Chihuahua, C.P. 35230. Bermejillo, Mapimi, Durango; [2]Tecnológico Nacional de México, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil No. 1301, C. P. 87010, Ciudad Victoria, Tamaulipas; [3]Universidad Abierta y a Distancia de México– UnADM. CP 03330 CDMX. *Autor para correspondencia: ghernandez@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El uso del agua como satisfactor de bienestar humano a través del tiempo ha venido presentando cambios sustanciales particularmente en lo referente al destino de excedentes de agua utilizada en labores del hogar. El arreglo espacial de la diversidad biológica es el producto complejo de la historia compartida entre las biotas y las áreas que éstas ocupan (Llanes-Quevedo et al., 2024). El tratamiento y el permiso de la autoridad competente, la prevención y control de la contaminación entre otros, necesariamente deben estar de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas vigentes (Febles-Patrón & Hoogesteijn, 2010). Una laguna de oxidación o de estabilización es una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos (CNA, 1996). Ruiz-Guerrero (2023) alude que el tipo de vegetación “tular” se encontró en forma de parches combinado con popal y nenúfar en humedales dulceacuícolas en un estudio realizado en una cuenca en Mazatlán. Los humedales artificiales juegan un papel o rol principal complementario en la conservación de las comunidades de aves sobre todo por las características y bondades que presentan (Giosa et al., 2018). Por lo tanto, las lagunas de oxidación han surgido como un depósito del vital líquido y no siempre con el manejo idóneo; sin embargo, existe un valor intrínseco en cada cuerpo de agua, dada la relevancia como hábitat para diferentes especies hemos planteado como objetivo describir las especies de plantas y animales asociadas a lagunas de oxidación al sureste de Durango.

Materiales y métodos

Se realizaron 8 visitas al municipio Poanas, Durango entre los meses de mayo a noviembre de 2024; en las cuales se referenciaron y posteriormente se categorizaron las lagunas de oxidación encontradas en las comunidades siguientes: Villa unión (1), El Refugio (1), San Atenógenes (1), La Ochoa-Veracruz (1), Orizaba (1), El Potosí (1), Los Ángeles- Damián Carmona (1) y Estación Poanas (1).

El municipio Poanas colinda al norte con el municipio de Guadalupe Victoria y Cuencamé, al sur con Vicente Guerrero, al oeste con los municipios de Nombre de Dios y Durango; y al este colinda con el estado de Zacatecas (INAFED, 2010). La cabecera municipal se encuentra en las coordenadas 23º58' de latitud norte y 104º03' de longitud oeste; tiene una altitud promedio de 1,920 m y un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (BS1k); frío en invierno, registrándose temperaturas promedio anuales de 25.9° C., la precipitación pluvial es de 496 mm con una evaporación de 213 mm promedio anual, el periodo de incidencia de heladas abarca los meses de noviembre hasta marzo (INAFED, 2010).

Nosotros comenzamos recabando información en campo, después de haber contactado integrantes de la Mesa Directiva del Comisariado Ejidal para solicitar y conseguir permiso de acceso a los humedales de cada núcleo agrario. Usamos un vehículo y recorrimos a pie los alrededores de cada humedal en los potreros y áreas de cultivo según la ubicación referida por las autoridades mencionadas. En cada visita se capturó mediante fotografía digital con una cámara fotográfica modelo Coolpix P900 de marca Nikon a cada ejemplar de fauna silvestre encontrado comenzando con las aves por la posible fuga o vuelo primero individuos dentro del agua y en percha, seguido por los mamíferos, reptiles y anfibios. Posteriormente registramos las plantas en el espejo del agua y alrededor de la laguna de oxidación, para posteriormente efectuar la identificación respectiva mediante Guías para la identificación de especies principalmente aves (Dunn y Alderfer, 2017); Guías para la identificación de Poáceas: Herrera & Cortes (2009), Herrera & Pámanes (2010) y la plataforma online de Naturalista de la CONABIO (2025), para corroborar las demás especies de las diferentes clases taxonómicas de plantas y animales.

Análisis de Datos. La información se sistematizó por familia, género y especie. Se utilizó el programa Excel de la paquetería Microsoft© para ordenar especies, describir y graficar las familias de los plantas encontradas y registradas de donde se elaboraron tablas.

Resultados y discusión

Al concentrar la información encontramos que en la Figura 1, se aprecia que de las ocho lagunas de oxidación destacan tres en primer lugar El Refugio con 8, seguida por Los Ángeles-D. Carmona con 7 y Villa Unión con 5 especies de plantas, respectivamente. La categorización de las lagunas de oxidación quedo de la manera siguiente: Lagunas de oxidación El Refugio y Los Ángeles-D. Carmona podemos aludir que basándonos en la vegetación dominante coinciden con las características de Humedales herbáceos emergentes (HHE) categoría descrita por Moreno et al. (2010), ya que dominan las especies Tule o tulillo (*Thypa domingensis*) y Girasol silvestre (*Helianthus annuus*) para el Refugio, tabaquillo o tabacón (*Nicotiana glauca*) y Tule o tulillo (*Thypa domingensis*) para Los Ángeles-D. Carmona. Anteriormente Hernández et al. (2023) indicaron para el municipio de estudio que tres humedales probablemente se categoricen como humedales herbáceos emergentes considerando sus características y las especies herbáceas y arbustivas presentes. En el caso de las otras seis lagunas de oxidación o humedales se encontraron algunas especies con un número reducido de individuos de las especies *Typha domingensis*, *Nicotiana glauca*, Calabacilla hedionda (*Cucurbita foetidissima*), Pasto bermuda (*Cynodon dactylon*), Pasto salado (*Sporobolus pyramidatus*), Jaral (*Jara mexicana*), Lirio acuático (*Eichornia crassipes)* e individuos de Quelite o quintonil (*Amaranthus* spp).

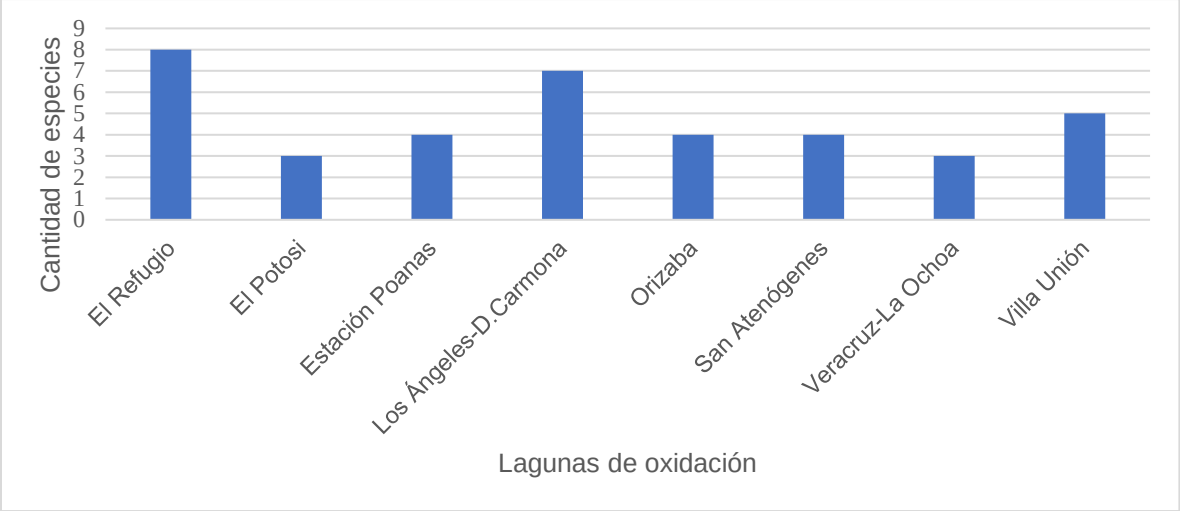


Figura 1. Cantidad de especies de plantas registradas por laguna de oxidación.

Figura 2. Diferencia entre una laguna de oxidación (Derecha) (Humedal Herbáceo Emergente) y una laguna de oxidación (Izquierda) con vegetación anual incipiente.

En lo referente a fauna silvestre en general destacan nuevamente las lagunas de oxidación El Refugio con (16,2,1) y Los Ángeles-D. Carmona con (10,1,1) para aves, mamíferos y reptiles respectivamente.

En El Refugio las cinco especies de aves que más se encontraron fue la familia Anatidae con las especies: Pato mexicano nativo (*Anas diazi*) (**A**), Pato mexicano (*Anas plathyrhynchos*), Pato golondrino (*Anas acuta*), Pato cucharón (*Spatula clypeata*) y Pato colorado (*Spatula cyanoptera*); mamíferos fueron: Rata de alcantarilla (*Rattus rattus*) *y* Rata de monte (*Rattus novergicus*)*;* por último, se registró una Culebra de agua (*Tamnophis eques*) (**A**). En la laguna de oxidación Los Ángeles-D. Carmona se registraron primordialmente cuatro especies de la familia Anatidae: *Spatula clypeata*, *Anas plathyrhynchos*, Pato de cuello anillado (*Aythya collaris*) y Cerceta alas verdes (*Anas crecca*); más una especie de Apodiforme Colibrí pico ancho (*Cynanthus latirostris*) (**Pr**); especie de mamíferos una Rata de alcantarilla (*Rattus rattus*) y Reptiles se registró la tortuga casquito de los presones (*Kinosternon durangoense*). Para las demás lagunas de oxidación las especies de aves son muy similares a las descritas con la salvedad que en San Atenógenes se registró una especie de la familia Scolopacidae Playero alzacolita (*Actitis macularius*) y para la laguna de oxidación El Potosí se registró la especie de Tortuga casquito pecho quebrado (*Kinosternon integrum*) **(Pr**) y una especie de anfibio de la familia Ranidae Rana leopardo (*Lithobates berlandieri*) (**Pr**) (DOI, 2010); como se observa en la Figura 3 a continuación.

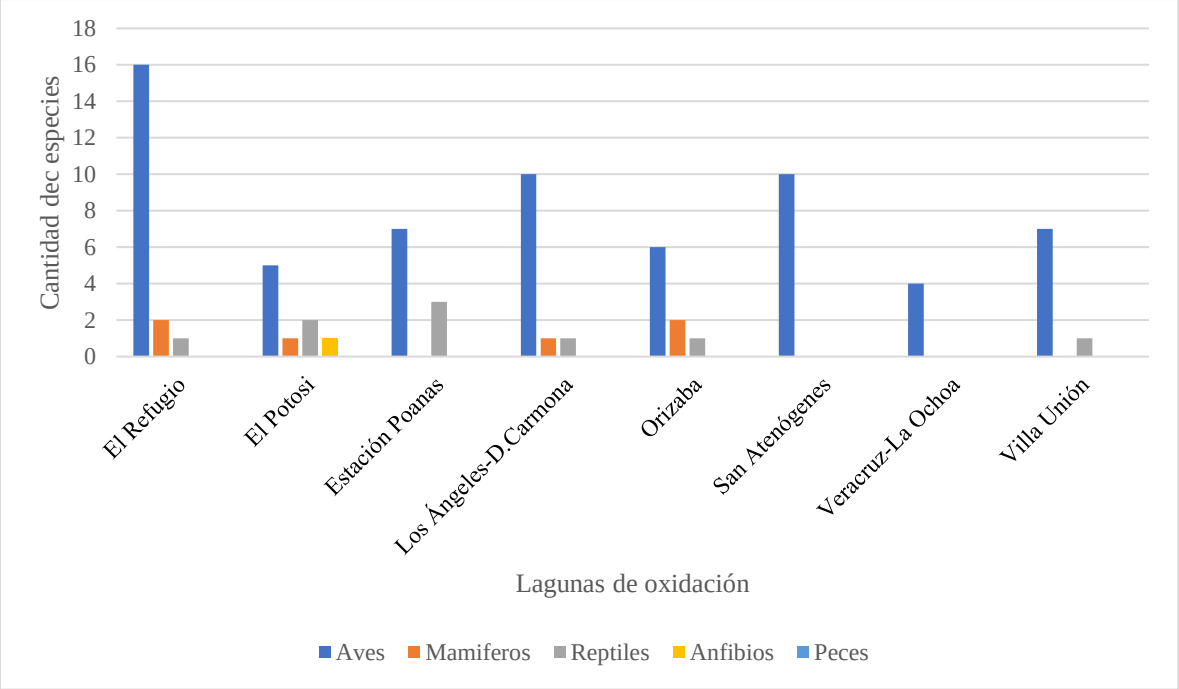


Figura 2. Clases taxonómicas de fauna silvestre por laguna de oxidación.

Conclusiones

Destacan 2 especies en categoría Amenazadas en la NOM-059, éstas son: El pato mexicano nativo *Anas diazi* y la culebra de agua *Tamnophis eques*.

De las ocho lagunas de oxidación el 25% se categorizan como humedales herbáceos emergentes (HEE), basándose en la vegetación asociada dominante.

Un total de cinco especies se encuentran en alguna categoría de riesgo Dos especies de reptiles están en categoría de riesgo, una amenazada y una en protección especial, dos aves están en categoría de riesgo, una amenazada y una en protección especial y un anfibio en protección especial.

Referencias

CNA. (1996). Diseño de Lagunas de Estabilización. Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas. Comisión Nacional del Agua.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2025). Recuperado el 11 de junio de 2025. Aves. Plataforma online. www.conabio.gob.mx/otros/nabci/doctos/aves.html

Diario Oficial de la Federación. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010. México. Recuperado el 24 de agosto de 2025 de: http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091

Dunn, J. L., & Alderfer, J. (2017). Field Guide to the Birds of North America. Washington, DC: Séptima edición. National Geographic.

Febles-Patrón, J. L., & Hoogesteijn, A. (2010). Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán. *Ingeniería, 14*(2), 127-137. https://www.redalyc.org/pdf/467/46715068006.pdf

Giosa E, Mammides C, Zotos S (2018). The importance of artificial wetlands for birds: A case study from Cyprus. PLoS ONE 13(5): e0197286.https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197286

Hernández I. G., Rodríguez C. J. H., Yáñez Ch. L.G y Rodríguez G. M. (2023). Presencia y propiedades de las Poaceas asociadas a humedales artificiales en tres ejidos de Poanas, Durango., México. Memoria del XII Congreso Internacional de Manejo de Pastizales de la Sociedad Mexicana de Manejo de

Pastizales A.C. (SOMMAP). Tomo II, mesa denominada "*Manejo de Pastizales"*, realizado del 27 al 29 de septiembre de 2023 en Durango, México.

Herrera Arrieta, Y., & Cortés Ortiz, A. (2009). Diversidad de las gramíneas de Durango, México. Polibotánica, (28), 49-68. Consultado el 05 de agosto de 2025 de: https://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n28/n28a4.pdf

Herrera A. Y., y Pámanes G. D. S. (2010). Guía de Pastos de Zacatecas. Primera Edición. Instituto Politécnico Nacional CIIDIR IPN Unidad Durango. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Impreso en México.

Instituto Nacional para el Federalismo. (2010). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Consultado el 27 de agosto de 2025 de: http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM10durango/municipios/10022a.html

Llanes-Quevedo A., Luis Enrique Sánchez-Ramos E y Adolfo G. Navarro-Sigüenza A. G. (2024). Patrones históricos y actuales de diversidad y relaciones biogeográficas de la avifauna residente de los bosques tropicales de México. Revista Mexicana de Biodiversidad 95: e9553412https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2024.95.5341

Moreno-Casasola, Patricia, Cejudo-Espinosa, Eduardo, Capistrán-Barradas, Ascención, Infante-Mata, Dulce, López-Rosas, Hugo, Castillo-Campos, Gonzalo, Pale-Pale, Jesús, & Campos-Cascaredo, Adolfo. (2010). Composición florística, diversidad y ecología de humedales herbáceos emergentes en la planicie costera central de Veracruz, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México, (87), 29-50. Consultado el 04 de septiembre de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-21282010000200003&lng=es&tlng=es.

Ruiz Guerrero, M. (2023). Listado florístico y comunidades vegetales de la microcuenca Estero del Yugo, Mazatlán, Sinaloa, México. Acta Botánica Mexicana 130: e2136. DOI: https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2136

AVANCES Y PERSPECTIVAS PARA LA CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE *Liometopum apiculatum* EN MÉXICO

José Domingo Cruz-Labana[1]*, Roberto Moisés Vallejo-Pérez[1], Carlos Alberto Rebolloso-Hernández [1]

[1]Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, Av. Sierra Leona No. 550, Lomas 2ª Sección, San Luis Potosí, SLP, México. [2]Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Instituto de Metalurgia, Av. Sierra Leona No. 550, Lomas 2ª Sección, San Luis Potosí, SLP, México. *Autor de correspondencia: domingo.cruz@uaslp.mx

Introducción

Las hormigas escamoleras (*Liometopum apiculatum* Mayr) constituyen un recurso biótico de alto valor cultural, alimenticio y económico en diversas regiones áridas y semiáridas de México. Los escamoles, consumidos tradicionalmente como alimento de temporada, han alcanzado en la actualidad un estatus de producto gourmet, lo que ha intensificado la presión extractiva sobre las colonias naturales (Lara-Juárez et al., 2015). Este escenario plantea riesgos significativos para la persistencia de las poblaciones y para la conservación de la diversidad genética de la especie. Ante este panorama, se han desarrollado líneas de investigación orientadas a la conservación y al aprovechamiento sustentable de *L. apiculatum*, que incluyen la caracterización morfológica detallada del aparato reproductor de hembras y machos mediante disecciones y microfotografía digital, la identificación de semioquímicos asociados al forrajeo y la implementación de innovaciones tecnológicas, como la trabécula artificial, diseñada para reducir el impacto sobre las colonias durante la colecta. De manera complementaria, se han documentado concentraciones elevadas de arsénico (As) y mercurio (Hg) en suelos, plantas e insectos de zonas mineras abandonadas donde habita la especie, lo que refuerza la necesidad de integrar un enfoque preventivo en las estrategias de manejo y conservación. La incorporación de estas evaluaciones de riesgo ambiental garantiza la inocuidad del producto y la protección del ecosistema, fortaleciendo el vínculo entre investigación científica, innovación tecnológica y conocimiento local. En conjunto, estos avances establecen un marco interdisciplinario para la conservación de *L. apiculatum* y el manejo responsable del recurso escamolero, consolidando una visión integral que articula aspectos biológicos, ecológicos y socioculturales.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló con base en diferentes líneas de investigación sobre *Liometopum apiculatum* orientadas a su conservación y manejo sustentable, abarcando aspectos morfológicos, químicos, tecnológicos y ambientales. Las colectas se realizaron en zonas áridas y semiáridas del Altiplano Mexicano con presencia confirmada de nidos activos, de los cuales se obtuvieron obreras, pupas y material asociado a la cámara de cría. Los ejemplares fueron anestesiados con CO_2 antes del sacrificio, conforme a principios de bienestar animal, y posteriormente diseccionados bajo estereoscopio óptico. Las estructuras genitales externas e internas se documentaron mediante microfotografía digital y dibujo vectorial en CorelDRAW®, generando ilustraciones científicas de machos y hembras que incluyeron parameros, penisvalvas, espermateca y conducto espermático.

Los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) asociados a las crías se analizaron por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) y por nariz electrónica Cyranose® 320; se aplicaron análisis estadísticos multivariados (PCA, PLS-DA y VIP) para comparar las fases reproductivas PRE, TEM y POS. Se diseñó una cámara de cría artificial reutilizable ("trabécula artificial") fabricada en PLA biodegradable mediante impresión 3D, con geometría dodecaédrica y ocho piezas ensamblables (IMPI, 2025); el modelo se evaluó en campo para determinar su estabilidad estructural y su eficiencia en la extracción de escamoles sin destrucción del nido. De manera preventiva, se determinaron concentraciones de arsénico (As) y mercurio (Hg) en suelo, suelo de nido, plantas, insectos escama y obreras mediante espectrometría de absorción atómica, comparando sitios con pasivos mineros y un sitio de referencia sin contaminación. Los resultados se integraron bajo un enfoque comparativo, complementado con registros fotográficos, análisis químicos y observaciones de campo que permiten vincular la evidencia morfológica, química y tecnológica dentro de un marco de conservación aplicada.

Resultados y discusión

Las observaciones morfológicas permitieron describir por primera vez la genitalia externa e interna de hembras y machos de *Liometopum apiculatum* con valor diagnóstico y reproductivo. En las hembras, la espermateca (Esp) mostró forma esférica con su conducto espermático (Ce) distintivo y la presencia de una estructura esclerosada ventral (Sr) compatible con un aguijón vestigial, hallazgo considerado el primer registro para la especie (Fig. 1a–e). En los machos se identificó el conjunto de estructuras genitales compuesto por parameros (pm), penisvalvas (pv), epiprocto (ep), falo (Ph) y testículos (t), evidenciando una complementariedad funcional con las estructuras de almacenamiento espermático femenino (Fig. 2a–d). Las imágenes se complementan con esquemas rotulados en CorelDRAW® y microfotografías obtenidas durante las disecciones en fresco, las cuales preservaron la coloración y disposición natural de los tejidos.

La caracterización química de los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) asociados a las crías reveló diferencias claras entre fases reproductivas PRE, TEM y POS. Mediante GC-MS se identificaron 44 compuestos, de los cuales los alcanos lineales y metilados representaron más del 70 % de la matriz química; los análisis multivariados PCA y PLS-DA evidenciaron agrupamientos definidos por fase y destacaron como marcadores el undecano, tridecano, tetradecano y fitol, compuestos correlacionados con la actividad de forrajeo de las obreras. La Figura 3 resume la distribución de estos compuestos y la separación estadística entre fases reproductivas; los resultados confirman una variación estacional estructurada de los semioquímicos, posiblemente vinculada a señales de regulación del forrajeo y reconocimiento de la cría.

El modelo de cámara de cría artificial o trabécula artificial mostró alta estabilidad estructural en campo y permitió la extracción de escamoles sin colapso del nido. Su diseño modular y reutilizable demostró ser una alternativa viable para disminuir el daño ecológico y el tiempo de colecta, además de facilitar el retorno de las colonias al nido natural. La Figura 4 muestra el prototipo impreso en PLA biodegradable mediante impresión 3D, con geometría dodecaédrica, dimensiones modulares y sistema de cierre tipo pinza, así como su ensamble, instalación en un nido activo y la extracción controlada de pupas sin colapso de la estructura natural, evidenciando la funcionalidad del modelo reutilizable en condiciones de campo.

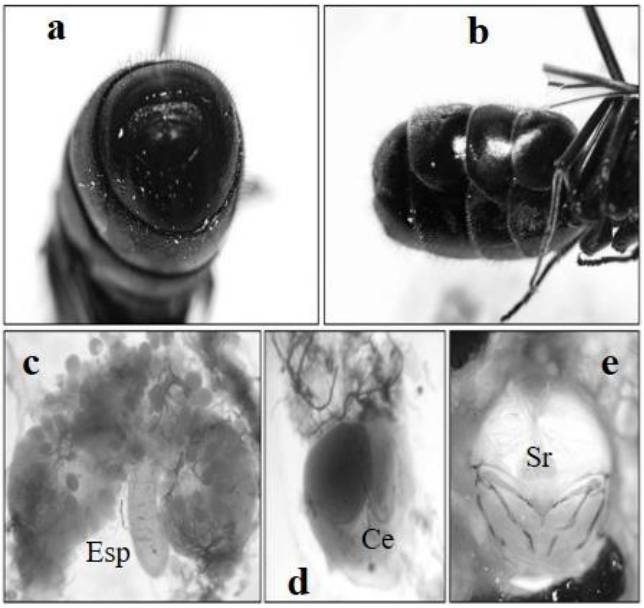


Figura 1. Genitalia externa e interna de hembras de *Liometopum apiculatum*. Vistas externas (a–b) del extremo abdominal y detalles internos (c–e) que muestran la espermateca (Esp), el conducto espermático (Ce) y la estructura esclerosada ventral (Sr).

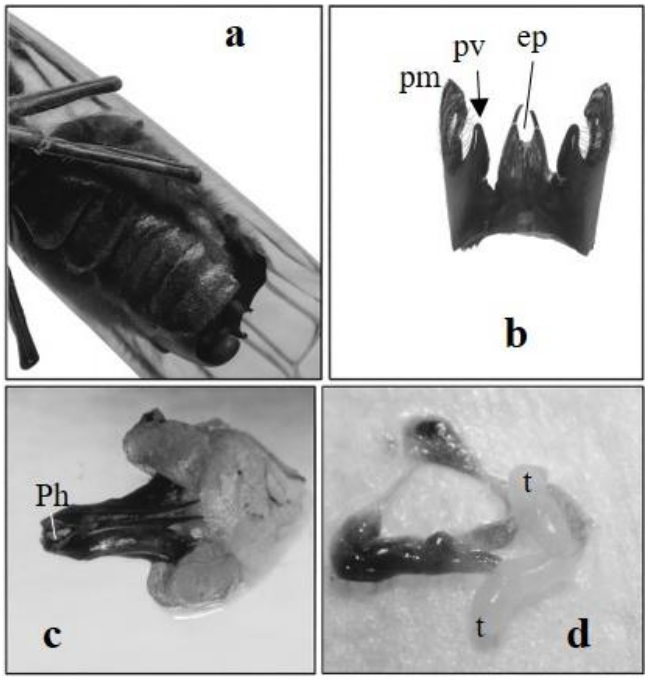


Figura 2. Genitalia externa e interna de machos de *Liometopum apiculatum*. (a–b) Vistas dorsal y ventral del aparato genital con parameros (pm), penisvalvas (pv), epiprocto (ep) y falo (Ph). (c–d) Detalle de los testículos (t).

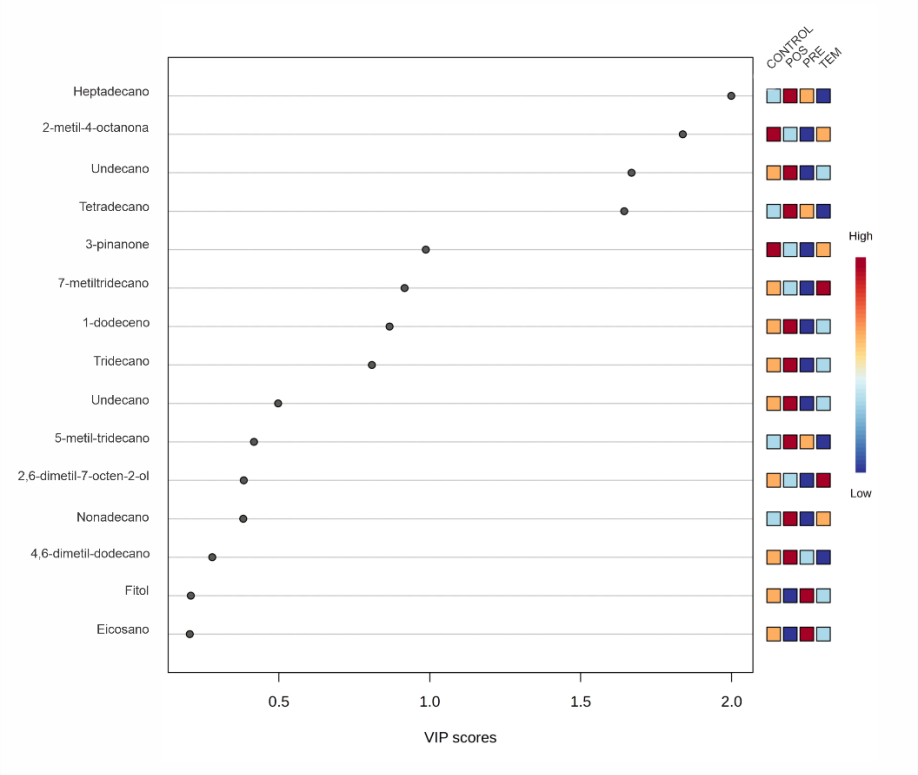


Figura 3. Compuestos orgánicos volátiles (COV) que más contribuyen a la diferenciación entre los períodos de muestreo PRE (pretemporada), TEM (temporada), POS (postemporada).

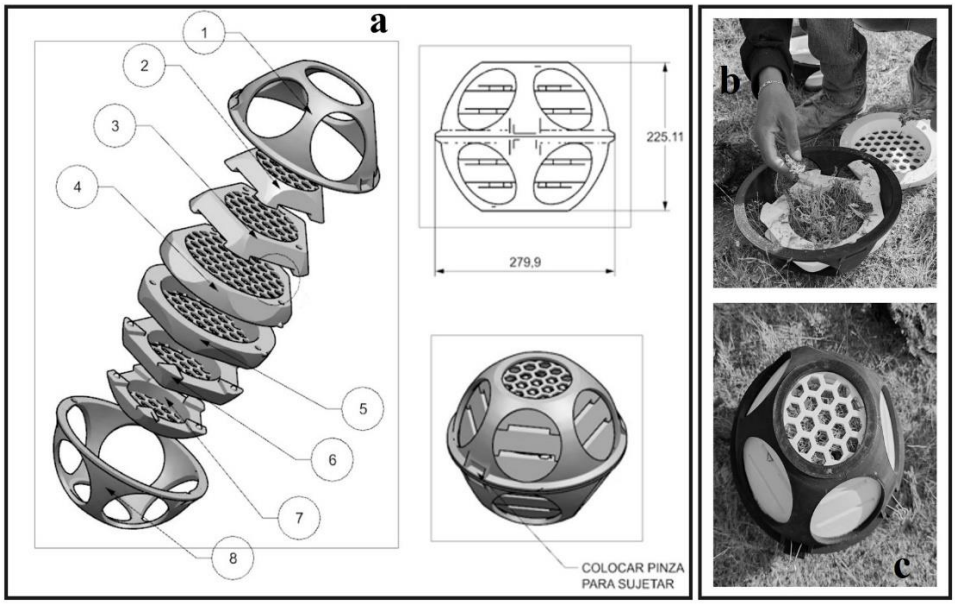


Figura 4. Modelo de trabécula artificial para la extracción sustentable de escamoles (*Liometopum apiculatum*). (a) Vista general del prototipo impreso en PLA biodegradable mediante impresión 3D, mostrando la geometría dodecaédrica, las dimensiones modulares y el sistema de cierre tipo pinza. (b) Ensamble del dispositivo y vista interna de la cámara de cría artificial. (c) Instalación del modelo en un nido activo durante la fase de campo. Extracción controlada de pupas sin colapso del nido, evidenciando la funcionalidad del sistema reutilizable.

Finalmente, los análisis preventivos en zonas con pasivos mineros mostraron concentraciones elevadas de arsénico (As) y mercurio (Hg) en suelos, plantas e insectos asociados a los nidos, con incrementos relativos de hasta 38 y 488 veces mayores, respectivamente, en comparación con el sitio de referencia. Dichos valores corresponden a diferencias de concentración expresadas en miligramos por kilogramo (mg/kg) de peso seco. Aunque los valores detectados en las obreras fueron moderados, estos hallazgos confirman la necesidad de incorporar la vigilancia ambiental dentro del manejo sustentable de *L. apiculatum*. En conjunto, los resultados morfológicos, químicos y tecnológicos consolidan una visión interdisciplinaria que enlaza la biología reproductiva, la comunicación química y la innovación aplicada, aportando bases científicas para la conservación y aprovechamiento responsable de esta especie emblemática.

Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que *Liometopum apiculatum* posee una organización morfológica y química estrechamente vinculada a su biología reproductiva y al éxito de sus colonias. La descripción integral de la genitalia externa e interna de hembras y machos aporta rasgos anatómicos inéditos, entre ellos una estructura esclerosada ventral compatible con un aguijón vestigial y un falo con borde distal aserrado, elementos que sustentan inferencias taxonómicas y reproductivas dentro de la subfamilia Dolichoderinae. Las variaciones estacionales de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) entre las fases PRE, TEM y POS evidencian un control químico asociado al forrajeo, lo cual amplía el conocimiento sobre los mecanismos de comunicación de la especie. El desarrollo de la trabécula artificial representa un avance tecnológico aplicable al manejo sustentable del recurso escamolero, al permitir la extracción de pupas sin destrucción del nido, reducir la presión sobre las poblaciones naturales y facilitar su eventual domesticación parcial. De manera complementaria, los registros de arsénico y mercurio en suelos y organismos asociados a zonas mineras subrayan la importancia de incorporar la vigilancia ambiental en toda estrategia de aprovechamiento. En conjunto, estos hallazgos consolidan un marco interdisciplinario que integra morfología, semioquímica, innovación tecnológica y evaluación ambiental, orientado a la conservación de *L. apiculatum* y al fortalecimiento de su valor biocultural y productivo en los ecosistemas áridos de México.

Referencias

Cruz-Labana, J. D., Vallejo-Pérez, M. R., & Soto-Cárdenas, M. A. (2025). Brood semiochemicals across reproductive phases of *Liometopum apiculatum:* Chemical variation linked to worker foraging. Chemoecology, 35(2), 187–201. https://doi.org/10.1007/s00049-025-00427-8

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). (2025). Modelo industrial de trabécula [Solicitud de registro de diseño industrial, expediente MX/f/2025/001422]. En examen de fondo.

Lara-Juárez, P., J. Aguirre-Rivera, P. Castillo-Lara, & J. A. Reyes-Agüero. (2015). Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). Acta Zoológica Mexicana. 31(2), 251–64.

Rebolloso-Hernández, C. A., Vallejo-Pérez, M. R., Carrizales-Yáñez, L., Razo-Soto, I., Diaz-Barriga, F. & Cruz-Labana, J. D. (2025). Toxic elements in *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) from an abandoned mercury mining site, soil and sediment contamination: An International Journal, Advance online publication. https://doi.org/10.1080/15320383.2025.2558987

DATOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN, RENDIMIENTO Y HUELLA HÍDRICA A NIVEL PARCELA USANDO SENSORES REMOTOS

Sergio Iván Jiménez Jiménez*[1], Mariana de Jesús Marcial Pablo[1], Marco Antonio Inzunza-Ibarra[1], Francisco Muñoz-Arriola[2], Ignacio Sánchez Cohen[1], Ernesto Sifuentes Ibarra[3]

[1]INIFAP-CENID RASPA Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Margen derecha canal Sacramento km 6.5, Zona industrial Gómez Palacio, CP. 35140. Durango. México. [2]Professor of Hydroinformatics and Integrated Hydroclimate. Lincoln, NE 68583-0995 [3]INIFAP-CEVAF Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera internacional México-Nogales km 1609, Juan José Ríos, Sinaloa 81110, México. *Autor de correspondencia: jimenez.sergio@inifap.gob.mx

Introducción

Un indicador que relaciona el consumo humano con los recursos hídricos globales es la Huella Hídrica (HH), que ha sido ampliamente destacado como una métrica efectiva para construir marcos de evaluación para el nexo entre agua, alimentos y energía. La cuantificación de la HH de los cultivos, que incluye la HHazul (riego), HHverde (precipitación) y la HHgris (agua dulce necesaria para asimilar los contaminantes), se refiere a la cantidad de agua consumida por el cultivo por unidad de rendimiento (Hoekstra, 2017). La HHazul y HHverde se conocen en conjunto como HH de consumo. En México existen trabajos escasos y dispersos en áreas agrícolas diferentes donde se centran principalmente en las magnitudes de la HH y se obtienen valores de manera regional con información derivada de tablas e informes oficiales que comúnmente tienen un retraso de dos o más años agrícolas. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de metodologías que permitan estimar de manera indirecta las variables que definime la HH de los cultivos como son la evapotranspiración actual (ETa) y el rendimiento.

Este estudio en desarrollo propone como primer paso el uso de información de reanálisis para estimar la ETo y posteriormente información de imágenes satelitales para derivar la ETa y rendimiento de los cultivos de manera parcelaria, de esta manera se podría estimar la HH a nivel parcelario. La validación de la ETo se llevó a cabo usando información de estaciones meteorológicas dentro del área de estudio, la validación de la ETa, rendimiento y HH se está llevando a cabo mediante mediciones en campo. De esta manera, los objetivos de este trabajo son: i) mostrar los avances en la estimación de la Evapotranspiración, huella hídrica de los cultivos a nivel parcelario en Distritos de riego; ii) implementación de bigdata para generar información que apoye en el uso del agua.

Materiales y métodos

Zona de estudio y datos climáticos. La zona de estudio comprende el área de los distritos de riego (DR) 017 Región Lagunera en Coahuila y Durango, y el DR075 Rio Fuerte, Sinaloa, México. Esta zona agrícola tiene una fuerte presión hídrica.

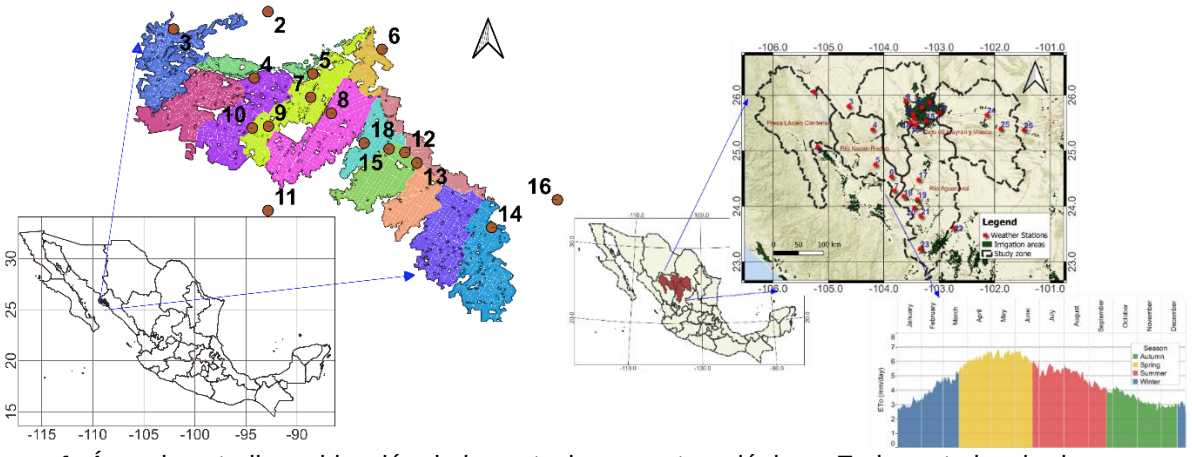


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las estaciones meteorológicas. En la parte izquierda se muestra las estaciones del área de influencia del DR075; mientras que, en la parte derecha la región hidrológica 036.

Los calendarios de riego en el DR017 se inician en primavera-verano (P-V) con el establecimiento de cultivos como maíz, algodón, sorgo; mientras que en el DR075 se inician en otoño-invierno con el establecimiento de Maíz grano, frijol, sorgo. En este trabajo, el cultivo de interés es el Maíz Forrajero De acuerdo a las últimas estadísticas publicadas de los distritos de riego, los cultivos anuales más importantes, por su superficie sembrada, son el maíz forrajero, sorgo forrajero y algodón; mientras que, en perennes sobresale la alfalfa (CONAGUA, 2019).

Datos de reanálisis y estimación de ETo. Se analizaron únicamente bases de datos de reanálisis (RD) que brindan las variables de interés para estimar la ETo con la ecuación de FAO-56 PM, estas bases de datos son: Climate Forecast System version 2 (CFSv2), ERA5-Land Daily data (ERA5), Global Land Data Assimilation System (GLDAS), North American Land Data Assimilation System phase 2 (NLDAS) y Real-Time Mesoscale Analysis (RTMA) y NasaPower system (NP). Para evaluar el desempeño de la estimación de la ETo a partir de RD, se emplearon datos de 26 estaciones dentro del DR017 y 18 dentro del DR075. Antes de emplear estos datos para estimar la ETo aplico un procedimiento de control de calidad de los datos como lo recomienda Allen (1996).

Se realizó una evaluación de precisión de las variables por separado (T_{max} T_{min}, T_{mean}, u_2, HR y *Rs*) después de la ETo, comparando los datos de reanálisis con respecto a los medidos. La evaluación de la precisión se realizó usando la RMSE (raíz del cuadrado medio del error), el error medio (ME), y el coeficiente de determinación.

Evapotranspiración actual usando sensores remotos. Se emplearon modelos de balance de energía (METRIC, SEBAL y SSEBop) para estimar la evapotranspiración actual (ETa). Para automatizar el flujo de trabajo se desarrolló una aplicación que integra rutinas de procesamiento en Google Earth Engine (GEE) y el uso de imágenes Landsat. Para ello, se adaptó el código **GEESEBAL** para su ejecución distribuida y se incorporaron series de datos de reanálisis procedentes de los conjuntos recomendados por Jiménez-Jiménez et al. (2025).

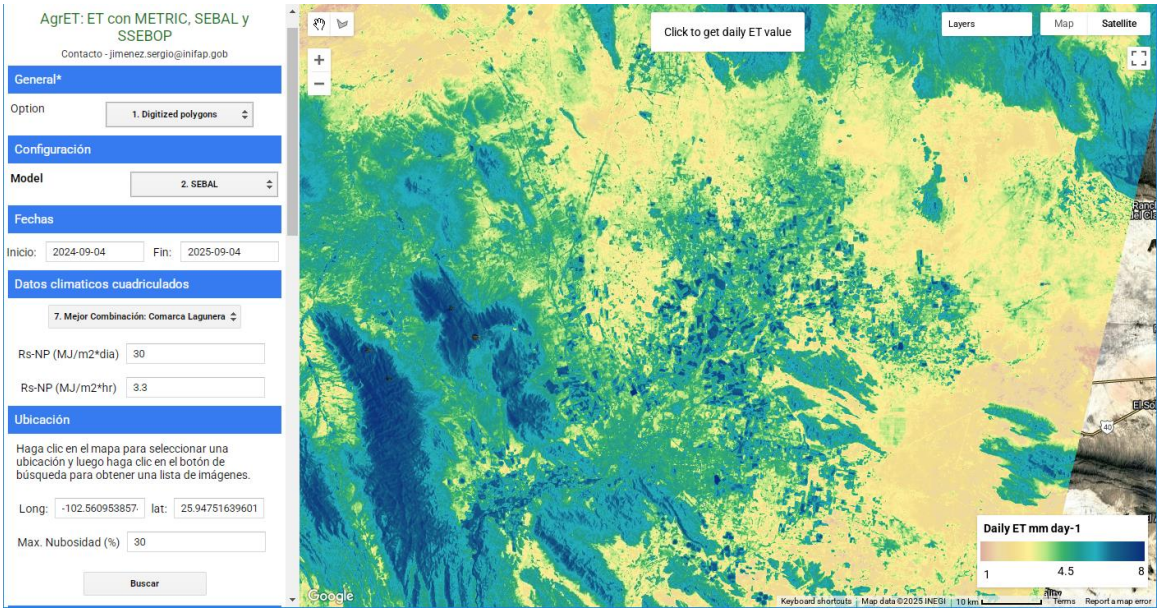


Figura 2. Vista principal de AgrET para la descarga de valores de Evapotranspiración actual (ETa). La figura muestra una escena de ETa calculada con imágenes LandSat para parte del DR017.

Rendimiento de los cultivos y huella hídrica de consumo. En el caso del rendimiento de los cultivos, se empleó el enfoque **PETVI** (Partitioning Evapotranspiration Through Vegetation Indices, Ramirez-Valle et al., 2022), el cual permite separar la transpiración (Tr) y la evaporación (Ev) a partir de índices de vegetación (IVs) y modelos de balance de energía derivados de sensores remotos. En esta primera aproximación, se estimó la transpiración en diferentes parcelas con maíz Forrajero dentro del DR107, y se llevó a cabo una la relación lineal entre la transpiración y el rendimiento de los cultivos.

Resultados y discusiones

Evapotranspiración de referencia con Datos de reanálisis. La precisión de RD en la estimación de ETo, dentro del área de interés, se puede mejorar combinando diferentes conjuntos de datos. De esta manera, se seleccionaron las variables de diferentes conjuntos de datos que tenían el RMSE más bajo. Para el DR017 la T_{max}, T_{min}, T_{mean} se empleó RTMA, para la presión de vapor actual (VP) NP/RTMA; para Rs NP y para u_2 *CFSv2 (Jiménez-Jiménez et al. 2025a); los datos mensuales en formato raster se pueden descargar en Jiménez Jiménez et al (2025b)*. En el caso del DR075, la Temperatura se encontró mejor desempeño en RTMA, la VP y u_2 de ERA-5 land y la Rs de NP; los datos mensuales se pueden descargar de *Jiménez Jiménez et al (2025c). Mientras que los datos diarios de la plataforma http://etocalculator.com/.* Se encontró que hay una mejora en la estimación de la ETo al combinar diferentes conjuntos de datos. El RMSE se reduce a entre 0,091 y 0,139 mm/día y el R^2 aumenta (Figura 2).

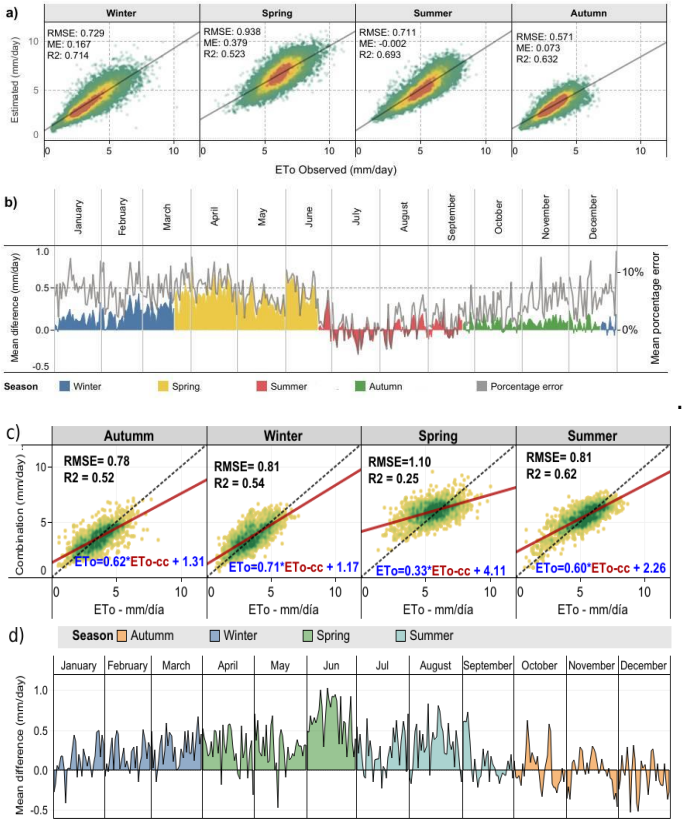


Figura 3. a) Comparación de la evapotranspiración de referencia (ETo) entre datos medidos y estimado dentro del DR017, b) diferencia promedio y porcentual entre datos medidos y de referencia dentro del DR017, c) Comparación de la ETo entre datos medidos y estimado dentro del DR075, d) diferencia promedio y porcentual entre datos medidos y de referencia dentro del DR075.

Evapotranspiración actual. En la Figura 4 se muestra la ET espacial usando el modelo SSEBOP.

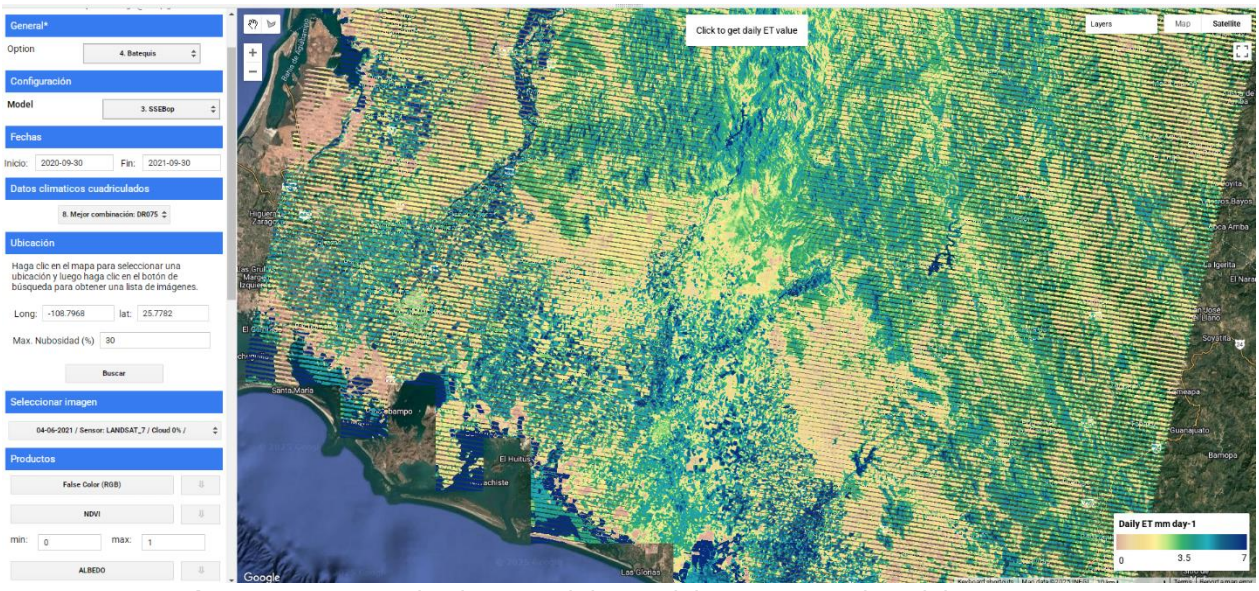


Figura 4. Evatranspiracion actual dentro del DR075 con el modelo SSEBop.

Rendimiento. En la Figura 5 se presenta una gráfica del ajuste lineal entre los valores de transpiración (Tr) y el rendimiento de materia seca del maíz forrajero. Es importante señalar que la Tr no es constante en toda la superficie de la parcela, además, resulta necesaria la calibración del NDVI para estimar con mayor precisión la cobertura del dosel (CC) que alimenta al modelo de Tr. Esto es relevante ya que se ha demostrado que una parametrización adecuada de la curva de CC es fundamental para obtener estimaciones precisas de la evaporación del suelo, la transpiración del cultivo, la acumulación de biomasa y el rendimiento final (Sandhu & Irmak, 2019).

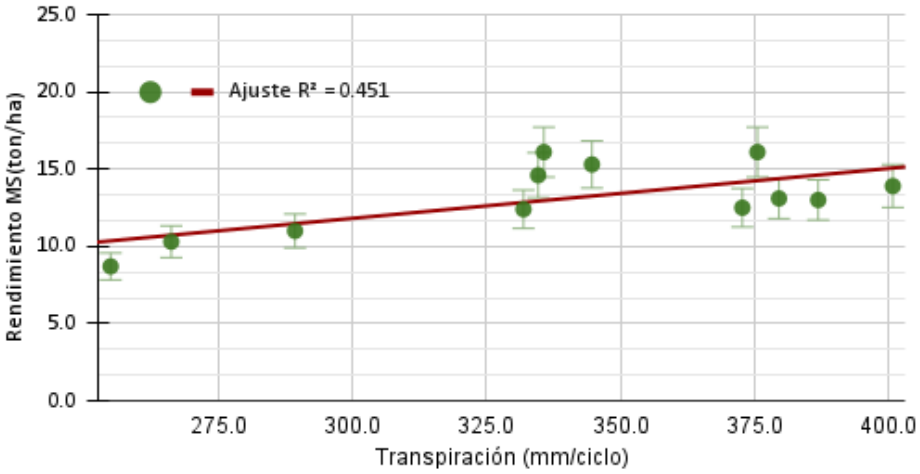


Figura 5. Ajuste de la transpiracion en funcion del rendimiento de materia seca (MS) para el maiz forrajero

Conclusiones

Se necesitan herramientas que permitan atacar un problema como la falta de información en diferentes zonas del país, en este caso se estimó la ETo para una zona en específica, sin embargo, se deben calibrar y validar estas herramientas para diferentes áreas. En este sentido el siguiente paso en este trabajo es encontrar metodologías robustas para reducir el sesgo entre datos medidos y estimados de reanálisis.

Agradecimiento

Este trabajo se financio con el proyecto CONACYT (ahora Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, Secihti): “Huella Hídrica De Cultivos Usando Sensores Remotos Y Datos De Reanálisis, Una Aproximación A Escala Parcelaria”.

Referencias

Allen, R. G. (1996). Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 122(2). https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(1996)122:2(97).

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO*.

Bai, J., Chen, X., Dobermann, A., Yang, H., Cassman, K. G., & Zhang, F. (2010). Evaluation of NASA Satellite- and Model-Derived Weather Data for Simulation of Maize Yield Potential in China. *Agronomy Journal*, 102(1), 9–16. https://doi.org/10.2134/agronj2009.0085

Cobaner, M., Citakoğlu, H., Haktanir, T., & Kisi, O. (2017). Modifying Hargreaves-Samani equation with meteorological variables for estimation of reference evapotranspiration in Turkey. *Hydrology Research,* 48(2), 480–497. https://doi.org/10.2166/nh.2016.217

CONAGUA, (2022). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego: Superficies regadas y volúmenes distribuidos por distrito de riego 1998 – 2020. https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego.

De Pondeca, M. S. F. V., Manikin, G. S., Dimego, G., Benjamin, S. G., Parrish, D. F., Purser, R. J., … Vavra, J. (2011). The real-time mesoscale analysis at NOAA's national centers for environmental prediction: Current status and development. *Weather and Forecasting*, 26(5), 593–612. https://doi.org/10.1175/WAF-D-10-05037.1

Jabloun, M., & Sahli, A. (2008). Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data. Application to Tunisia. *Agricultural Water Management,* 95(6), 707 – 715. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.009

Ramirez-Valle, O. (2022). Impact of Agricultural practices on the consumptive water use of irrigated annual and perennial crops of Northern Mexico and the U.S. Southwest [*Tesis doctoral*]. Open Access Theses and Dissertations 3885.

Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C. J., … Toll, D. (2004). The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3), 381–394. https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381

Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y., Chuang, H., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., & Yang, R. (2011). *NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) 6-hourly products* (Version 2) [Data set]. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. https://doi.org/10.5065/D61C1TXF

ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE TENDENCIAS EN DATOS CLIMATOLÓGICOS

Ramiro Chávez Mota

Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Km. 38.5 Carretera México – Texcoco. Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. *Autor de correspondencia: rchavezm@chapingo.mx

Introducción

La prueba de Mann-Kendall (MK) es una prueba estadística no paramétrica utilizada para identificar tendencias en datos de series de tiempo. Se aplica ampliamente en diversos campos como hidrología, climatología, y ciencias ambientales para detectar tendencias monótonas sin asumir ninguna distribución específica de los datos. La prueba es particularmente útil para analizar datos con valores faltantes o valores atípicos, lo que la hace robusta y versátil.

La prueba de Mann-Kendall se utiliza ampliamente para analizar las tendencias de precipitación y temperatura. Por ejemplo, en Beijing, se utilizó para identificar tendencias en precipitación de 1981 a 2022, revelando variaciones temporales y espaciales significativas (Liu et al., 2024). De manera similar, en Nigeria, la prueba ayudó a descubrir tendencias significativas de calentamiento y patrones de precipitación variables en diferentes zonas climáticas (Iyeme et al., 2024). En hidrología, la prueba se ha aplicado para evaluar los caudales de los arroyos en los ríos croatas, identificando tendencias estacionales significativas y cambios abruptos debidos al cambio climático (Yıldız et al., 2024). Más allá de las aplicaciones ambientales, la prueba de Mann-Kendall es beneficiosa en el monitoreo de condiciones basado en vibraciones. Proporciona un marco robusto para detectar tendencias en indicadores de condición, lo que lleva al desarrollo de nuevas herramientas como el Mannagram y Kendrum para un mejor procesamiento de señales y representación de tendencias (Marsick et al., 2024).

La prueba de Mann-Kendall se compara a menudo con otros métodos de análisis de tendencias. En Turquía, se evaluó junto con análisis de tendencias innovadoras y otras pruebas estadísticas, demostrando su confiabilidad y los beneficios de usar múltiples métodos para aumentar la confianza en la detección de tendencias (Saplıoğlu, 2024). Si bien esta prueba es una poderosa herramienta para el análisis de tendencias, no está exenta de limitaciones. Detecta principalmente tendencias monótonas y puede que no capture patrones más complejos o variaciones cíclicas. Por lo tanto, a menudo se utiliza junto con otros métodos, como el análisis de ondulas o la detección del punto de cambio bayesiano, para proporcionar una comprensión más completa de los datos (Yıldız et al., 2024).

Por otro lado, se tiene la pendiente usando el método de mínimos cuadrados (MC) como una herramienta valiosa tambien para detectar tendencias de datos, particularmente en el análisis de series de tiempo. Cuantifica el grado en que dos variables están relacionadas linealmente, por lo que es útil para identificar tendencias en diversos campos como hidrología, meteorología y sismología. Aunque tambien se puede usar un método alternativo que es el comparar las medias de las observaciones que forman el primer periodo de la serie con la media de las observaciones del segundo periodo usando la prueba t de Student (COM). Por lo anterior, el objetivo principal del presente trabajo es hacer una comparación de las tres metodologías mencionadas de detección de tendencias:

Materiales y métodos

Se usaron datos de temperaturas máximas tomadas de las estaciones climatológicas de La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Se hizo una depuración dejando solo aquellas estaciones que cumplieron con ciertos criterios de calidad y cantidad de información quedando 1823 estaciones. Se obtuvieron los promedios anuales de cada año de registro para identificar si hay o no un cambio significativo de la variable en cuestión, usando los métodos de Mann-Kendall (MK) y para calcular la pendiente se usó el método de Theil-Sen. Además, se calculó la pendiente usando el método de mínimos cuadrados (MC) y finalmente se dividió el intervalo de la serie en dos subintervalos y se comparó la media de ambos intervalos usando la prueba de t de Student (COM). En el estudio se usó una $\alpha = 0.05$. Al tomar como referencia el método de Mann-Kendall, se hizo una comparación de este método con los otros dos. Si la variable se incrementa se etiquetó a la estación climatológica como “Positiva”, si se decrementa “Negativa” y si no hay cambio “Neutral. Para la realización de los cálculos se usó del lenguaje de programación de alto nivel llamado Visual Basic para Aplicaciones (VBA). Tambien se usó el paquete de graficación llamado ggplot2 integrado al lenguaje R.

Resultados y discusión

La magnitud de las tendencias es muy similar calculada por los tres métodos. Lo cual se puede apreciar en la Figura 1.

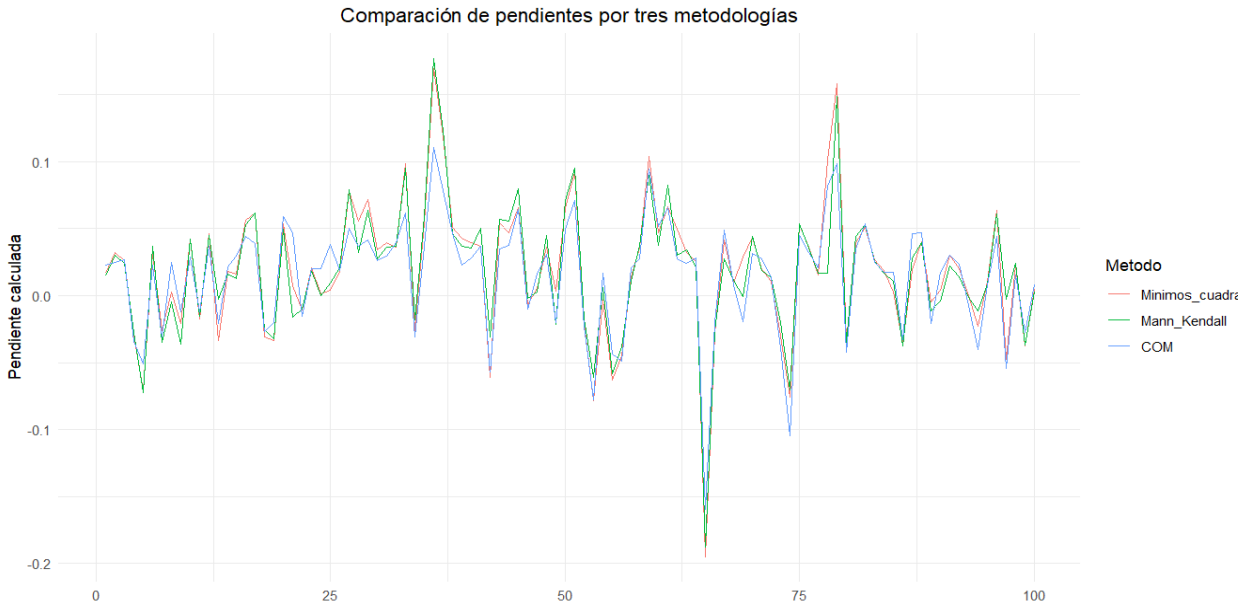


Figura 1. Comparación de las pendientes calculadas por los tres métodos: MK, MC y COM. Se usaron los resultados de 100 estaciones climatológicas de las 1823, solo con fines de ilustrar visualmente la semejanza que hay en ellos.

Cada una de las 1823 estaciones climatológicas distribuidas en todo el territorio mexicano, al aplicar las tres metodologías arrojó los resultados que se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Número estaciones positivas, negativas y neutras con los tres métodos usados.

	MK	MC	COM
Positiva	922	832	1121
Negativa	375	350	556
Neutral	526	641	146
Total	1823	1823	1823

En el cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos al comparar el método MK con el MC. En donde se puede apreciar que 922 estaciones positivas que se obtuvieron con el método MK, se distribuyen en 804 positivas y 118 neutrales por el método MC. Lo cual es una gran aproximación. Algo similar sucede con las 375 estaciones negativas del método MK.

Cuadro 2. Comportamiento de las tendencias con el método MC dentro de cada tipo de tendencia por el método MK

MK	MC	Número de Estaciones	Número de Estaciones
Positiva	Positiva	804	922
Positiva	Neutral	118	
Negativa	Negativa	320	375
Negativa	Neutral	55	
Neutral	Neutral	468	526
Neutral	Positiva	28	
Neutral	Negativa	30	
Total		1823	1823

En el cuadro 3. Se presentan los resultados obtenidos al comparar el método MK con el COM.. En donde se puede apreciar que 922 estaciones positivas que se obtuvieron con el método MK, se dividen en 909 positivas y 2 negativas y 11 neutrales, por el método COM. Se puede apreciar una mayor aproximación que la comparación del cuadro anterior. Algo similar sucede con las 375 estaciones negativas del método MK.

Cuadro 3. Comportamiento de las tendencias con el método COM dentro de cada tipo de tendencia por el método MK.

MK	COM	Número de Estaciones	Número de Estaciones
Positiva	Positiva	909	922
Positiva	Negativa	2	
Positiva	Neutral	11	
Negative	Negativa	364	375
Negative	Positiva	4	
Negative	Neutral	7	
Neutral	Neutral	128	526
Neutral	Positiva	208	
Neutral	Negativa	190	
Total		1823	1823

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos. Se pueden enumerar las siguientes conclusiones:

No existe una diferencia significativa entre las tendencias calculadas por los tres métodos usados.

Existe una mayor aproximación entre los métodos MK y COM que entre los métodos MK y MC.

El método COM tiene una ligera tendencia a detectar más positivos que el MK.

Referencias

Iyeme, E. E., Ekah, U. J., Njok, A. O., Agbo, E. P., & Offorson, G. C. (2024). Trend Analysis of Climate Change across Nigeria: A Mann-Kendall and Sen's Approach. Archives of Current Research International. https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i11985

Liu, J., Yuan, X., Lu, M., & Li, Y. (2024). Analysis of spatiotemporal characteristics of precipitation at different levels in Beijing based on Mann–Kendall test and wavelet analysis. Water Science & Technology: Water Supply, 24(9), 3208–3225. https://doi.org/10.2166/ws.2024.204

Marsick, A., André, H., Khelf, I., Leclere, Q., & Antoni, J. (2024). Benefits of Mann–Kendall trend analysis for vibration-based condition monitoring. Mechanical Systems and Signal Processing. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2024.111486

Saplıoğlu, K. (2024). Mann-Kendall Trend Testi ile Yenilikçi Yöntemlerin Kıyaslanması: Beşkonak Aylık Akım Verileri Örneği. Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology. https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1487245

Yıldız, M. B., Di Nunno, F., Durin, B., Pham, Q. B., De Marinis, G., & Granata, F. (2024). A Combined Seasonal Mann–Kendall and Innovative Approach for the Trend Analysis of Streamflow Rate in Two Croatian Rivers. Water. https://doi.org/10.3390/w16101422

HERPETOFAUNA ASOCIADA AL MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO AL SURESTE DE MAPIMÍ, DURANGO.

Mayra Guadalupe Campos-Calzada[1*], Mariela Bernal-Rentería[1], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1], Mayela Rodríguez-González[2], Gonzalo Hernández-Ibarra[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Gómez Palacio - Chihuahua. CP 35230 Bermejillo, Durango. [2]Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM). CP. 03330 CDMX. *Autor de correspondencia: calzadamayra393@gmail.com

Introducción

México es uno de los países con mayor diversidad de herpetofauna y un alto porcentaje de endemismo, por lo que el conocimiento de estas especies es de gran relevancia, ya que son componentes esenciales para el correcto funcionamiento de los ecosistemas (Cadena-Rico et al., 2020). Los anfibios y reptiles forman parte indispensable de las redes tróficas, además ocupan un papel importante como depredadores y presas, lo que permite que sus poblaciones se mantengan en equilibrio, además de contribuir al equilibrio de otros grupos de vertebrados e invertebrados con los que coexisten (Johnson et al., 2017). A nivel mundial, México es considerado entre los primeros lugares de diversidad de anfibios y reptiles, derivado de su posición geográfica, que junto a su variada topografía y ecosistemas generan un recambio en la riqueza de la herpetofauna a lo largo de todo su territorio (Ochoa-Ochoa et al., 2012).

En el caso de los reptiles, el 58.1 % de las especies que se distribuyen en México son endémicas, mientras que el 67.8 % de las especies de anfibios sólo se pueden encontrar en nuestro país (Johnson et al., 2017). La herpetofauna mexicana representa uno de los elementos más notables de la biodiversidad, debido a que concentra una elevada riqueza de especies, pero sobre todo por sus endemismos. Ambos grupos están seriamente amenazados, principalmente por la pérdida y fragmentación del hábitat derivadas de las actividades humanas (Domínguez-Vega, 2016).

Particularmente, la herpetofauna en la región del sureste de Mapimí, Durango es un componente importante de la biodiversidad regional, sin embargo, existe una falta de información sobre la diversidad y distribución de las especies de reptiles y anfibios en la zona. Esto puede obstaculizar la elaboración de propuestas o estrategias efectivas para el conocimiento, conservación, aprovechamiento y manejo de estas especies, por lo que puede tener implicaciones negativas para la presencia o supervivencia de estas y el equilibrio de los componentes biológicos de los ecosistemas. Por tanto, resulta relevante identificar las especies de reptiles y anfibios asociados al matorral desértico micrófilo en el sureste de Mapimí, Durango y proporcionar información valiosa sobre la biodiversidad y ecología de la zona.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la región sureste del municipio de Mapimí, del estado de Durango, México. El clima del área corresponde a muy árido, semicálido con lluvias en verano y de amplitud térmica extremosa. La precipitación promedio anual es de 319.7 mm. El promedio de temperatura máxima mensual es de 29.0 °C y la temperatura mínima mensual media es de 11.8 °C (SMN, 2020). La vegetación de la zona está integrada en su mayor parte por diferentes comunidades de matorral desértico micrófilo, el cual es un tipo de vegetación que se caracteriza por la dominancia de especies tipo arbustivo y con foliolos pequeños en las hojas.

El muestreo se desarrolló durante el 2024, en el sureste de Mapimí, Durango; se efectuaron muestreos por la mañana (08:00-11:00 h) y tarde-noche (17:00-20:00 h). Se utilizó el método de muestreo por transectos (Brambila-Navarrete, 2006); la técnica de observación de herpetofauna fue la de conteo visual (Zuria et al., 2019). Se establecieron 20 transectos frecuentados en 3 ocasiones, cada uno fue de 3 km de longitud por 20 m de ancho.

Cada observación fue registrada y fotografiada con cámaras compactas digitales (Nikon Coolpix P1000, P950 y B500), posteriormente los individuos fueron identificados con el apoyo de la base de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB) (CONABIO, 2025a), a través de guías para la identificación de anfibios y reptiles (Herbert-Howell, 2015; González-Hernández et al., 2021) y mediante las plataformas en línea iNaturalistMX (CONABIO, 2025b) y EncicloVida (CONABIO, 2025c). Se utilizó el Software Microsoft Excel© 2023 para ordenar especies, describir y graficar los órdenes, familias y del comportamiento alimentación, hábitat y distribución de los individuos registrados.

Resultados y discusión

Se registraron 31 especies pertenecientes a las clases Amphibia y Reptilia, integradas en tres órdenes y 13 familias de las cuales tres representan a los anfibios distribuidas en cuatro géneros y cinco especies; y 10 corresponden a los reptiles distribuidas en 20 géneros y 26 especies.
El orden más representado fue Squamata con el 77% al tener 24 especies, seguido por Anura con el 16% correspondiente a cinco especies y Testudines con el 7% con dos especies (Figura 1).

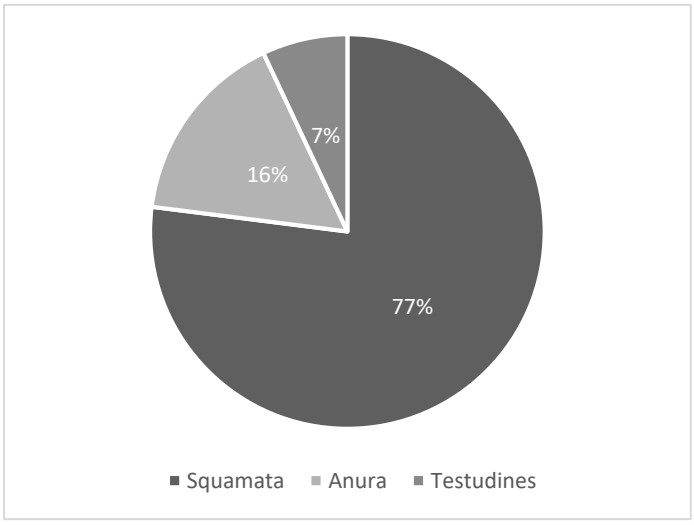


Figura 1. Porcentaje de especies de herpetofauna por orden taxonómico.

Con respecto al estatus de conservación, según la normatividad mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) seis especies se encuentran en protección especial (cinco reptiles y un anfibio), dos especies en estatus de amenazadas (*Masticophis flagellum* y *Uta stansburiana*) y una especie en peligro de extinción (*Gopherus flavomarginatus*) (Figura 2).

De acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza el 87% de las especies enlistadas se consideran de preocupación menor (LC), 3% (una especie) se encuentra en peligro crítico (CR), es decir presenta altas posibilidades de extinción, y el 10% no cuenta con información adecuada para hacer una evaluación (DD: datos insuficientes), directa o indirecta, de su riesgo de extinción basándose en la distribución y/o condición de la población.

Las especies enlistadas en la NOM-059 son en su mayoría reptiles, ya que son más vulnerables a la presión antropogénica al ser consideradas especies nocivas o dañinas.

Consecuentemente, los datos sugieren que la herpetofauna presente en el matorral desértico micrófilo al sureste del municipio de Mapimí, Durango se considera de baja preocupación de conservación a nivel global, pero a nivel nacional, existe una mayor preocupación por la conservación.

Figura 2. Especies de herpetofauna enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. A: *Crotalus molossus ssp. Nigrescens*, B: *Crotalus atrox*, C: *Crotalus scutulatus*, D: *Masticophis flagellum*, E: *Heterodon kennerlyi*, F: *Hypsiglena jani*, G: *Uta stansburiana*, H: *Gopherus flavomarginatus*, I: *Spea multiplicata*.

En cuanto a la alimentación, el 45% (14 especies) de la herpetofauna registrada se alimentan de insectos, ocho especies son carnívoras, ocho son omnívoras y solo tres especies son herbívoras (Figura 3). Los hábitos alimentarios de los anfibios y reptiles se conocen de forma general. Los anfibios son insectívoros y los reptiles tienen hábitos de alimentación más diversos; las tortugas terrestres e iguanas son herbívoras, las lagartijas son insectívoras, y las serpientes y tortugas marinas son carnívoras. Algunas especies pueden ser consideradas omnívoras al alimentarse de individuos de su misma especie, huevos de aves, insectos y especies vegetales (Ramírez-Bautista y García, 2002).

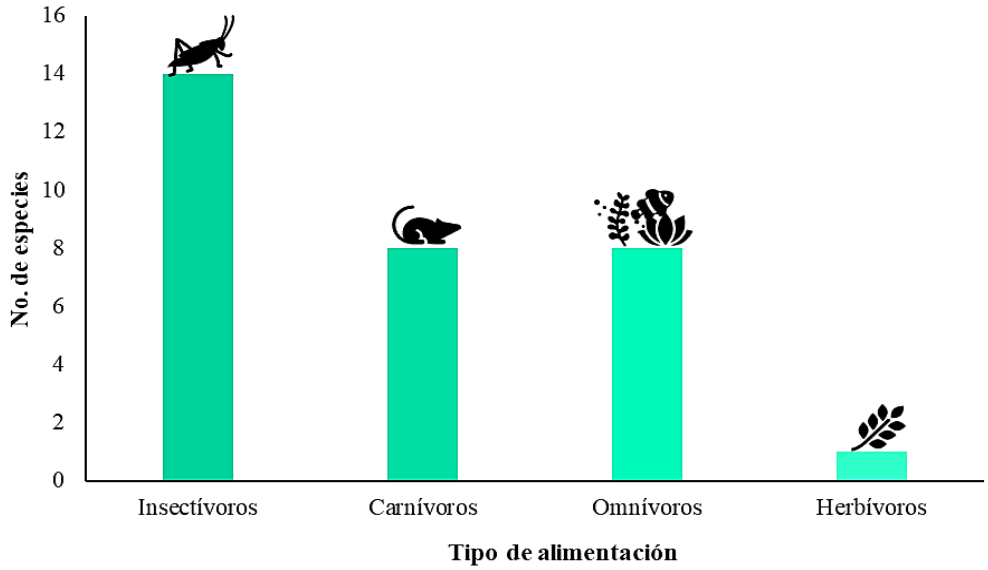


Figura 3. Número de especies de herpetofauna por tipo de alimentación.

Regularmente se realizan estudios sobre herpetofauna ubicados en área naturales protegidas dejando de lado posibles estudios en áreas de influencia, zonas agrícolas o mosaicos de vegetación intercalados en zonas sin importancia de conservación. Por lo cual, resulta relevante continuar realizando estudios sobre la presencia, distribución y ecología de las especies presentes en diversas regiones.

Conclusiones

Se registraron cinco especies de anfibios y 26 especies de reptiles en el matorral desértico micrófilo al sur este de Mapimí Durango, con una diversidad de tres órdenes, 13 familias y 24 géneros. El número de especies registradas, así como el porcentaje de especies enlistadas en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010 señalan la relevancia de esta región como hábitat para los anfibios y reptiles de Mapimí, Durango.

Este estudio contribuye al conocimiento de la herpetofauna asociada al ecosistema de matorral desértico en zonas áridas, promoviendo la realización de nuevos estudios sobre abundancia, comportamientos de alimentación, condiciones del ecosistema, preferencias de hábitat y programas de conservación.

Referencias

Brambila-Navarrete, J. (2006). Métodos y técnicas de manejo y conservación para anfibios y reptiles en campo: Análisis, evaluación y aprovechamiento sustentable en México. SEMARNAT. 1-73.

Cadena-Rico, S., Leyte-Manrique, A., & Hernández-Salinas, U. (2020). Herpetofauna de la cuenca baja del río Temascatio, Irapuato, Guanajuato, México. *Acta zoológica mexicana*, *36*.

CONABIO. (2025a). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. https://www.snib.mx/

CONABIO. (2025b). Plataforma web EncicloVida. https://enciclovida.mx/

CONABIO. (2025c). Plataforma web iNaturalistMX. https://mexico.inaturalist.org/

Domínguez-Vega, H., & Zuria, I. (2016). Ecología urbana y herpetofauna en México. *Herreriana*, *12*, 31-34.

González-Hernández, A. J. X., Garza-Castro, J. M., & Balderas-Valdivia, C. J. (2021). Manual de identificación de la herpetofauna de México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Herbert-Howell, C. (2015). Reptiles and Amphibians of North America. National Geographic Pocket Guide Series. National Geographic Society.

Johnson, J. D., Wilson, L. D., Mata-Silva, V., García-Padilla, E., & DeSantis, D. L. (2017). The endemic herpetofauna of Mexico: organisms of global significance in severe peril. *Mesoamerican Herpetology*, *4*(3), 544-620.

Ochoa-Ochoa, L. M., Rodríguez, P., Mora, F., Flores-Villela, O., & Whittaker, R. J. (2012). Climate change and amphibian diversity patterns in Mexico. *Biological Conservation*, *150*(1), 94-102.

Ramírez-Bautista, A., & García, A. (2002). Diversidad de la herpetofauna de la región de Chamela. Historia natural de Chamela, 251-263.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2020). Normales climatológicas por Estado. Comisión Nacional del Agua. México D. F. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado

Zuria, I., Olvera- Ramírez, A.M. & Ramírez- Bastida, P. (2019). *Manual de técnicas para el estudio de fauna nativa en ambientes urbanos* (pp. 77- 100). Universidad Autónoma de Querétaro. https://fcn.uaq.mx/docs/pdfs/Manual-Tecnicas-para-el-Estudio-de-Fauna-Nativa-2019.pdf

DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO SOBRE LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTAR LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN PARA LA TRAZABILIDAD EN LA APICULTURA DE LA LAGUNA, DURANGO.

Gonzalo Abelino-Torres[1], María Jesica Zavala-Pineda[2*], José Juan Escobar-Pedraza[3], María Guadalupe García Rosas[4]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Gómez Palacio Chihuahua Bermejillo, Durango, México C.P. 35230. [2]Universidad Politécnica de Texcoco (UPTex). Carretera Federal los Reyes - Texcoco 14.200 San Miguel Coatlinchán, Texcoco de Mora, México C.P. 56250. [3]Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Representación en la Región Lagunera. Chihuahua 269 oriente, Centro, Durango. C.P. 35150 [4]Presidenta del Comité del Sistema Producto Apícola en La Laguna, Blvd. Fundadores 7643, Ampliación Mirasierra, Saltillo, Coahuila C.P. 25294. *Autor de correspondencia: maria.zavala@uptex.edu.mx

Introducción

La apicultura es estratégica para la agricultura y el medio ambiente, pues las abejas polinizan 87 % de las plantas con flores (SADER 2021). México ocupa el noveno lugar mundial en producción y el décimo tercero en exportación de miel, con principales destinos en Europa y Norteamérica (Secretaría de Economía, 2023). Los mayores productores son Yucatán, Campeche, Chiapas, Veracruz y Jalisco (Chan et al., 2018), aunque el sector enfrenta retos de certificación, cambio climático e inseguridad (Navarrete, 2024).

Durango se ubica en la Zona Norte del país como décimo primer productor nacional (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA], 2021). En la Región de la Laguna, la miel de mezquite destaca por su alta valoración sensorial y su potencial para la diferenciación comercial (INIFAP, 2023). Sin embargo, la apicultura local presenta limitaciones técnicas y comerciales: baja tecnología, falta de campañas zoosanitarias, degradación de flora, dependencia de intermediarios y ausencia de canales de comercialización (SADER Región Lagunera, 2013). Además, problemas de plaguicidas en miel (Vargas-Valero et al., 2020) y la competencia desleal de miel adulterada importada (Rábago, 2024).

En este contexto, la trazabilidad resulta esencial para garantizar la autenticidad y calidad de los productos apícolas (Servicio Nacional de Sanidad, 2019). No obstante, su aplicación enfrenta limitaciones prácticas y de capacitación. Frente a ello, la blockchain emerge como una herramienta que puede fortalecer la trazabilidad, certificar el origen y transparentar la cadena de valor de la miel.

En la apicultura, la aplicación de blockchain permitiría registrar cada etapa de la cadena de valor de la miel —producción, acopio, envasado y comercialización— asegurando su origen, floración, autenticidad y calidad, lo que aportaría valor agregado frente a la competencia desleal de productos adulterados. Su potencial radica en diferenciar las mieles regionales, generar confianza en los consumidores e incrementar la competitividad del sector (Chandan et al., 2023). Además, ofrece transparencia, seguridad y eficiencia en cadenas agroalimentarias, con aplicaciones en rastreo, certificación, financiamiento y pagos (Chandan et al., 2023).

Aunque persisten retos vinculados con estandarización, costos y consumo energético (CEPAL, 2021), ya se tiene registro de casos exitosos en América Latina, como Agros en Perú y Agrotoken en Argentina, que muestran su potencial para empoderar a pequeños productores y fortalecer cadenas de valor agroalimentarias (Grasso, 2022).

Ante la falta de estudios sobre la cadena apícola en La Laguna Durango esta investigación plantea un diagnóstico participativo para identificar desafíos estructurales y explorar la viabilidad de implementar un sistema de trazabilidad basado en blockchain. La pregunta que guía el estudio es: ¿Qué barreras y oportunidades existen para implementar blockchain en la apicultura de La Laguna Durango? El propósito es fortalecer la competitividad y valor agregado de la miel, así como proponer estrategias que reduzcan la brecha tecnológica y promuevan un desarrollo sostenible en la región.

Materiales y métodos

La información de esta investigación se recabó mediante un diagnóstico rural participativo. El Diagnóstico Rural Participativo (DRP) es una metodología que permite a las comunidades analizar su propia realidad, reflexionar sobre sus problemas y proponer soluciones. Su objetivo no es solo recopilar información, sino fortalecer la autogestión y las capacidades de planificación y acción de los participantes, con mínima intervención del facilitador(Expósito, 2003). Para la realización del diagnóstico, durante el periodo del 05 de julio al 09 de agosto, se llevaron a cabo reuniones presenciales y reuniones virtuales, con personas apicultoras de Gómez Palacio, Tlahualilo y Lerdo, con una participación de 5, 4 y 3 apicultores respectivamente así como con un representante del CADER de Gómez Palacio y con la presidenta del Comité del Sistema Producto Apícola en La Región de la Laguna; en dichas sesiones se discutieron las problemáticas, limitaciones y oportunidades de la actividad apícola en la región mediante la técnica lluvia de ideas (Brainstorming o Tormenta de ideas). Mediante esta técnica grupal se buscó generar propuestas de manera rápida y creativa en un ambiente abierto. El propósito de su implementación fue obtener información relevante mediante el trabajo colectivo en las sesiones de diálogo con las personas apicultoras. Esta dinámica permitió obtener información de primera mano, favoreciendo la construcción de un análisis compartido sobre la situación actual del sector.

Resultados y discusión

El análisis de la problemática apícola, construido a partir de un diagnóstico participativo con los actores clave, la revisión de literatura especializada y fuentes oficiales, identificó un conjunto de factores interrelacionados que explican la baja rentabilidad del sector. Estos hallazgos se organizan en cinco dimensiones principales.

Dimensión comercial y de mercado. El diagnóstico mostró que los productores dependen de intermediarios, con limitada capacidad para fijar precios y sin estrategias de comercialización. También se observó falta de diferenciación y valor agregado en las mieles regionales, lo que impide capitalizar atributos apreciados por los consumidores. Estos hallazgos coinciden con Rodríguez (2005) y Padrón Carmona (2015), quienes destacan que la debilidad comercial restringe la competitividad, así como con Rodríguez, Rodrigues, Sotomayor y Wander (2019), quienes subrayan la necesidad de visibilizar atributos territoriales. En la misma línea, Porter (1985) propone la diferenciación como vía de ventaja competitiva, lo que en la apicultura podría lograrse mediante certificación y trazabilidad.

Dimensión normativa e institucional. Se identificó una normatividad insuficiente y fragmentada; aunque existen disposiciones como la NOM-004-SAG/GAN-2018, no hay una ley nacional integral. Además, se constató la escasez de programas de capacitación y la ausencia de una visión territorial bajo esquemas de gobernanza. Estos hallazgos se relacionan con Rodríguez, Rodríguez y Sotomayor (2019), quienes recomiendan marcos regulatorios que equilibren conservación y competitividad, y con Mouteira, Basso y Hang (2022), que evidencian en Argentina la importancia de planes nacionales integrales en sanidad, calidad y comercialización.

Dimensión de mercado y comportamiento del consumidor. Las personas apicultoras enfrentan la preferencia de consumidores por jarabes de bajo costo y la competencia desleal de miel adulterada, lo que ocasiona pérdidas económicas. La limitada información disponible refuerza decisiones de compra basadas en precio. Según Stiglitz (2000), la falta de información condiciona las decisiones de consumo y limita la valorización de productos con atributos diferenciadores.

Dimensión de financiamiento y capacidades productivas. El diagnóstico evidenció restricciones en el acceso a crédito y ausencia de instrumentos financieros especializados. A esto se suma un déficit de capacitación financiera y administrativa, que limita la inversión y la expansión productiva. Estos hallazgos coinciden con INEGI (2023) y González et al. (2021), quienes reportan que menos del 14 % de las unidades pecuarias accede a crédito formal, proporción aún menor en la apicultura debido a su percepción de alto riesgo.

Dimensión organizativa y de articulación gremial. Se observó baja integración entre productores, falta de reconocimiento gremial y problemas de acción colectiva, como desconfianza y escasa coordinación. De acuerdo con INEGI (2023), menos del 30 % de las unidades apícolas participa en organizaciones formales. Estos hallazgos coinciden con la literatura sobre acción colectiva y capital social, que enfatiza la importancia de asociaciones fuertes para la cooperación y defensa de intereses comunes (Bourdieu, 1986; Olson, 2002).

En conjunto, estas dimensiones generan un ciclo de descapitalización, limitado acceso a mercados especializados, pérdida de interés en la actividad y disminución de competitividad, comprometiendo la sostenibilidad de la apicultura. La blockchain, en este contexto, se perfila como una alternativa para revertir estas tendencias mediante mayor transparencia, diferenciación y confianza en el producto.

Conclusiones

El diagnóstico participativo realizado permitió identificar un conjunto de factores interrelacionados que condicionan la baja rentabilidad y limitan la competitividad de la actividad. La ausencia de estrategias de comercialización, la fragmentación normativa, el escaso acceso a financiamiento, la débil articulación gremial y las preferencias de consumo basadas en precio sobre valor, configuran un escenario estructural que dificulta la sostenibilidad de la apicultura en la región.
Frente a este contexto, la implementación de un sistema de trazabilidad basado en tecnología blockchain se presenta como una alternativa viable para fortalecer la transparencia, garantizar la autenticidad de la miel de mezquite –reconocida por su calidad sensorial– y acceder a mercados diferenciados. Sin embargo, su adopción exitosa requiere superar desafíos previos, tales como la capacitación técnica de los productores, el fortalecimiento organizacional, el desarrollo de infraestructura digital básica y la articulación de políticas públicas que fomenten la innovación tecnológica en el sector rural.

La viabilidad de la blockchain no depende únicamente de aspectos tecnológicos, sino también de la capacidad de los actores locales para apropiarse de la herramienta y utilizarla como un mecanismo de valorización colectiva. En este sentido, se recomienda avanzar en pilotos escalables, con acompañamiento técnico continuo y en alianza con instituciones académicas y agentes de la cadena de valor, para asegurar que la tecnología se traduzca en mejores condiciones comerciales y productivas para las personas apicultoras. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de abordar la problemática apícola desde un enfoque sistémico, donde la innovación tecnológica se integre con estrategias de desarrollo territorial, comercialización diferenciada y fortalecimiento institucional.

Referencias

Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. En J. Richardson (Ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241–258). New York, NY: Greenwood. https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_9155/objava_66783/fajlovi/Bourdieu%20The%20Forms%20of%20Capital%20_1_.pdf

CEPAL. (2021). Oportunidades y desafíos para la implementación del blockchain en el ámbito logístico de América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/012145c2-620c-4463-8bfe-7a4b4ff92d60/content

Chan, C. J. R., Caamal, C. I., Pat, F. V. G., Martínez, L. D., & Pérez, F. A. (2018). Caracterización social y económica de la producción de miel de abeja en el norte del estado de campeche, México. Textual, 72, 103–124. https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.72.007

Chandan, A., John, M., & Potdar, V. (2023). Achieving UN SDGs in food supply chain using blockchain technology. Sustainability (Switzerland), 15(3). https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15032109

Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [DGSIAP]. (2024, August 28). Avance mensual de la producción pecuaria. https://nube.agricultura.gob.mx/avance_pecuario/

Expósito Verdejo, Miguel. (2003). Diagnóstico rural participativo : una guía práctica (Centro Cultural Poveda, Ed.). Centro Cultural Poveda, Proyecto Comunicación y Didáctica. https://biblioteca.clacso.edu.ar/Republica_Dominicana/ccp/20120731033315/diagrural.pdf

González, J. M. T., Rivera, J. C. T., & Novoa, E. G. (2021). La apicultura mexicana: Caso Jalisco, retos, problemas y oportunidades. En C. Alvarado y A. Vázquez (coords.), *Producción y valor de la miel en Jalisco: mercado, actores y oportunidades*, (pp. 21-45). CIATEJ. https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_67aa478263b75.pdf#page=21

Grasso, D. I. (2022). Casos de uso de blockchain en las cadenas de valor agropecuarias. América Latina y el Caribe (Banco Interamericano de Desarrollo, Ed.; Primera). Banco Interamericano de Desarrollo. https://publications.iadb.org/es/casos-de-uso-de-blockchain-en-las-cadenas-de-valor-agropecuarias-america-latina-y-el-caribe

INIFAP. (2023). Producción de miel artesanal de la floración de mezquite y pinabete en la Comarca Lagunera. https://www.gob.mx/inifap/articulos/produccion-de-miel-artesanal-de-la-floracion-de-mezquite-y-pinabete-en-la-comarca-lagunera

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Censo Agropecuario 2022. Resultados definitivos. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdNAL.pdf

Mouteira, M. C., Basso, I. M. y Hang, G. M. (2022). Las políticas públicas apícolas del Estado argentino. Papel Político, 26. https://doi.org/10.11144/Javeriana.papo26.ppae

Navarrete, F. (2024, August 26). Importación de mieles chinas deja 'amargo sabor' a mexicanos. El Financiero. https://www.elfinanciero.com.mx/empresas-ESG/2024/08/26/importar-mieles-chinas-pone-en-riesgo-a-mexicanos/

Olson, M. (2002). *The logic of collective action: Public goods and the theory of groups*. Cambridge, MA: Harvard University Press. The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups

Padrón Carmona, L. (2015). La orientación al marketing como vía para fortalecer la gestión comercial de la empresa cooperativa. Cooperativismo y Desarrollo, 3(2), 160-167. http://coodes.upr.edu.cu/index.php/coodes/article/view/106

Porter, M. (1985). Competitive advantage: Creating and ustaining superior performance. New York. Free press. The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance - Book - Faculty & Research - Harvard Business School

Rábago, I. (2024). Apicultores en La Laguna afirman que el reto actual más grande es la conservación de las abejas. Milenio. https://petroglifosrevistacritica.org.ve/revista/la-blockchain-en-la-agricultura-sinopsis-de-los-beneficios-y-retos-en-su-apropiacion/

Rodríguez, G. (2005). Agronegocios: de la Comercialización al Marketing. XI Jornadas Nacionales de la Empresa Agropecuaria. Tandil á Argentina. AGRONEGOCIOS_de_la_comercializacion_al_MarketingNUEVO-libre.pdf

Rodríguez, A. G., Rodrigues, M. D. S., y Sotomayor, O. (2019). Hacia una bioeconomía sostenible en América Latina y el Caribe: elementos para una visión regional. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f23d8b68-db93-4013-8556-18ab4061d01e/content

Rodríguez, A. G., Rodrigues, M. D. S., Sotomayor, O. y Wander, P. (2019). Innovación, agregación de valor y diferenciación: estrategias para el sector agroalimentario de América Latina y el Caribe en un mundo complejo. 2030 - Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe, No. 13. Santiago de Chile. FAO. 15 p. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/94184732-cef5-4630-940c-c3982c47eb17/content

SADER Región Lagunera. (2013). Se impulsa en la Región Lagunera integración del sistema producto apícola. https://www.gob.mx/agricultura%7Cregionlagunera/articulos/se-impulsa-en-la-region-lagunera-integracion-del-sistema-producto-apicola

SADER. (2021). Producción mundial de miel. https://atlas-abejas.agricultura.gob.mx/cap5.html

Secretaría de Economía. (2023). Miel natural. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/natural-honey

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2019). Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de miel. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859834/Manual_de_BPP_en_la_Producci_n_de_Miel_2019.pdf

Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Seguridad Agroalimentaria (SENASICA). (2021). Análisis estratégico de riesgos sanitarios. 14PANVarroasis03-06-20(003)_5973a659-afba-44ca-9784-a3f123c30121_5973a659-afba-44ca-9784-a3f123c30121.pdf

Stiglitz, J. E. (200*0).* The Contributions of the Economics of Information to Twentieth Century Economics. *The Quarterly Journal of Economics*, 115(4), 1441–1478. https://doi.org/10.1162/003355300555015

Vargas-Valero, A., Reyes-Carrillo, J., Moreno-Reséndez, A., Véliz-Deras, F., Gaspar-Ramírez, O., & Rodríguez-Martínez, R. (2020). Residuos de plaguicidas en miel y cera de colonias de abejas de La Comarca Lagunera. Abanico Veterinario, 10(1), 1. https://doi.org/https://doi.org/10.21929/abavet2020.7

CARACTERIZACIÓN HAPLOTÍPICA DEL GEN MITOCONDRIAL COI EN EJEMPLARES DE LA TORTUGA DEL BOLSÓN (*Gopherus flavomarginatus*) EN CAUTIVERIO

Sara Isabel Valenzuela-Ceballos[1]*; Adela Ivone Pulido-Nava[2]; Rafael Carrillo-Flores[2]; Gamaliel Castañeda-Gaytán[1]; Cristóbal Hernández-Bautista[2]; Juan Germán Acosta-Gutiérrez[2]

[1]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad s/n, Filadelfia, Gómez Palacio, Durango. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio-Chihuahua Km 40, Bermejillo, Durango. Autor de correspondencia: valenzuela.c.sara@gmail.com

Introducción

La tortuga del Bolsón (*Gopherus flavomarginatus*) es una especie terrestre, endémica de México, catalogada como en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT 2010) y considerada como vulnerable en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. La distribución actual de la especie se concentra en una parte de la subprovincia del Desierto Chihuahuense en los estados de Chihuahua, Durango y Coahuila (Morafka et al., 1981), esta distribución, representa apenas el 10% de su distribución histórica y la evidencia más reciente señala que la extinción inducida por el hombre es la explicación más plausible para su desplome (Morafka, 1988). Los individuos de *G. flavomarginatus* se encuentran en colonias pequeñas y presentan una fragmentación elevada (Aguirre et al., 1997). Por lo que en años recientes, se han propuesto varias acciones para contribuir a su conservación. Sin embargo, uno de los grandes retos de la biología de la conservación, ha sido detectar eficientemente a las unidades que pueden servir con fines de conservación en las que se incluyan tanto aspectos ecológicos como evolutivos para asegurar la persistencia de las especies.

Los programas de reproducción de especies en cautiverio se han presentado como una opción viable para la recuperación de especies en riesgo. La reproducción controlada en cautiverio ha mostrado buenos resultados en otras especies (p.e. la tortuga de las Galápagos *Chelonoidis hoodensis,* Milinkovitch et al., 2012). Es por esto que las poblaciones en cautiverio se consideran buenos candidatos para iniciar los programas de reproducción, siempre y cuando se encuentren en buenas condiciones de salud y no estén completamente emparentados (Edwards & Berry, 2013). En 1997 se estableció una colonia en cautiverio de *G. flavomarginatus* dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chapingo. Desde su establecimiento se ha considerado la posibilidad de repoblar las colonias silvestres con las crías provenientes de esta colonia (Castro-Franco et al., 2007), no obstante, se debe considerar la diversidad genética y la pureza de los ejemplares previo al planteamiento de un programa de reproducción y liberación. En el presente trabajo se analiza a los ejemplares adultos de la colonia en cautiverio para establecer la línea materna y descartar posibles ejemplares que pertenezcan a otra especie.

Materiales y métodos

La recolección de muestras se realizó en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) “Reserva Biológica de Conservación de Tortuga del Desierto” con número de registro SEMARNAT-UMA-IN-0447-DGO que se encuentra localizada en las instalaciones de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma de Chapingo. A cada individuo se le extrajeron 0.5 ml de sangre de la vena subcarapacial (Hernandez-Divers, 2002) y se vertieron a dos tubos de 1.5 ml con 900µl de buffer de lisis. Una vez tomada la muestra, los animales fueron regresados a cada uno de sus terrarios.

El DNA genómico fue obtenido en el Laboratorio de Herpetología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UJED, a través de kit de extracción. Con el fin de evaluar cualitativamente la cantidad y calidad del DNA, se realizó una electroforesis en gel de agarosa al 1%, de cada una de las muestras y se verificó la pureza y concentración de las muestras con el uso de una NanoDrop.

Se utilizó una región del DNA mitocondrial, correspondiente a un fragmento del gen que codifica para la subunidad 1 de la citocromo c oxidasa (COI). La amplificación de los genes se llevó a cabo mediante el método de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), utilizando los cebadores (*primers*) mostrados en el Cuadro 1. Para comprobar la amplificación de los marcadores, los productos de PCR fueron visualizados en geles de agarosa al 1%. Los productos de la PCR purificados fueron enviados al Laboratorio de Secuenciación Genómica de la Universidad Nacional Autónoma de México, para su secuenciación. El ensamble y edición de las secuencias, se llevó a cabo con los programas Pregap 4 y Gap 4, que forman parte del conjunto de programas conocidos como Staden Package (Staden, 1996). Una vez editadas las secuencias, se realizó el alineamiento múltiple de las mismas, mediante el programa Clustal X (Thompson *et al.*, 1997). La edición final de las secuencias alineadas se llevó a cabo mediante el programa Mega 6 (Tamura *et al.* 2013), en el mismo programa se realizó el análisis de distancias pareadas. La determinación de los haplotipos de los genes mitocondriales se llevó a cabo en el programa DNAsp 5.10 (Librado & Rozas, 2009). Para la comprobación de la similitud de las secuencias con la especie *Gopherus flavomarginatus*, se utilizó la herramienta BLAST (basic local alignment search tool) del NCBI.

Cuadro 1. Primers utilizados en el presente estudio.

Gen	Primer	Secuencia (5’ - 3 ’)	Temperatura de alineamiento (°C)
COI	Goph-F	TATACTTRATTTTCGGKGCCT	45 - 48
COI	Goph-R	TAGATGYTGGTATAAGATT	45 - 48

Resultados y discusión

En la UMA se cuenta con 63 ejemplares adultos de tortugas, de los cuales se aisló a tres y se eliminaron del análisis genético por presentar todas las características morfológicas de la especie *Gopherus berlandieri*. De las 60 tortugas restantes se envió un total de 45 muestras a secuenciar, de las cuales ocho salieron con una baja calidad por lo que no se les incluyó en el análisis. Se obtuvo un total de 37 secuencias de 511 pb de longitud, se identificaron dos haplotipos, uno dominante presente en 35 de las 37 secuencias y otro presente en únicamente dos secuencias, Hd: 0.1051 (Figura 1). La diversidad nucleotídica fue de Pi: 0.00021; el número promedio de diferencias nucleotídicas fue de k: 0.10511. El estadístico de Fu's Fs fue de -0.621; la D de Tajima fue de -0.81967 ($P > 0.10$). Estos resultados se corresponden con los encontrados por Ureña Aranda y Espinoza de los Monteros (2012) quienes analizaron individuos en vida libre. Los individuos que contienen el haplotipo menos representado corresponden al individuo 101 y 136 que corresponden a una hembra del encierro sur y un macho del encierro norte respectivamente.

La pérdida de variación genética en las poblaciones debida a eventos de cuellos de botella, es una de las grandes preocupaciones en biología de la conservación. Según la teoría genética, las poblaciones que atraviesan por este tipo de eventos reduccionistas en el número poblacional o eventos que aíslan unas poblaciones de otras, suelen tener una variación genética baja y como consecuencia, tienen un potencial evolutivo más bajo y una menor adecuación a su entorno poniendo en riesgo la subsistencia de las mismas (Sherwin & Moritz, 2000; Frankham *et al.,* 2002).

Además, pueden presentar una susceptibilidad alta a padecer enfermedades o mutaciones (England *et al.,* 2003) derivadas de la mezcla de distintas especies, los individuos analizados presentaron una diversidad baja y de acuerdo al análisis del gen estudiado y la morfología de los mismos, sí corresponden con la especie *Gopherus flavomarginatus*, sin embargo, se recomienda que a futuro se utilicen marcadores moleculares nucleares para realizar el análisis de completo de toda la población en cautiverio, incluyendo a las crías para poder determinar la variación y los efectos de entrecruzamiento en cautiverio con la finalidad de disminuir la perdida de variación genética y evitar problemas asociados a la endogamia.

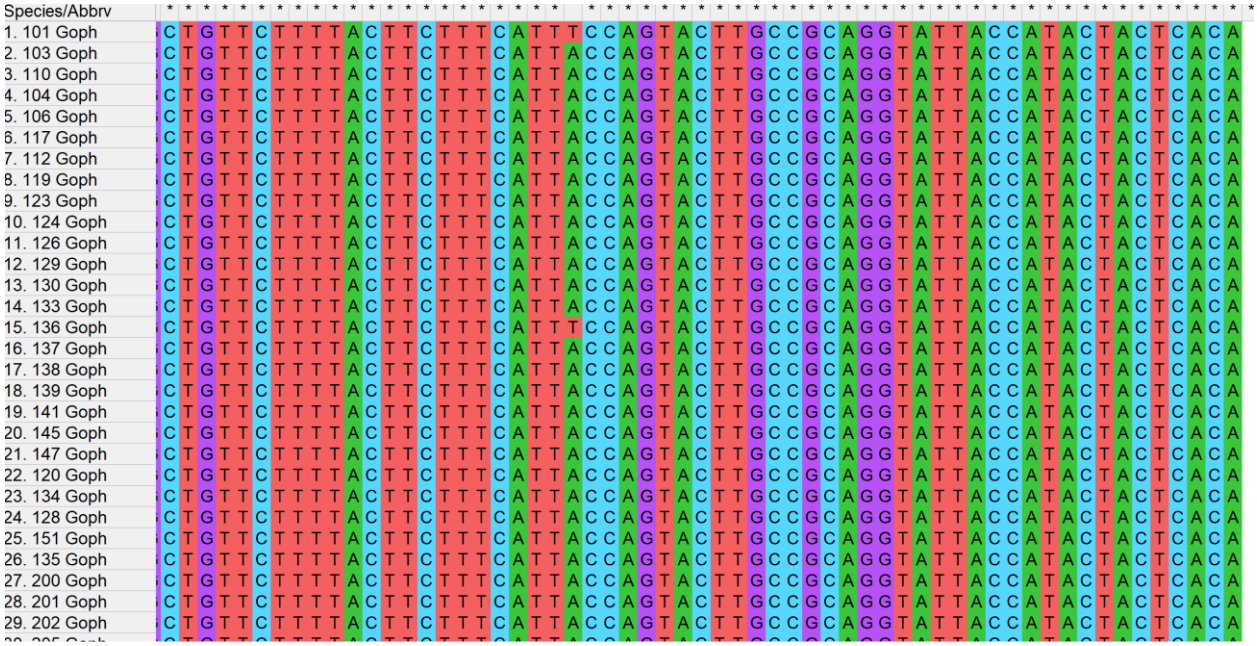


Figura 1. Vista general del alineamiento de secuencias en donde se observan las dos secuencias que presentaron variación

Conclusiones

La diversidad genética del gen COI fue baja, sin embargo, los dos haplotipos encontrados en la colonia en cautiverio coinciden con los encontrados por Ureña-Aranda & Espinoza-de los Monteros (2012) y de acuerdo a la herramienta BLAST (basic local alignment search tool) del NCBI, las 45 muestras corresponden un 100% con la tortuga del bolsón (*Gopherus flavomarginatus*). Para establecer la diversidad genética de acuerdo a marcadores nucleares que describen la herencia tanto materna como paterna, es necesario ampliar el estudio a uso de marcadores tipo microsatélites.

Referencias

Aguirre G., Morafka D. J. & Adest G. A. (1997). Conservation strategies for the Bolson Tortoise, *Gopherus flavomarginatus*, in the Chihuahuan Desert. En: Proceedings: Conservation, Restoration, and Management of Tortoises and Turtles – An International Conference. Van Abbema, J., Ed. New York Turtle and Tortoise Society, 333-338.

Castro-Franco R. C., Herrera J. H. & Cano H. O. (2007). Manejo en cautiverio e incorporación a su hábitat de la tortuga (Gopherus *flavomarginatus*) del bolsón de Mapimí, Durango, México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 6:223-227.

Edwards T. & Berry K. H. (2013). Are captive tortoises a reservoir for conservation? An assessment of genealogical affiliation of captive *Gopherus agassizii* to local, wild populations. Conservation Genetics, 14:649-659.

England P. R., Osler G. H. R., Woodworth L. M., Montgomery M. E., Briscoe D. A. & Frankham R. (2003). Effects of intense versus diffuse population bottlenecks on microsatellite genetic diversity and evolutionary potential. Conservation Genetics, 4:595– 604.

Frankham R., Ballou J. D. & Briscoe D. A. (2002). Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press, Cambridge.

Hernandez-Divers S. M., Hernandez-Divers S. J. & Wyneken J. (2002). Angiographic, anatomic, and clinical technique descriptions of a subcarapacial venipuncture site for chelonians. Journal of Herpetological Medicine and Surgery, 12:32-37.

Librado P. & Rozas J. (2009). DnaSP v5: a software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. Bioinformatics, 25:1451-1452.

Milinkovitch M. C., Kanitz R., Tiedemann R., Tapia W., Llerena F., Caccone A., Gibbs J. P., Powell J. R., Minin V. & Suchard M. (2012). Recovery of a nearly extinct Galápagos Tortoise despite minimal genetic variation. Evolutionary Applications, 6:377-83.

Morafka D. J., Adest G. A., Aguirre G. & Recht M. (1981). The ecology of the Bolson Tortoise, *Gopherus flavomarginatus*. En: Barbault R. y Halffter H. (Eds.) Ecology of the Chihuahuan Desert. Organization of some vertebrate communities. Instituto de Ecología, 8:35-78.

Morafka D.J. (1988). Historical biogeography of the Bolson Tortoise. En: D. J. Morafka and C. J. McCoy (eds.), The Ecogeography of the Mexican Bolson Tortoise (*Gopherus flavomarginatus*): Derivation of its endangered status and recommendations for its conservation. Annals of Carnegie Museum, 57:47-72

Sherwin W. y Moritz C. (2000). Managing and monitoring genetic erosion. Pages 9–34 in Genetics, demography and viability of fragmented populations. A. G. Young y G. M. Clarke, eds. Cambridge University Press, Cambridge.

Staden R. (1996). The Staden sequence analysis package. *Molecular biotechnology*, 5:233-241

Thompson, J.D., Higgins,D.G. & Gibson,T.J. (1994) *Computer Applications in the Biosciences*,10, 19–29.

Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A. & Kumar S. (2013). MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 30:2725-2729.

Ureña-Aranda C. A. & Espinosa de los Monteros A. (2012). The genetic crisis of the Mexican Bolson Tortoise (*Gopherus flavomarginatus*; Testudinidae). *Amphibia-Reptilia*, 33:45-53

RESPUESTA COMÚN DEL CRECIMIENTO RADIAL DE *Pinus pinceana* GORDON A LO LARGO DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL

Judith Reyes-Flores [1]*, Julián Cerano-Paredes[2], Eladio H. Cornejo-Oviedo[1], Juan Ramírez-Méndez[1]

[1]Programa Docente de Postgrado en Maestría en Ciencias en Ingeniería en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. [2]INIFAP CENID-RASPA. Km 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México. *Autor para correspondencia: judithreyesflores@outlook.com

Introducción

El crecimiento radial de los árboles constituye un indicador sensible de las condiciones ambientales y climáticas a lo largo del tiempo, ya que los anillos de crecimiento reflejan la interacción entre la fisiología del árbol y los factores ambientales, especialmente la disponibilidad de agua y la temperatura (Fritts, 1976; Speer, 2010). *Pinus pinceana* Gordon es una especie de pino endémica del noreste de México, distribuida a lo largo de la Sierra Madre Oriental desde Coahuila hasta Hidalgo, y se encuentra catalogada como en peligro de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). La especie se desarrolla principalmente en zonas semiáridas y submontanas, donde la variabilidad hidroclimática puede limitar su crecimiento radial (Santillán-Hernández et al., 2010; Contreras-Mata et al., 2024).

El estudio del ancho de anillo de *P. pinceana* permite analizar la respuesta de sus poblaciones frente a cambios climáticos y episodios de sequía, identificando tanto patrones regionales como respuestas locales diferenciadas. La dendrocronología, mediante técnicas de fechado cruzado y análisis de series temporales, es una herramienta robusta para reconstruir la variabilidad del crecimiento y su relación con forzantes ambientales (Holmes, 1983; Bunn, 2008).

El objetivo de este estudio fue, evaluar si 11 poblaciones de *P. pinceana* a lo largo de la Sierra Madre Oriental comparten un patrón común de crecimiento radial, como respuesta a la variabilidad climática regional.

Materiales y métodos

Área de estudio y colecta de muestras. El área de estudio incluyó 11 sitios naturales de *P. pinceana* distribuidos a lo largo de la Sierra Madre Oriental. En Coahuila se muestrearon Las Norias (NOR) y Palmas Altas (PAL); en Zacatecas, Lomas del Orégano (ORE) y San José de Carbonerillas (CAR); en San Luis Potosí, El Realejo (REA), Núñez (NUN) y La Trinidad (TRI); en Querétaro, Maguey Verde (MAG) y El Tepozán (TEP); y en Hidalgo, El Arenalito (ARE) y San Cristóbal (CRI). Estos sitios abarcan el rango completo de distribución natural de la especie, entre los gradientes latitudinales 26° N y 20° N y altitudinales de 1,500 a 2,300 m s.n.m. (Figura 1A–C). Se recolectaron de 25 a 30 árboles por sitio, priorizando individuos dominantes con fuste recto, apariencia longeva, mínima competencia y ramificación reducida. De cada árbol se extrajeron de 2 a 3 núcleos utilizando un taladro de Pressler (Figura 1 D-H), con el objetivo de maximizar la señal climática registrada en los anillos de crecimiento (Stokes & Smiley, 1996; Cerano-Paredes et al., 2022).

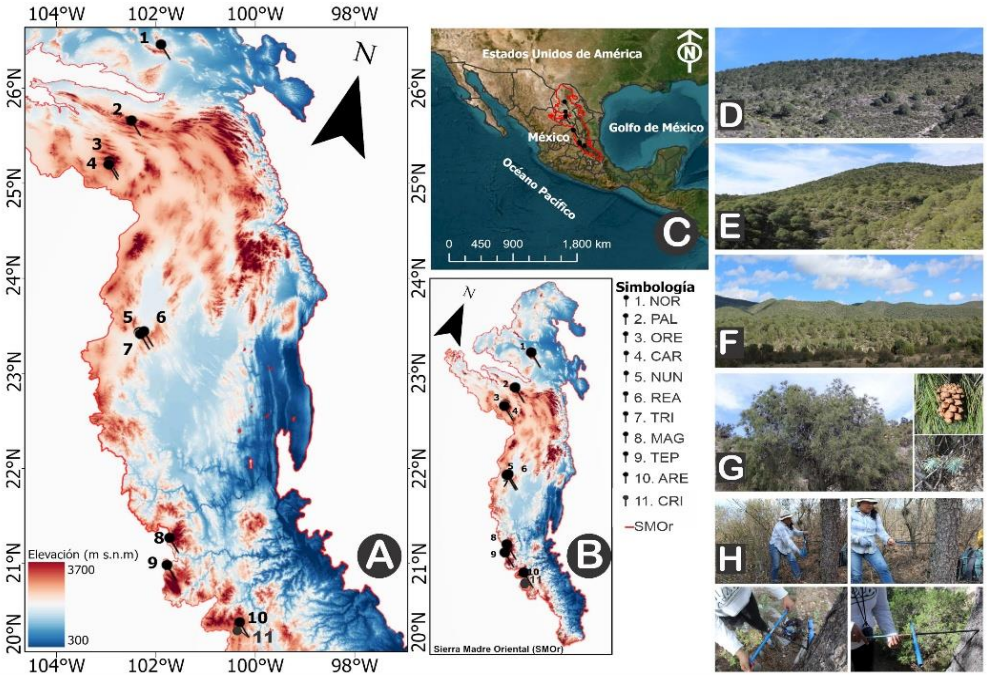


Figura 2. Ubicación de los sitios de estudio en la Sierra Madre Oriental (A-C). Condiciones físicas de los rodales y características de *Pinus pinceana* Gordo (D-G). Proceso de extracción de núcleos de crecimiento (H).

Análisis dendrocronológico. Los núcleos recolectados se prepararon siguiendo métodos estándar de dendrocronología para visualizar correctamente los anillos, determinándose el año de formación mediante fechado cruzado (Stokes & Smiley, 1996). El ancho de los anillos se midió con un sistema Velmex de alta precisión (0.001 mm) y software MeasureJ2x, y las series se verificaron estadísticamente con COFECHA (Holmes, 1983).

Las series individuales se estandarizaron mediante el método de Friedman (Friedman, 1984) y se generar las cronologías promedio de cada sitio con la función chron del paquete dplR en R (R Core Team, 2025), usando medias robustas biweight de Tukey para reducir la influencia de valores atípicos (Cook & Kairiukstis, 1990; Bunn et al., 2025).

Se realizó un análisis de correlación entre las cronologías para evaluar similitudes en los patrones de crecimiento radial. Para reducir la dimensionalidad de los RWI y de los datos climáticos, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (PCA) usando FactoMineR en R (Jolliffe, 1986; Lê et al., 2008) para el periodo común de 1919 a 2023.

Resultados y discusión

Se fechó con precisión el 62 % de los núcleos analizados (511), correspondientes a 196 árboles de *P. pinceana* distribuidos en los 11 sitios de la SMOr. La intercorrelación entre series vario de 0.61 a 0.84, los cuales superan el mínimo significativo ($r = 0.3281$, $p < 0.01$) establecido por el programa COFECHA (Holmes, 1983), lo que confirma la calidad de las series y la existencia de una señal común. Estos valores coinciden, e incluso en algunos casos superan, los reportados previamente para la especie en la región (Santillán-Hernández et al., 2010), lo que sugiere que las cronologías generadas en este estudio capturan de manera confiable la variabilidad ambiental regional.

La extensión temporal de las cronologías de índice de ancho de anillo (RWI) se situó entre 105 años en la serie más breve y 286 años en la más prolongada (Figura 2). Esta amplitud temporal convierte a la red de cronologías obtenida en una de las más extensas y consistentes desarrolladas para *P. pinceana*, lo que representa un insumo valioso para el análisis del crecimiento radial frente a la variabilidad climática. Estudios previos han señalado que la longitud y robustez de las cronologías son determinantes para identificar patrones de crecimiento y su relación con eventos extremos (Stahle et al., 2016; Williams et al., 2013). En este sentido, la red dendrocronológica aquí construida no solo consolida la información disponible para la especie, sino que también refuerza su potencial como indicador de condiciones climáticas en zonas áridas y semiáridas del noreste de México.

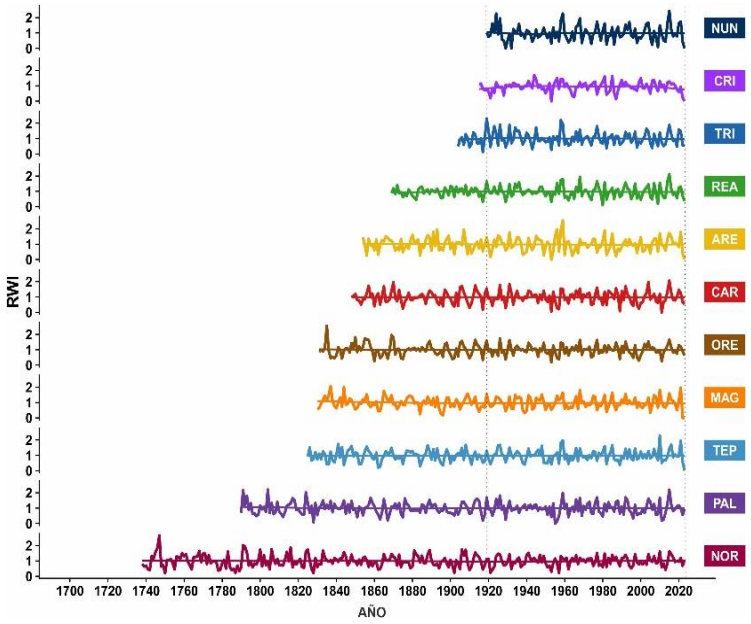


Figura 3. Red dendrocronológica de las 11 cronologías de índice de ancho de anillo (RWI) de Pinus pinceana Gordon en la Sierra Madre Oriental. La línea vertical punteada indica el periodo común 1919–2023 compartido por todas las cronologías.

El análisis de correlación mostró que la mayoría de las cronologías de *P. pinceana* están asociadas significativamente entre sí ($p < 0.05$), lo que confirma una señal de crecimiento común de sus poblaciones a lo largo de su distribución latitudinal. Los valores más elevados se registraron en los sitios NUN (0.84) y TRI (0.81), mientras que CRI se distinguió por sus bajas correlaciones, sin alcanzar significancia estadística frente al resto de las cronologías (Figura 3A). Este comportamiento indica que, si bien predomina un patrón regional compartido, ciertas poblaciones reflejan respuestas locales influidas por condiciones de microclima.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) para el periodo en común 1919–2023 reforzó esta tendencia. El primer componente (PC1) explica la mayor proporción de la varianza total y agrupó 10 de las 11 cronologías, lo que refleja una respuesta conjunta del crecimiento radial; por el contrario, el sitio CRI contribuyo con mayor aportación al PC2 (Figura 3B-A), lo que sugiere que en este sitio los árboles responden en mayor medida a condiciones de microclima particulares que a la variabilidad climática regional. Este esfuerzo se suma a la generación de otras redes dendrocronológicas en México (Villanueva-Díaz et al., 2013).

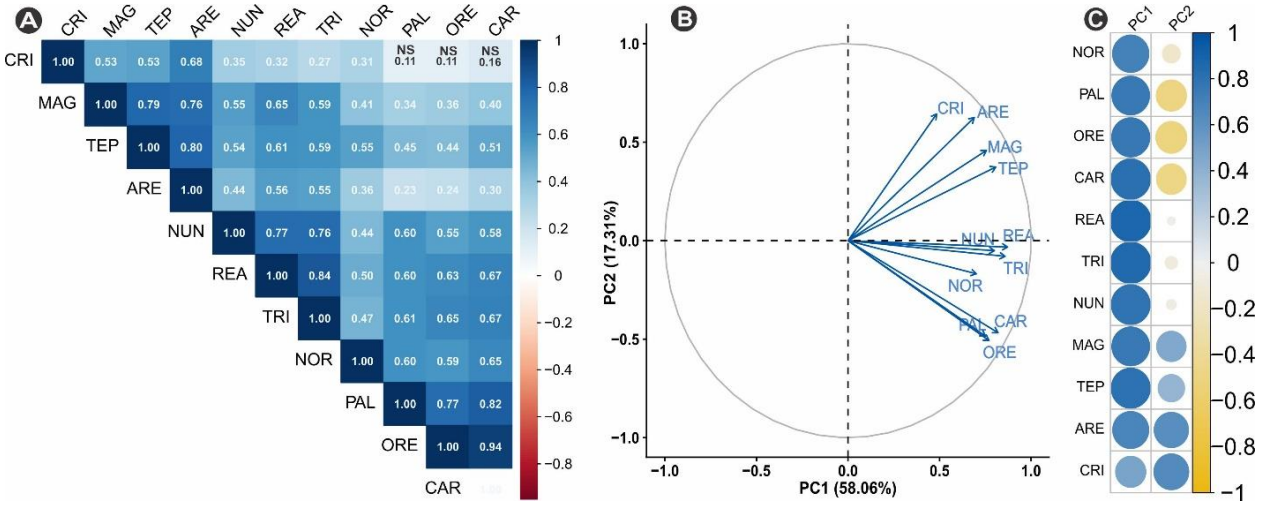


Figura 4. Matriz de correlación entre 11 cronologías de RWI de *Pinus pinceana* Gordon, las celdas marcadas con NS indican correlaciones no significativas (p > 0.05) (A). Análisis de componentes principales (PCA) para las 11 cronologías de estudio (A). Contribuciones de las cronologías individuales al primer componente (PC1) (B).

Conclusiones

El estudio permitió construir una red dendrocronológica robusta de 11 poblaciones de *P. pinceana* a lo largo de la Sierra Madre Oriental, cronologías de índice de ancho de anillo que se extienden entre 105 y 286 años. Los análisis de correlación y PCA mostraron que 10 de los 11 sitios comparten una señal de crecimiento común, lo que evidencia una respuesta regional coherente frente a las condiciones climáticas, particularmente a la precipitación y eventos de sequía. No obstante, la población de San Cristóbal (CRI) presentó un patrón diferenciado, indicando que su crecimiento está influenciado por factores locales, como microclima o condiciones edáficas particulares. Estos resultados subrayan la utilidad de las cronologías de ancho de anillo para evaluar la respuesta de *P. pinceana* a la variabilidad ambiental y constituyen un insumo valioso para el manejo y conservación de la especie frente al cambio climático.

Referencias

Bunn, A. G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia, 26*(2), 115–124. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002

Bunn, A., Korpela, M., Biondi, F., Campelo, F., Klesse, S., Mérian, P., Qeadan, F., & Zang, C. (2025). *dplR: Dendrochronology program library in R* (versión 1.7.8) [R package]. https://CRAN.R-project.org/package=dplR

Cerano-Paredes, J., Szejner, P., Gutiérrez-García, G., Cervantes-Martínez, R., Cambrón-Sandoval, V. H., Villanueva-Díaz, J., Estrada-Arellano, J. R., Franco-Ramos, O., Vázquez-Selem, L., & Castruita-Esparza, L. U. (2022). How to Extract Climate Variability from Tree-Rings. *Journal of Visualized Experiments: JoVE, 181*. PubMed. https://doi.org/10.3791/63414

Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (Eds.). (1990). *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences* (394 pp.). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7879-0

Contreras-Mata, L., Astudillo-Sánchez, C. C., Alanís-Rodríguez, E., Treviño-Carreón, J., Mora-Olivo, A., & Soria-Díaz, L. (2024). Potencial dendrocronológico del piñonero llorón (*Pinus pinceana* Gordon) en Tamaulipas, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *30*(3), 107-125. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.01.001

Friedman, J. H. (1984). *A variable span smoother* (Technical Report LCS-5). Stanford University, Laboratory for Computational Statistics. https://www.osti.gov/biblio/1447470

Fritts, H. C. (1976). Tree rings and climate. Academic Press. https://www.sciencedirect.com/book/9780122684500/tree-rings-andclimate

Holmes, R. L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin, 43,* 69-78. http://hdl.handle.net/10150/261223

Jolliffe, I. T. (1986). Principal component analysis and factor analysis. In *Principal component analysis* (pp. 115–128). *Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1904-8_5*

Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software, 25*(1), 1–18. https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01

R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing (Version 4.3.3). https://www.R-project.org/

Santillán-Hernández, M., Cornejo-Oviedo, E. H., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Valencia-Manzo, S., & Capó-Arteaga, M. Á. (2010). Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques, 16*(1), 17—30. https://doi.org/10.21829/myb.2010.1611177

SEMARNAT, 2010. Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturas, Jueves, 30 de diciembre del 2010. 77 p. Disponible en. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010.

Speer, J. H. (2010). *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press. https://search.worldcat.org/es/title/460061751

Stahle, D. W., Cook, E. R., Burnette, D. J., Villanueva, J., Cerano, J., Burns, J. N., Griffin, D., Cook, B. I., Acuña, R., Torbenson, M. C. A., Szejner, P., & Howard, I. M. (2016). The Mexican drought atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-Hispanic, colonial, and modern eras. *Quaternary Science Reviews, 149*, 34–60. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.06.018

Stokes, M. A. & Smiley, T. L. (1996). *An introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press.

Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Vázquez Selem, L., Stahle, D. W., Fulé, P. Z., Yocom, L. L., Franco Ramos, O., & Ruiz Corral, J. A. (2015). Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (86), 5–14. https://doi.org/10.14350/rig.42003

LOS OBSERVATORIOS PARTICIPATIVOS SOCIOECOLÓGICOS (OPSE) EN LAS ZONAS ÁRIDAS DEL NORTE DE MÉXICO: METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA GOBERNANZA AMBIENTAL Y LA GENERACIÓN DE CAPACIDADES EN CONTEXTOS DE DESERTIFICACIÓN

Leslie Steffany Sánchez Escobar

Doctorante en Estudios del Desarrollo Problemas y Perspectivas Latinoamericanas. Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora. Plaza Gómez Farías, Gómez Farías, San Juan, Benito Juárez, 03730 Ciudad de México, CDMX. *Autora de correspondencia: lsanchez@institutomora.edu.mx

Introducción

La desertificación cada día se complejiza, resaltando otros fenómenos ya existentes como la migración, la pobreza, el acceso al agua, alimentación, seguridad humana, entre otros. Las zonas áridas representan el 41% del mundo y las habitan cerca de 2,000 millones de personas (ONU, 2022), se caracterizan por recibir pocas precipitaciones, altas temperaturas y pérdida de humedad mediante la evapotranspiración (Mendoza-Pérez, 2019). En el caso de México los ecosistemas áridos y semiáridos abarcan 56.92 millones de hectáreas forestales de los 138 millones que tiene el país (CONAZA, 2024). Por otra parte, el Monitor de Sequía estima que el 57.8% del país se encuentra dentro del rango de sequía severa y excepcional, afectando al 69.5% de la población. Las condiciones de los ecosistemas áridos obligan a la atención prioritaria en temas que involucran aristas ambientales como la pérdida de la biodiversidad (México ¿cómo vamos?, 2025), y también otras de índole social como vulnerabilidad climática, la soberanía alimentaria, educación, autosuficiencia, uso de tecnologías sostenibles que ayuden las comunidades a satisfacer necesidades energéticas, entre otros.

En el 2019, se crearon los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES), a través del entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (Gobierno de México, 2021), y dentro de este programa, se diseñaron los Observatorios Participativos Socioecológicos, operados por la *Red Internacional para la Sostenibilidad de las Zonas Áridas (RISZA)* que colabora de forma conjunta con comunidades, y actores institucionales. Estos observatorios y comunidades de aprendizaje buscan crear estrategias ante la vulnerabilidad climática y se encuentran distribuidos en cinco regiones que abarcan desde Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango y Nuevo León. Actualmente se encuentran en operación tras la aplicación de cinco observatorios piloto, que se dedican en conjunto con las comunidades rurales y urbanas al estudio de los sistemas socioecológicos de cada territorio, para generar información a través de monitoreos ambientales y con ello, un panorama de las acciones a seguir para mitigar los impactos ambientales.

Sin embargo, incidir dentro de los territorios desde la política ambiental o acciones de conservación representa un cambio de paradigma en términos de relacionamiento con la naturaleza, sobre todo, en pueblos, localidades y comunidades que tienen una relación directa con la misma para su subsistencia. El diseño y aplicación de políticas ambientales requiere de una mirada integral, contemplando en cada proceso de su metodología la perspectiva de las comunidades rurales y urbanas. Si bien existen esfuerzos en materia de conservación de los ecosistemas y acciones para contrarrestar la desertificación, el componente social es uno de los eslabones más delicados de tratar.

Figura 1. Ubicación de los Observatorios Participativos Socioecológicos – comunidades de aprendizaje. Fuente: Repositorio participativo del desierto, de la Red Internacional para la Sostenibilidad de las Zonas Áridas (2025). Véase en notas en la bibliografía.

Por ello, esta metodología en proceso de implementación aborda los elementos sociales del problema, entrelazando la perspectiva de las ciencias sociales con los estudios ambientales desde una mirada interdisciplinar. La aplicación metodológica retoma el estudio de este programa piloto aplicado a las comunidades desde el 2019, analizando su premisa principal: *generar capacidades que permitan a los territorios contar con herramientas para la autogestión, colaborando con instituciones de gobierno y organizaciones no gubernamentales* (PRONACES 2025). Al operar en territorios que son administrados como ANP, sitios AICA o desde la organización de sus habitantes, implica planes de gestión y manejo de recursos naturales, en ese sentido, se entiende por *generación de capacidades* a las acciones asociadas a la educación ambiental, la conservación, capacitación para monitoreos y temas relacionados con el acceso a recursos o fondos de conservación. En ese proceso, se ha generado información que alimenta *el repositorio participativo del desierto*, generando datos sobre el estado actual de los desiertos, ya sea en materia de conservación o modelos de gestión colectiva de recursos naturales. Lo anterior es un acercamiento a la generación de capacidades, que, si bien es objetivo de la política de los PRONACES, también es importante contemplar que, en contextos de desertificación descansan numerosas desigualdades asociadas a la injusticia ambiental (Schweizer 2006), es decir, que los daños a la naturaleza afectan principalmente a quienes subsisten de los recursos naturales.

Lo cual abre una brecha entre la incidencia de la política ambiental y los frentes socioambientales a los que se enfrentan las comunidades, pues las consecuencias no visibles del cambio climático - como el acceso al agua, degradación del suelo, abandono de localidades o migración, perdida de ganado - impactan su vida cotidiana, dificultando el acceso a sus capacidades educativas - organizativas y con ello al ejercicio de gobernanza local. Este marco metodológico, permite relacionar las necesidades que afectan de manera transversal a las regiones áridas donde se aplican los OPSE, los resultados del proceso de intercambio entre las comunidades de aprendizaje, el uso que se le ha dado a la información en términos de proyectos, programas y las acciones concretas que han derivado de ello, es decir, acciones que hablen de procesos gobernanza en la toma de decisiones desde actores locales en el periodo de implementación.

Materiales y métodos

En ese sentido, las estrategias frente a un problema global de cambio climático que atiendan a las poblaciones rurales situadas en el norte del país y la pobreza, versus la mitigación de las implicaciones de la desertificación resultan un reto. Pues toda incidencia dentro de un territorio tiene repercusiones, por ello, la aplicación de estrategias de gobernanza ambiental debe contemplar, en primera instancia, a la re-apropiación del conocimiento local, darle la importancia a los saberes de las comunidades. De esta manera el conocimiento generado desde las instituciones ambientales y organizaciones involucradas tendrá bases sólidas para ser socializada entre los miembros de las localidades o ejidos. Esta investigación se centra en la comprensión de un problema complejo, abarcando los efectos sociales y ambientales ocasionados por la desertificación y principalmente, las formas de gestión que actualmente operan en los territorios derivados de la búsqueda de solucionar sus efectos.

El corte metodológico es cualitativo, se consideran tres unidades de análisis a nivel territorial: El Observatorio Valle del Guadalupe en Ensenada, El Observatorio Cuauhtémoc - Laguna de Bustillos en Chihuahua y el Observatorio en la Reserva de la Biosfera Mapimí. Se caracterizan cada una de las ecorregiones desde el concepto de *geograficidad* (Santos 1991) es decir, se reconocen los cambios socio territoriales que han generado su deterioro en términos hídricos, suelo y pérdida de biodiversidad. Para el caso de la recopilación de datos de corte cualitativo en las entrevistas, la investigación se encuentra en la fase de implementació, utilizando el método de muestreo bola de nieve exponencial discriminativo (snowball sampling), que permite llegar a datos de poblaciones de difícil acceso o especializados (ATLAS.ti 2025), centrando la información en actores clave dentro de los OPSE: Científicos coordinadores de proyecto, aplicadores de proyecto dentro del territorio, equipo técnico asesor de instituciones de gobierno como CONANP, INECOL,SEMARNAT,INIFAP, RISZA, CONAZA, colaboradores del proyecto en las universidades UACH, UABC, UJED e IPICYT organizaciones civiles y organizaciones no gubernamentales, contemplando para ello entrevistas semi estructuradas. En cuanto a las poblaciones locales que colaboran con el observatorio, se aplicará una encuesta sobre tipos de capacitación recibida, problemáticas locales y formas de gestión local y entrevistas semi estructuradas de final abierto con actores clave.

Cuadro 1. Comunidades participantes en las comunidades de aprendizaje OPSE:

OPSE	Área de Influencia	Participación en programas / proyectos del observatorio
Guadalupe	Santa Anita, Playas la Misión, Buena vista, San José de la Zorra, Francisco Zarco, El Porvenir, Tierra santa, Ejido Santa Rosa, San Antonio de las Minas, Lucio Blanco, Lomas de San Antonio, Ignacio Zaragoza, San Antonio Necua, Ojos Negros, Los Pirules, Poblado Puerta Trampa, La Huerta	El criterio de selección de la población mediante el snowball sampling permite entrelazar actores clave que estén participando activamente en el proyecto y compartiendo datos en el repositorio del desierto. Descartando aquellas localidades con las que, en el proceso de implementación no cuenten con información. Abriendo un espacio para investigaciones posteriores en el caso de estas excepciones.
Mapimí	Laguna de Palomas, La Soledad, La Flor, Las Lilas, Santa María de Mohovano, Colonia Ganadera, La Soledad 2	
Cuauhtémoc - Laguna de Bustillos	Ejido Loma Pelona, Ejido Fabela, Ejido Cuitláhuac, Ejido Bustillos, Ejido Tres Lagunas, Ejido La Selva, Ejido Centro Calles, Cuauhtémoc UNIDO A.C	

Fuente: Elaboración propia con información de INECOL, RISZA y Plan de manejo Reserva de la Biosfera Mapimí, véase en referencias. 2025.

Actualmente se encuentra en proceso de diseño los instrumentos de recopilación de información cartográfica, donde se contempla un mapeo de actores institucionales en cada territorio (Valle de Guadalupe, Cuauhtémoc - Laguna de Bustillos y Reserva de la biosfera Mapimí), 3 cartografías de mapeo de riesgos de acceso a recursos naturales desde la perspectiva de las instituciones, una por cada región y 3 cartografías comunitarias de recursos naturales, de la misma forma una por cada región, mismas que se procesarán mediante QGIS, apoyado en los datos cartográficos de INEGI sobre desertificación y gobernanza. Lo anterior, con la finalidad de resaltar las áreas de atención que puedan apoyarse visualmente con imágenes espaciales y comparar los resultados de la perspectiva comunitaria como la institucional. Finalmente, dos talleres metodológicos por cada territorio: sobre retribución de conocimiento, es decir, herramientas prácticas que les permitan a las comunidades crear procesos participativos donde se apropien de los datos y conocimiento que generan dentro de los OPSE, para la gestión de sus comunidades en términos locales o administrativos con gobiernos municipales y otro enfocado a herramientas de mapeo comunitario enfocado en la detección de recursos naturales y zonas de afectación.

Resultados y discusión

En ese sentido, el análisis de esta investigación que se desarrolla dentro del Doctorado en Estudios del Desarrollo Problemas y Perspectivas Latinoamericanas (Investigación en proceso con el apoyo de SECIHTI en el periodo 2024 – 2028), se centra en el impacto que tienen las prácticas bioculturales en la formación de capacidades para la gobernanza ambiental, la información generada por los OPSE durante el tiempo de implementación y su transferencia hacia los actores involucrados como instituciones de gobierno, ONG's y las comunidades de aprendizaje**.** Es decir, las múltiples formas en las que se instrumentan las prácticas ambientales en crear vías claras para la comprensión de problemas locales y su incidencia en la resolución de problemas comunes, que permitan crear soluciones viables para las comunidades. La aplicación de modelos de incidencia en los territorios tiene el objetivo de generar estrategias de mitigación ante estos problemas derivados del cambio climático y actividades antropogénicas mediante la gobernanza ambiental. Sin embargo, es importante mencionar que, si bien la gobernanza es un medio para la solución de problemas socioambientales, implica la generación de un modelo metodológico que abone a la creación de capacidades en las comunidades, es decir, un proceso que contemple las desigualdades sociales y ambientales que dificultan el acceso al conocimiento desde las propias comunidades y a su vez, generar mecanismos de reconocimiento del conocimiento tradicional y el conocimiento adquirido (mediante la educación ambiental), así como la retribución de la información generada y compartido a científicos mediante la aplicación de esta política pública a través de acciones concretas.(Sánchez – Escobar, 2024, pág. 41).

La finalidad de crear un marco de comparación de las acciones realizadas por los OPSE busca retroalimentar el proceso de ejecución de la política pública, conocer instituciones que operan y los impactos sociombientales en cada territorio. Por otra parte, comparar la información biocultural generada en el *repositorio participativo del desierto*, con miras a crear un marco de referencia que permita capacitar a las comunidades y encargados de proyecto en procesos de gestión local, realizar intercambios de información entre comunidades, que incluyan: recursos naturales, estrategias de mitigación de sequía, acciones de conservación, educación ambiental, proyectos productivos funcionales, diversificación productiva, sistemas agrícolas y producción de alimentos con plantas nativas. Facilitando así, el intercambio de acciones y estrategias que puedan en algún momento, servir a otras comunidades asentadas en los desiertos, para preservar su conocimiento local, gestionar sus territorios e intercambiar saberes entre comunidades con características climáticas similares.

La aproximación a los territorios en el marco de la aplicación de los OPSE se desplaza desde una visión de sistemas complejos adaptativos (Murray, 1995, pág. 35), donde la relación entre las políticas internacionales para mitigar los efectos de la desertificación en México juega un papel importante en la configuración de políticas nacionales. Estas se materializan a nivel local, en la interacción con programas aplicados de forma regional, donde también es necesario contar con las visiones y decisiones de quienes conviven de manera directa con procesos de desertificación y lucha por el acceso a los recursos naturales. Por ello, entender las realidades locales, permite incursionar en estrategias de gobernanza ambiental que respondan a la necesidad de contribuir al entendimiento de los desiertos y particularmente, a incentivar la aplicación de proyectos concretos que mejoren las condiciones de vida desde sus habitantes.

Conclusiones

Existe un proceso de transferencia de información y conocimiento socioecológico de parte de las comunidades a los OPSE, que brinda información valiosa acerca de los ecosistemas y el entorno social de las personas que habitan en estas zonas áridas en específico. Sin embargo, es necesario un proceso que permita el reconocimiento propio del saber local, que sea internalizado, apropiado, socializado y posteriormente compartido. Y en el mismo nivel, otro proceso a la inversa, donde el conocimiento socioecológico sea retribuido y puesto en práctica, instrumentalizándose en acciones de conservación, aplicación de proyectos productivos, de monitoreo de flora y fauna, de conservación de patrimonio biocultural entre otros. Esto hace necesario que los desiertos del país sean atendidos de manera prioritaria y de acuerdo a sus problemas particulares, tomando los procesos individuales y colectivos en la generación y transferencia de conocimiento (Taplin, Dana; Clark, Helene, 2012).

El estudio de las comunidades se encuentra en una fase de recopilación de datos, donde el procesamiento permitirá emitir recomendaciones para la aplicación de esta política ambiental, considerando el conocimiento de las comunidades como un elemento valioso para generar estrategias y proyectos dentro de las comunidades de aprendizaje en el Norte de México. Al ser una investigación de corte cualitativo y transdsciplinar, busca ver más allá de las fronteras de los datos y generar el cruce de técnicas que abonen a la comprensión de los territorios vistos como un sistema complejo, como un espacio que posibilita el estudio de las relaciones sociales y ecológicas, espacios dinámicos que se configuran en el tiempo y no solo un espacio contenedor (Bonilla Castro y Rodriguez Sehk 1997). Estudiar a fondo los Observatorios Participativos Socioecológicos es una forma de comprender a los territorios que se encuentran en el primer frente, es decir, aquellos que diariamente se enfrentan a la vida en los desiertos. Comunidades que habitan, trabajan en la agricultura, son participantes de políticas públicas ambientales, son resguardas de las áreas naturales protegidas o las comunidades que desde su gestión propia intentan otras formas de subsistencia.

Referencias

Anahí Urquiza Gómez et Hugo Cadenas (2015) Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para ladiscusión en torno a vulnerabilidad hídrica », L'Ordinaire des Amériques [En ligne], 218 | 2015, mis en ligne le 05juillet 2015, consulté le 15 juillet 2015. URL : https://journals.openedition.org/orda/1774

ATLAS.ti. 2025. Atlas.ti. 12 de 10. https://atlasti.com/es/research-hub/snowball-sampling

Bonilla Castro, E., & Rodriguez Sehk, P. (1997). Más alla del dilema de los metodos. Bogotá: Vitral.

CONANP. (2006). Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Mapimí. México, Distrito Federal: CONANP.

CONAZA. (2024) Comision Nacional de Zonas Aridas . Obtenido de CONAZA: https://www.gob.mx/conaza/que-hacemos

Farhad, Sherman. (2012). Los sistemas socio-ecológicos: Una aproximación conceptual y metodológica. In: XIII Jornadas de Economía Crítica. Sevilla: Jornadas de Economía Crítica. pp. 265-280.

Gobierno de México. 2021. LINEAMIENTOS PARA LA OPERACIÓN DE LOS PROGRAMAS NACIONALES ESTRATÉGICOS. Ciudad de México : Gobierno de México .

INECOL (2024)., Alianza para el manejo sustentable del humedal continental Laguna de Bustillos, Cuautémoc – Chih.Méxc. Proyecto FDRA A.466 – Reyes, Victor. https://www.inecol.mx/index.php/divulgacion/ciencia-hoy/alianza-para-el-manejo-sustentable-del-humedal-continental-laguna-de-bustillos

Martínez - Tagüeña, N., Huber - Sannwald, E., Reyes Gómez, V. M., Lorena, L. M., & Lucatello, S. (2024). Zonas áridas de México: Construcción de Comunidades de Aprendizaje. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.

Mendoza-Pérez, C. O.-B.-I.-N.-M. A.H. (2019). Estimación de la evapotranspiración de referencia mediante atmómetro con fines de calendarización de riego. SciChile, 65 -72.

México ¿cómo vamos? (2025, 02 06). Retrieved from https://mexicocomovamos.mx/animal-politico/2024/06/dia-de-la-lucha-contra-la-desertificacion/

ONU. (2025, enero 24). United Nations. Retrieved from https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change

PRONACES. 2025. Observatorios Participativos Socioecológicos. 11 de Octubre. https://secihti.mx/pronaces/pronaces-sistemas-socioecologicos/observatorios-particiativos-socio-ecologicos-de-zonas-aridas/

RISZA. (2025). Retrieved from Red Internacional para la Sostenibilidad de las Zonas Aridas. Retrieved https://risza.mx/

Schweizer, Errol. 2006. «Justicia Ambiental: una entrevista con Robert Bullard.» Ecología política, número 31. URL: file:///Users/leili/Downloads/Dialnet-JusticiaAmbiental-2260031-1.pdf

Sánchez – Escobar, L. (2024) “Representaciones sociales de la naturaleza y el desierto, una aproximación a la Reserva de la Biosfera Mapimí. El caso de los ejidos La Flor y Laguna de Palomas (Estación Carrillo), 1979 – 2023”. Ciudad de México, Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.

Santos, Milton. 1991. La naturaleza del espacio. Barcelona: Editorial Ariel.

Taplin, Dana; Clark, Helene, (2012). Principios de teoría de cambio: Una introducción a la teoría de cambio. Center for theory of Change. Retrieved from https://www-theoryofchange-org.translate.goog/library/publications/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Urquiza gómez, Anahí, y Hugo Cardenas. 2015. «Sistemas socio - ecológico: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a la vulnerabilidad hídrica.» L'Ordinaire des Amériques.

CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE HIDALGO TAMAULIPAS A PARTIR DE LAS CAPAS TEMÁTICAS SERIES III (2002 - 2005), V (2011 - 2013) Y VII (2018 - 2021) DE INEGI

Alán J. Barrera-Córdova[1], Ramón Trucíos-Caciano[2], José M. Cisneros-Vázquez[1]*

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo, México. CP. 35230. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Gómez Palacio, Dgo. México. CP. 35079. *Autor para correspondencia: cisneros@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El municipio de Hidalgo, Tamaulipas, se distingue por su riqueza natural y su importante contribución agrícola a la región, está ubicado en el altiplano tamaulipeco, este municipio se ha consolidado como un referente en la producción citrícola, actividad que constituye una parte fundamental de su economía (INEGI, 2021). La citricultura, especialmente el cultivo de naranja no solo genera empleo para las familias locales, sino que también posiciona a Hidalgo como un actor clave en el mercado agrícola estatal y nacional. Gracias a las condiciones climáticas y geográficas favorables, Hidalgo cuenta con extensas áreas dedicadas al cultivo de cítricos y hortalizas, cuya calidad y volumen son reconocidos por su alta competitividad (SADER, 2017). Además de la citricultura, el municipio mantiene una destacada actividad ganadera y agrícola, principalmente hortalizas como tomate y chiles, los cuales complementan su producción primaria. Estas actividades cuentan con el apoyo de las empresas expertas en la nutrición vegetal y manejo de plagas y enfermedades, las cuales tienen asesores técnicos. Para llevar a cabo todas las actividades anteriores, es necesario hacer uso de superficies de terreno extensas que en la mayoría de las veces son obtenidas de áreas que están cubiertas con vegetación natural de la región, lo que conlleva a los productores a realizar desmontes en dichas áreas para poder hacer uso del suelo en sus actividades de interés.

En Tamaulipas, al igual que en otras regiones del país, la conversión de terrenos forestales a tierras agrícolas ha sido una de las principales causas de pérdida de cobertura vegetal. Entre las actividades responsables del cambio de uso del suelo se encuentran tanto la ganadería como la agricultura intensiva, que han transformado ecosistemas naturales en áreas productivas (SEMARNAT, 2022). La cobertura del suelo es la observación biofísica de la superficie terrestre, compuesta por vegetación natural o cultivada, cuerpos de agua, hielo o superficies artificiales (FAO, 2013).

El cambio de uso de suelo es un proceso mediante el cual se modifica la función o actividad que se lleva a cabo sobre una superficie determinada del territorio, como por ejemplo el paso de uso forestal a agrícola, o de agrícola a urbano (INECC, 2015). Este fenómeno tiene implicaciones ambientales, económicas y sociales, y es ampliamente estudiado en disciplinas como la geografía, la ecología, la ordenación del territorio y la agronomía.

El objetivo de esta investigación fue Determinar los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo desde el año 2002 hasta el 2018 en el municipio de Hidalgo, Tamaulipas mediante geoprocesamiento a partir de las capas temáticas de las series III, V y VII de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

Materiales y métodos

El área de estudio (AE) fue el municipio de Hidalgo, Tamaulipas, el cual se encuentra en la parte centro del estado, colinda hacia el norte con el municipio de Villagrán, al noreste con San Carlos, al este con Padilla, al sur con Güémez y al oeste con el estado de Nuevo León. La superficie total con la que cuenta el municipio es 213,608 ha; entre los tipos de clima que se presentan en el AE predomina el *(A)C(Wo)* con un 58.80% que corresponde a un clima semicálido subhúmedo del grupo C con una temperatura media anual mayor de 18° C, una temperatura del mes más frio menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22° C, después se encuentra el tipo de clima *(A)C(W_1)* con un 28.14%, posteriormente se encuentra el *BS_1(h')w* con un 12.10% y por último *C(w_2)* 0.96%; se tienen tres rangos de precipitación, dentro de los cuales el rango que va desde los 600 a 800 milímetros (mm) de precipitación anual abarca un 55.9% de la superficie total del municipio, posteriormente se encuentra el rango que va desde los 800 a 1,000 mm con un 15% y 29.1% restante de la superficie va desde los 1,000 a 1,200 mm; referente a los tipos de suelo, el municipio de Hidalgo cuenta con 8 tipos de suelo, dentro de los cuales predominan litosol (24%), vertisol pelico (28.8%) y xerosol calcico (21.7%).

Los insumos fueron adquiridos directamente del portal digital de la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO), en el cual se obtuvieron la capa de División política municipal 2022 escala 1:250 000., las capas de tipos de suelo, clima, temperatura, precipitación y también las capas temáticas de Uso de Suelo y Vegetación, del INEGI seleccionando para este caso las Series III (2002), V (2011) y VII (2018). Para llevar a cabo el procesamiento de las capas fue necesario el uso del software QGis en su versión 3.34.

Las tasas de cambio (TC) de la vegetación de la cobertura del suelo del municipio se calcularon por medio de hojas de cálculo con base en la ecuación propuesta por la FAO (1995):

$$TC = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{1/n}$$

Donde:

TC es la Tasa de Cambio
S_2 es la superficie en la fecha 2
S_1 es la superficie en la fecha 1
n es el número de años entre ambas fechas

Para realizar las matrices de transición, las cuales son una acción que permite calcular la dinámica del cambio de uso de suelo en los diferentes años que abarca el estudio. Para lo anterior se hizo uso del software QGis para modificar las tablas de atributos, después se generaron intersecciones entre las tres series (III, V, VII) para poder generar nuevos campos en las tablas que nos permitieran trasladar esas intersecciones a hojas de cálculo donde se procesaron para obtener las matrices de transición y comprender como se han dado los cambios en la cobertura del suelo desde la serie III hasta la serie VII y así determinar si los cambios eran a favor o en contra de la agricultura.

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se muestra con claridad el área que ocupaba cada una de las clases en las distintas fechas, algo muy notorio y de importancia para el sector agrícola es que la agricultura de riego disminuyó alrededor de 4,000 ha; por su parte, la agricultura de temporal aumentó un poco más de 1,200 ha; por otro lado, la vegetación natural como el bosque de pino encino, matorral submontano y selva baja espinosa caducifolia aumentaron en superficie; sin embargo, la superficie ocupada por pastizales disminuyó, perdiendo un poco más de 2,000 ha. Y como dato último, vemos que los asentamientos humanos aumentaron su cobertura alrededor de 400 ha. Por su parte, el SIAP (2025) menciona que del año 2007 al 2020 hubo una disminución de aproximadamente 4,000 hectáreas de agricultura de riego, lo cual ayuda a corroborar la información del estudio realizado.

Cuadro 1. Superficie que abarca cada una de las clases en las distintas series en hectáreas.

COBERTURA DE SUELO	SUPERFICIE (ha)		
	S-III (2002)	S-V (2011)	S-VII (2018)
Agricultura Riego (AR)	34,280	32,975	30,298
Agricultura Temporal (AT)	4,728	5,075	5,999
Bosque Pino encino (BPE)	42,099	42,110	42,108
Cuerpo de Agua (CA)	1,129	1,125	1,125
Matorral Submontano (MS)	79,443	80,614	81,769
Pastizal (Pz)	35,085	34,694	32,890
Selva Baja Espinosa Caducifolia (SBEC)	16,101	16,192	18,262
Asentamientos Humano (AH)	744	824	1,158
SUPERFICIE TOTAL	**213,609**	**213,609**	**213,609**

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 2 se pueden apreciar los cambios que hubo entre el tiempo 1 (año 2002) y el tiempo 2 (año 2011), esta matriz de transición nos permite observar que clases de cobertura perdieron superficie y en que se convirtió dicha superficie, además también permite identificar la superficie que se mantuvo en la misma clase que son los recuadros resaltados en color gris, por ejemplo, se tiene que 31,007 ha siguieron siendo agricultura de riego del 2002 al 2011. Pero, por otro lado, se puede observar que 0.5 ha pasaron de ser agricultura de riego a agricultura de temporal. Otro ejemplo sería que 1,186.9 de matorral submontano pasaron a ser agricultura de riego entre el año 2002 y el 2011, lo cual se consideraría como un cambio a favor de la agricultura, pero en contra de la vegetación natural.

Cuadro 2. Matriz de transición de la Serie III (2002) a la Serie V (2011) en hectáreas.

T2 Serie V (2011)	AR	AT	BPE	CA	MS	Pz	SBEC	AH
T1 Serie III (2002)								
AR	31007.0	0.5	0.1	0.8	2848.9	159.7	176.7	86.3
AT	1.0	4128.6	0.9	0.1	568.7	28.3	0.5	0.3
BPE	0.0	118.0	41905.9	0.2	33.0	39.7	2.7	NA
CA	6.0	NA	0.2	1118.6	0.4	3.6	0.0	NA
MS	1186.9	546.0	89.0	0.8	76486.1	1129.2	4.3	0.2
Pz	584.0	280.8	112.4	4.4	672.6	32882.8	542.2	6.1
SBEC	177.7	0.4	1.3	NA	4.6	451.0	15465.9	NA
AH	12.0	0.1	NA	NA	0.1	0.0	NA	730.9

Fuente: Elaboración propia

Para el cuadro 3 y 4 la forma de interpretar es la misma, la única diferencia son los años que abarca, en el caso del cuadro 3 se tienen los cambios que hubo desde el año 2002 hasta el 2018, lo cual abarca todo el periodo que se consideró para este estudio. Por su parte el cuadro 4 solo abarca desde el año 2011 hasta el 2018.

Cuadro 3. Matriz de transición de la Serie III (2002) a la Serie VII (2018) en hectáreas.

T3 Serie VII (2018)	AR	AT	BPE	CA	MS	Pz	SBEC	AH
T1 Serie III (2002)								
AR	28715.6	73.5	0.1	0.8	2833.6	218.2	2167.0	270.9
AT	0.9	3528.8	12.3	0.1	1136.6	28.2	0.5	20.6
BPE	0.1	209.0	41696.4	0.1	32.3	158.6	2.6	NA
CA	6.1	NA	0.1	1118.6	0.3	3.5	0.1	NA
MS	902.7	825.3	88.9	0.7	75896.9	1505.8	216.4	5.5
Pz	506.9	1326.0	308.4	4.3	1864.4	30408.3	658.1	8.3
SBEC	153.5	35.7	1.3	0.1	4.4	566.9	15217.6	121.2
AH	11.9	0.1	NA	NA	0.1	NA	NA	730.9

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4. Matriz de transición de la Serie V (2011) a la Serie VII (2018) en hectáreas.

T3 Serie VII (2018)	AR	AT	BPE	CA	MS	Pz	SBEC	AH
T2 Serie V (2011)								
AR	30244.9	113.5	0.0	0.0	0.1	117.1	2315.0	184.0
AT	0.0	4470.6	11.5	0.0	572.0	0.0	0.0	20.4
BPE	0.0	71.3	41871.6	0.0	0.1	166.8	0.0	NA
CA	0.0	0.0	0.0	1125.0	0.0	0.0	0.0	NA
MS	20.6	212.0	0.1	0.0	79857.8	518.5	0.0	5.5
Pz	32.4	1131.4	224.7	0.0	1339.1	31959.9	4.3	2.6
SBEC	0.0	0.0	0.0	NA	0.0	127.8	15943.2	121.5
AH	0.0	0.0	NA	NA	0.0	NA	NA	823.8

Conclusiones

El estudio realizado permitió visualizar los cambios de uso de suelo y vegetación que hubo entre el año 2002-2011 2002-2018 y 2011-2018, pudiendo observar que la mayoría de los cambios fue a favor de la vegetación natural, debido a que la agricultura de riego disminuyó alrededor de 4,000 ha y la agricultura de temporal solo ganó 1,200 ha en todo el periodo de años que se consideró para el estudio. Lo anterior significa que la vegetación natural no perdió superficie, solo se convirtió en otro tipo de vegetación natural. También hubo ganancia por parte de los asentamientos humanos pero muy mínima considerando que el estudio abarca un periodo de 19 años ya que la serie VII abarca desde el 2018 hasta el 2021. Esto se puede considerar como algo positivo para el medio ambiente, sin embargo, también puede verse como una preocupante para el sector primario, debido a que la producción de alimentos estaría viéndose afectada y los productores agrícolas estarían reduciendo su fuente de ingresos.

El estudio también permitió observar que los cuerpos de agua se han mantenido casi con la misma superficie, lo cual podría dar un indicio a que la reducción de la superficie agrícola no se deba a la disponibilidad de agua, sino a otros factores como lo son el encarecimiento de los insumos agrícolas, los cuales, según FIRA (2015) su encarecimiento ha sido influenciado por factores inflacionarios y cambios en la estructura productiva del sector, con un aumento notable en los precios especialmente en fertilizantes, semillas y agroquímicos durante el periodo 2000 – 2015.

Referencias

FAO. (2013). Land cover classification system: Classification concepts and user manual. Software version 3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/3/i5232e/i5232e.pdf

INECC. (2015). Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero 1990-2013. https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero

INEGI. (2021). Atlas territorial de México [Archivo PDF]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463900894.pdf

SADER. (2017). Tamaulipas segundo lugar a nivel nacional en producción de cítricos. https://www.tamaulipas.gob.mx/desarrollorural/2017/04/tamaulipas-segundo-lugar-a-nivel-nacional-en-produccion-de-citricos/

SEMARNAT. (2022). Deforestación y tala ilegal, amenaza latente para nuestros bosques. https://www.gob.mx/semarnat/articulos/deforestacion-y-tala-ilegal-amenaza-latente-para-nuestros-bosques

SIAP. (2025). Anuario estadístico de la producción agrícola. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

FIRA. (2015). Informe de Actividades 2015 [Archivo PDF]. https://www.fira.gob.mx/Nd/Informe_de_Actividades_2015.pdf

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA CUENCA PACÍFICO NORTE, MÉXICO MEDIANTE TÉCNICAS DE ANÁLISIS GEOESPACIAL

Lidia Yadira Pérez-Aguilar[1*], Ramón Fernando López-Osorio[1], Evangelina Avila-Aceves[2], Yedid Guadalupe Zambrano-Medina[2], Roberto Bernal-Guadiana[1], Yareli López Sotelo[1], Cynthia Itzel Jiménez-Bernal[1].

[1]Facultad de Informática Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán 80013, México. [2]Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán 80013, México. *Autor de correspondencia: lidiaperez@uas.edu.mx

Introducción

La evapotranspiración potencial (ETP), que integra la evaporación directa del suelo y la transpiración de la vegetación, es un proceso fundamental en el ciclo hidrológico y un indicador clave para evaluar la disponibilidad hídrica, planificar la producción agrícola y promover la gestión sostenible de los ecosistemas (Singh et al., 2021; Wanniarachchi & Sarukkalige, 2022). En regiones áridas y semiáridas, la ETP refleja no solo la pérdida de agua, sino también la sensibilidad de los ecosistemas frente a variaciones de temperatura y humedad, por lo que su análisis espacio-temporal es esencial para identificar tendencias y patrones de estrés hídrico (Zhang et al., 2023). En México, las zonas áridas y semiáridas cubren más del 50% del territorio nacional y concentran alrededor del 40% de la población, cuya subsistencia depende en gran medida del acceso al agua para la agricultura de riego y el abastecimiento urbano (Briones et al., 2018; CONAFOR, 2015). Dentro de estas regiones, la Cuenca Pacifico Norte (CPN) es particularmente vulnerable debido a su alta demanda hídrica y a la creciente variabilidad climática, siendo estos los factores que condicionan de manera crítica la disponibilidad de recursos hídricos (CONAGUA, 2021; Lilia Magaña et al., 2014). El aumento sostenido de la ETP en la CPN puede relacionarse directamente con fenómenos asociados al cambio climático, como el incremento de la temperatura promedio, la mayor radiación solar neta y modificaciones en la humedad relativa y los patrones de viento, lo que favorece un incremento en la demanda evaporativa de la atmósfera (Monterroso Rivas et al., 2016). Este incremento tiene implicaciones significativas en diversos sectores: en la agricultura, se traduce en una mayor demanda de riego para compensar la pérdida de agua potencial; en los recursos hídricos, implica una disminución de la eficiencia de embalses y cuerpos de agua, así como una presión creciente sobre los acuíferos; y a nivel ecosistémico, genera estrés en la vegetación natural, aumentando el riesgo de degradación del suelo y pérdida de cobertura vegetal(Allen et al., 2020; UN-Water, 2019). En este contexto, el estudio de la evolución espacio-temporal de la ETP en series largas proporciona información valiosa para documentar la magnitud histórica de la pérdida de agua y generar insumos científicos que fortalezcan la modelación del cambio climático y la planificación hídrica, contribuyendo así a la gestión sostenible de los recursos en regiones áridas y semiáridas.

Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo en la Región Hidrológico-Administrativa III Pacífico Norte, ubicada en el noroeste de México. La región está acotada entre los paralelos 21° 38′ N y 28° 12′ N, y los meridianos 103° 20′ O y 109° 28′ O. Limita al oeste con el Océano Pacífico, al noroeste con la Región Noroeste (RHA II), al noreste con la Región Río Bravo (RHA VI), al este con la Región Cuencas Centrales del Norte (RHA VII), y al sureste con la Región Lerma-Santiago-Pacífico (RHA VIII)**.** Geográficamente, comprende la totalidad del estado de Sinaloa y partes de los estados de Chihuahua, Durango, Nayarit y Zacatecas (INEGI, 2021).

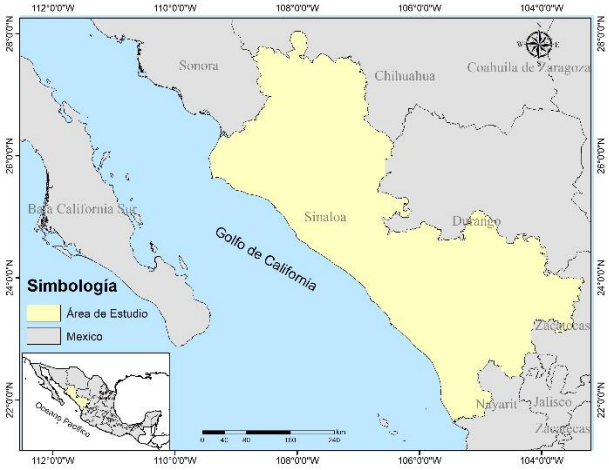


Figura 1. Área de estudio RHA II Pacífico Norte.

Datos. En este trabajo, se emplearon datos anuales de ETp con una resolución espacial de 4 km y cobertura temporal de 1960 a 2024, obtenidos de la base de datos TerraClimate (https://app.climateengine.org/climateEngine), la cual integra observaciones climáticas históricas y modelos de asimilación para generar estimaciones consistentes a escala global (Abatzoglou et al., 2018). La consideración de esta variable resulta particularmente relevante para el contexto de la Cuenca Pacífico Norte, donde las condiciones de aridez y variabilidad climática exigen un monitoreo continuo y detallado de la disponibilidad de agua en relación con la demanda atmosférica.

Procesamiento. Tras la descarga de los mapas de ETP correspondientes a los 64 años consecutivos del periodo de estudio, se procedió al procesamiento de los datos espaciales. En primer lugar, se delimitó la extensión al área de interés, garantizando que el análisis se centrara únicamente en las cuencas bajo estudio. Posteriormente, se realizó la reproyección a la proyección Cónica Conforme de Lambert, asegurando la consistencia cartográfica entre los distintos años. A continuación, se aplicó un resampling para ajustar la resolución espacial de los datos, transformando los píxeles originales de 4 km a un tamaño de 250 m. Finalmente, se llevó a cabo la corrección de píxeles vacíos o nulos (Barrow, 1992; Cherlet et al., 2018), con el objetivo de garantizar la integridad y continuidad de las series espaciales para su posterior análisis.

Resultados y discusión

El análisis de la ETP se realizó de manera anual para el periodo comprendido entre 1960 y 2024. Sin embargo, para fines de representación cartográfica, en la Figura 2 se presentan los resultados en intervalos de cinco años, lo que permite visualizar de manera más clara los patrones espacio-temporales. Los datos revelan que si bien en las primeras décadas (1960–1980) los valores máximos de ETP se mantuvieron relativamente estables, a partir de la década de 1990 se observa una intensificación progresiva, alcanzando picos notables en 1994 (2211 mm), 2011 (2381 mm), 2018 (2375 mm) y 2024 (2385 mm). Esta tendencia refleja un incremento sostenido de la demanda evaporativa de la atmósfera, con mayor impacto en las últimas tres décadas, lo cual constituye un indicio relevante de la intensificación de procesos asociados al cambio climático y al estrés hídrico en la región.

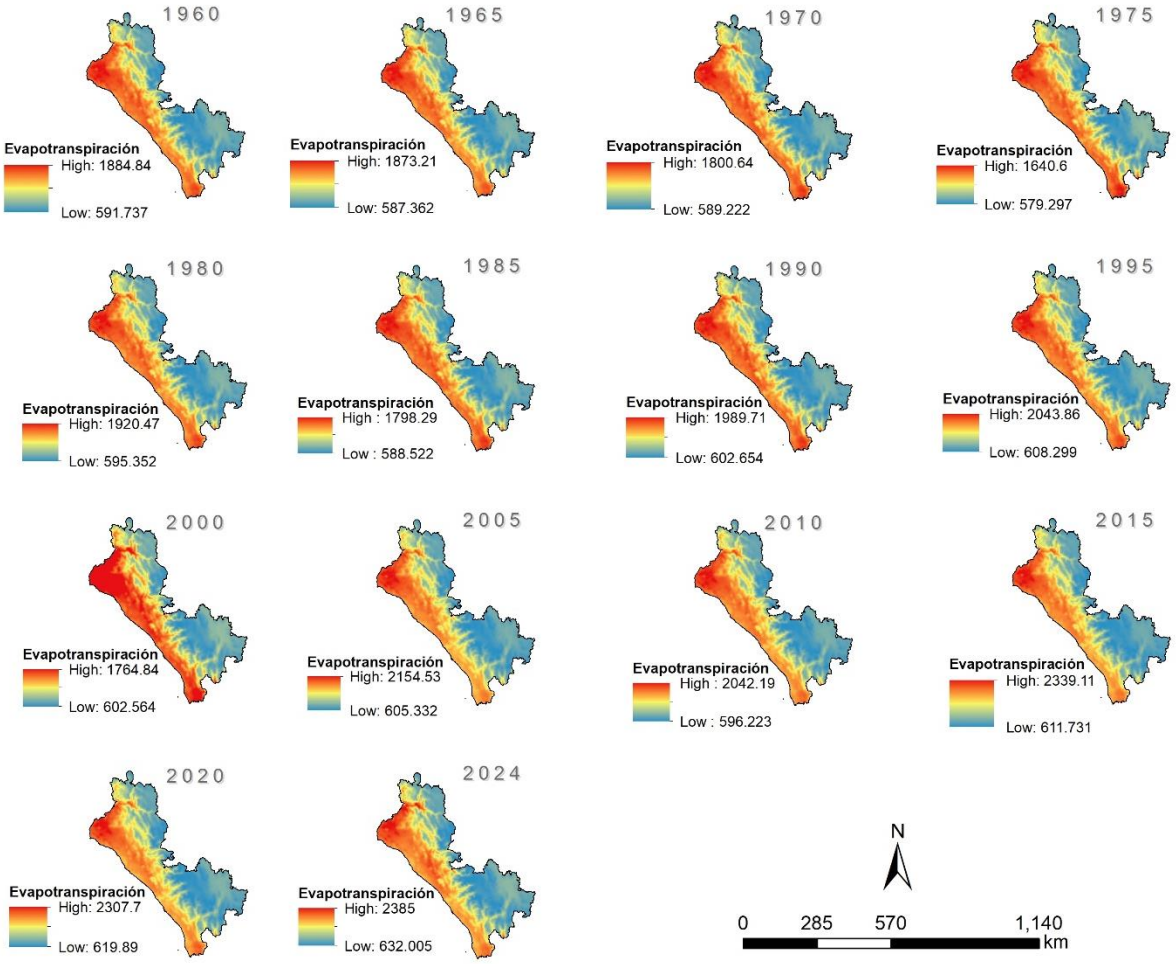


Figura 2. Mapas de aridez Evapotranspiración Potencial periodo 1960-2024, con periodos de 5 años.

El Cuadro 1 presenta la serie histórica de evapotranspiración máxima y mínima anual registrada en la cuenca Pacífico Norte durante el periodo 1960–2024. Este conjunto de datos constituye un insumo fundamental para el análisis de la dinámica hidroclimática regional, al reflejar las variaciones interanuales en la demanda evaporativa de la atmósfera.

Cuadro 1. Datos de Evapotranspiración por año (mm)

Año	ETP Max	ETP Min	Año	ETP Max	ETP Min	Año	ETP Max	ETP Min	Año	ETP Max	ETP Min
1960	1884.84	591.74	1977	1841.72	586.96	1994	2211.53	612.71	2011	2381.09	611.36
1961	1908.77	595.39	1978	1769.11	586.741	1995	2043.86	608.30	2012	2290.27	615.18
1962	1994	601.63	1979	1692.79	578.85	1996	2091.46	608.86	2013	2107.52	602.21
1963	2021.49	603.57	1980	1920.47	595.35	1997	2163.67	604.28	2014	2311.74	613.38
1964	1798.52	586.512	1981	1760.51	588.04	1998	2232.72	615.06	2015	2339.11	611.73
1965	1873.21	587.362	1982	1916.86	601.519	1999	1974.43	601.018	2016	2289.07	614.192
1966	1849.54	585.696	1983	1887.21	594.287	2000	1764.84	602.564	2017	2287.45	619.864
1967	1839.14	593.27	1984	1706.48	591.079	2001	2086.61	599.154	2018	2375.54	614.612
1968	1699.35	585.062	1985	1798.29	588.522	2002	2088.72	607.171	2019	2013.43	616.938
1969	1891.59	595.602	1986	1901.52	597.293	2003	2054.04	605.604	2020	2307.7	619.89
1970	1800.64	598.222	1987	1926.77	586.721	2004	2059.79	603.711	2021	2145.17	611.441
1971	1744.17	592.332	1988	1835.84	588.385	2005	2154.53	605.332	2022	1967.47	611.079
1972	1928.81	604.012	1989	1989.61	599.758	2006	2178.65	611.956	2023	2372.4	627.655
1973	1746.19	584.039	1990	1989.71	602.654	2007	2074.54	601.386	2024	2385	632.005
1974	1758.7	592.889	1991	1927.33	599.719	2008	2018.85	601.233			
1975	1640.6	579.297	1992	2050.97	601.819	2009	2283.29	613.751			
1976	1700.21	576.724	1993	1960.43	603.714	2010	2042.19	596.223			

La gráfica de tendencia (Figura3) muestra un incremento progresivo en los valores máximos de evapotranspiración a lo largo del periodo analizado. Este comportamiento confirma una intensificación en la demanda evaporativa de la atmósfera, lo que resulta clave para comprender la creciente aridez, la disminución en la disponibilidad hídrica y la mayor susceptibilidad a procesos de desertificación en regiones con condiciones climáticas contrastantes.

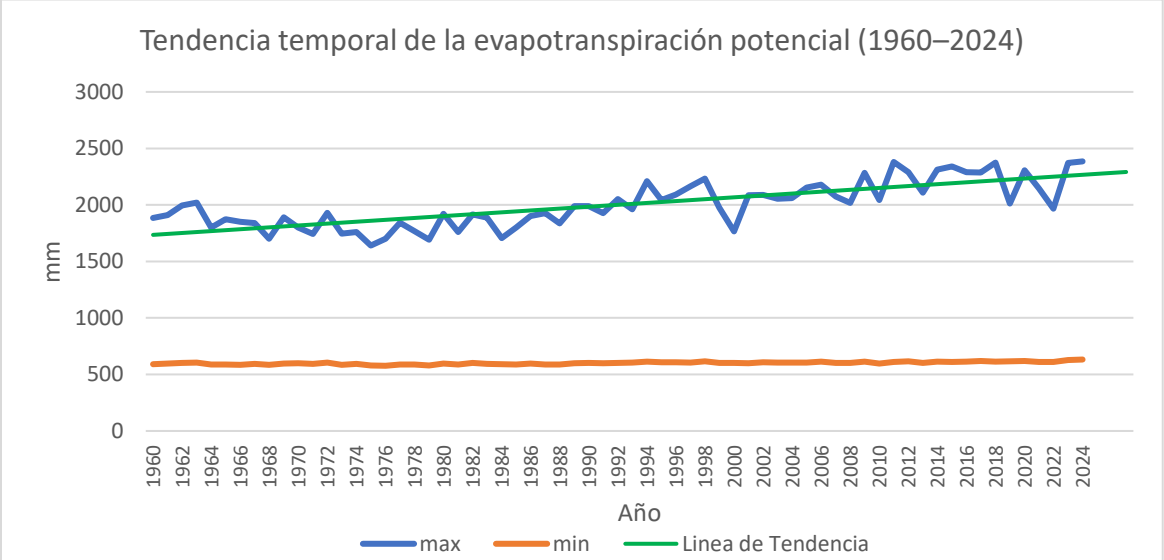


Figura3. Tendencia temporal de la ETP en sus valores máximos, periodo 1960-2024.

Conclusiones

El análisis histórico de la evapotranspiración en la RHA III Pacífico Norte (1960–2024) muestra una clara tendencia de incremento en los valores máximos, que pasaron de alrededor de 1,700–1,900 mm en los años sesenta a superar los 2,300 mm en la última década, alcanzando un récord de 2,385 mm en 2024. En contraste, los valores mínimos se han mantenido relativamente estables en un rango de 576 a 632 mm, aunque con un ligero aumento después de 2017. Esta evolución refleja no solo una mayor demanda evaporativa de la atmósfera, sino también un aumento en la variabilidad interanual, donde periodos de descenso se ven seguidos por repuntes marcados en las últimas décadas.

Las implicaciones de este comportamiento son especialmente críticas en regiones secas de la cuenca. El incremento sostenido de la evapotranspiración intensifica la pérdida de humedad en el suelo y la vegetación, reduciendo la disponibilidad hídrica y aumentando el riesgo de desertificación (Myoung et al., 2012; Zhang et al., 2023). En áreas agrícolas, este fenómeno puede generar mayor presión sobre los sistemas de riego y comprometer la seguridad alimentaria, mientras que en los ecosistemas naturales acentúa el estrés hídrico y la degradación de hábitats (Hatfield & Dold, 2019). En conjunto, estas tendencias evidencian un escenario de creciente vulnerabilidad hídrica que exige estrategias de manejo sostenible y adaptativo para mitigar los efectos del cambio climático en la región.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2020, February 29). Evapotranspiración del cultivo; Guías para la determinación de los requerimientos de los cultivos. *Agua.Org.Mx*. https://agua.org.mx/biblioteca/evapotranspiracion-del-cultivo-guias-para-la-determinacion-de-los-requerimientos-de-los-cultivos/

Barrow, C. J. (1992). World atlas of desertification (United nations environment programme), edited by N. Middleton and D. S. G. Thomas. Edward Arnold, London, 1992. Isbn 0 340 55512 2, £89.50 (hardback), ix + 69 pp. *Land Degradation & Development*, *3*(4), 249–249. https://doi.org/10.1002/ldr.3400030407

Briones, O., Búrquez, A., Martínez-Yrízar, A., Pavón, N., & Perroni, Y. (2018). Biomass and productivity in mexican arid lands. *Madera y Bosques*, *24*(Special Issue). https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401898

Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., & von Maltitz, G. (2018). *World Atlas of Desertification* (3rd ed.). Office of the European Union. Quantification Error versus Location Error in Comparison

CONAFOR. (2015). La Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA) | Innovacion Forestal. *2015*.

CONAGUA. (2021). *Monitor de Sequía en México*. 2021. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico

Hatfield, J. L., & Dold, C. (2019). Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. *Frontiers in Plant Science*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103

INEGI. (2021). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI*. INEGI; Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. https://www.inegi.org.mx/

Lilia Magaña, A., Eduardo Morales Santos, A., & Sánchez Rodríguez, R. A. (2014). *Desarrollo de Estrategias de Adaptación al Cambio Climático en Municipios Vulnerables del Noroeste de México*.

Monterroso Rivas, A. I., Gómez Díaz, J. D., Arce Romero, A. R., Palacios Mendoza, M. Á., & Lechuga Gayosso, L. M. (2016). Evapotranspiración de referencia (ET0) y cambio climático en México como herramienta de planeación de la adaptación. In J. Olcina Cantos, A. M. Rico Amorós, & E. Moltó Mantero, *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 557–564). Servicio de Publicaciones de la UA. https://doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-52

Myoung, B., Choi, Y.-S., Choi, S.-J., & Park, S. K. (2012). Impact of vegetation on land-atmosphere coupling strength and its implication for desertification mitigation over East Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *117*(D12). https://doi.org/10.1029/2011JD017143

Singh, P., Srivastava, P. K., & Mall, R. K. (2021). Chapter 8—Estimation of potential evapotranspiration using INSAT-3D satellite data over an agriculture area. In P. K. Srivastava, M. Gupta, G. Tsakiris, & N.

W. Quinn (Eds.), *Agricultural Water Management* (pp. 143–155). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812362-1.00008-4

UN-Water. (2019). Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua (ONU-Water). *Agua.Org.Mx*. https://agua.org.mx/biblioteca/informe-de-politicas-de-onu-agua-sobre-el-cambio-climatico-y-el-agua-onu-water/

Wanniarachchi, S., & Sarukkalige, R. (2022). A Review on Evapotranspiration Estimation in Agricultural Water Management: Past, Present, and Future. *Hydrology*, *9*(7), 123. https://doi.org/10.3390/hydrology9070123

Zhang, W., Koch, J., Wei, F., Zeng, Z., Fang, Z., & Fensholt, R. (2023). Soil Moisture and Atmospheric Aridity Impact Spatio-Temporal Changes in Evapotranspiration at a Global Scale. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *128*(8), e2022JD038046. https://doi.org/10.1029/2022JD038046

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO (1980-2024): SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO + VITAMINA E Y SU RELACIÓN CON LA IMPLANTACIÓN EMBRIONARIA EN CABRAS

Raquel Santos-Silva[1*], Blanca I. Sánchez-Toledano[2], César A. Meza-Herrera[1], Guadalupe Calderón-Leyva[3], César A. Rosales-Nieto[4], Pablo Arenas-Báez[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo 35230, México. [2]Campo Experimental Zacatecas-INIFAP, Calera, Zacatecas 98500, México. [3]Departamento de Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - UL, Torreón 25315, México. [4]Department of Agricultural Sciences, Texas State University, San Marcos 78666, U.S.A. *Autor de correspondencia: raquel.santos@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La cabra, desde su domesticación, es una especie de importancia global debido a su rol significativo en el desarrollo del hombre (Meza-Herrera et al., 2024). Sus productos continúan impactando en la sociedad al ofrecer una sostenibilidad nutricional, económica y ambiental (Navarrete-Molina et al., 2020; Meza-Herrera et al., 2022; Lu, 2023) particularmente en sistemas de producción marginales (Navarrete-Molina et al., 2024). La versatilidad de las cabras le ha permitido adaptarse a diversas condiciones y climas, particularmente en zonas áridas (Gonzalez-Bulnes et al., 2011; Meza-Herrera & Tena-Sempere, 2012; Aslam et al., 2023). Sin embargo, dicho ecotipo conlleva una variabilidad estacional en la calidad y cantidad de alimento, ocasionando un estrés nutricional y térmico, comprometiendo el comportamiento productivo y reproductivo de las cabras (Urrutia-Morales et al., 2009; Meza-Herrera et al., 2010 & 2015; Sa'ayinzat et al., 2021). Por lo anterior, un adecuado aporte de vitaminas y minerales es importante en el comportamiento reproductivo (Kaya et al., 2023). De igual manera, los antioxidantes presentes en ciertas vitaminas y minerales reducen los efectos nocivos generado por el estrés oxidativo; una producción excesiva de especies reactivas al oxígeno (ROS) y al nitrógeno (RNS), comprometen la viabilidad de los ovocitos y limitan la implantación embrionaria (Rakha et al., 2022).

El selenio (Se) es un micromineral antioxidante que cataliza la reducción de peróxidos y lipoperóxidos generados en la gestación (Ramírez, 2018). Las deficiencias de Se pueden desencadenar una baja o nula ovulación, pérdida embrionaria y muerte fetal. Por su parte, la vitamina E (VitE) mejora la tasa de ovulación y el número de crías al favorecer la maduración del ovocito, la fertilización y el desarrollo embrionario (Özar et al., 2022). Por lo anterior, es importante identificar las tendencias sobre este tema y encontrar vacíos de información para tener un amplio panorama, descriptivo e interpretativo, en un esquema cronológico e interrelacionado; dicha información es crítica para el planteamiento de preguntas científicas (Arbeláez y Onrubia, 2014). La bibliometría es un método de análisis cuantitativo que evalúa las publicaciones científicas y resultados de investigación en un área determinada del conocimiento, con objeto de cuantificar la calidad y cantidad de la producción científica, identificar tendencias, evaluar la productividad de autores e instituciones, y apoyar la toma de decisiones en investigación y financiación (Michán y Muñoz-Velasco, 2013). El objetivo del presente estudio fue analizar los resultados de las investigaciones publicadas en tres plataformas científicas -Google Scholar, Scopus y Science Direct-, respecto al efecto de la suplementación Se y VitE, y su posible relación con la tasa ovulatoria y la implantación embrionaria de cabras durante el período 1980-2024.

Metodología

El análisis bibliométrico consideró la metodología propuesta por Michán y Muñoz-Velazco (2013) que consiste en:

Recuperación y estrategia de búsqueda. Se seleccionaron las fuentes de información a utilizar para establecer la búsqueda de artículos científicos con términos, operadores y criterios óptimos; se utilizaron las herramientas bibliográficas Google Scholar, Scopus y Science Direct. La búsqueda sistemática consideró que abordaran el uso del Se y VitE en la implantación del embrión, y consideró libros, tesis y artículos científicos del período seleccionado, utilizando los operadores (Selenium and vitamin E) AND (embryo implantation of goats), selenium AND vitamin AND e AND in AND embryo AND implantation, (Selenium and vitamin E) and (embryo implantation) (in goats).

Criterios de inclusión y exclusión. Una vez conformada la base de datos, se consideraron criterios de inclusión y exclusión, incluyendo solamente artículos científicos escritos en inglés y español que abordaran el tema de interés en el ámbito disciplinario de la producción animal o veterinaria, que se alinearan a las palabras claves introducidas en la búsqueda (Romero y Camarena, 2023), excluyendo documentos duplicados.

Migración. Consideró la descarga del corpus de las búsquedas en Google Scholar, Scopus y Science Direct en el formato estandarizado RIS (Research Information Systems Incorporated). La información seleccionada se incorporó en una nueva base de datos y se realizó un proceso de depuración para obtener datos normalizados.

Análisis. Se realizó el procesamiento cuantitativo de la literatura (VOSviewer 1.6) y se utilizó para analizar las características de las publicaciones en el período de interés (Microsoft Excel).

Visualización. Se generaron mapas de red bibliométricos (VOSviewer, ver. 1.6.5. Universidad de Leiden, Países Bajos) que reflejaron las tendencias y los resultados de los análisis. Posteriormente, se ejecutó un algoritmo de clustering para posicionar y clasificar las palabras clave y mostrar el acoplamiento bibliográfico entre países, coocitas de referencias y coocurrencia de palabras claves (Hernández-García et al., 2024).

Interpretación. Finalmente, se realizó la interpretación de los resultados obtenidos (Cardona-Román y Sánchez-Torres, 2017).

Resultados y discusión

Documentos científicos publicados por año. En el periodo analizado (1980 – 2024), se identificaron 169 publicaciones relacionadas al tema de estudio (Se, VitE, e IE) en las plataformas Google Scholar, Scopus y Science Direct (Figura 1). Aunque la búsqueda inició en 1980, hasta 1983 se observaron las primeras publicaciones de interés; dicho año se consideró como punto de partida para el desarrollo del análisis bibliométrico. En 1983 se publicó un artículo sobre el metabolismo del Se (Shamberger, 1983), en 1986 se reportó una tesis que abordaba los efectos del Se la preñez (Smith, 1986) y un libro sobre implantación del embrión (Robinson, 1986).

Figura 1. Número de publicaciones científicas desde 1980-2024.

Se observó un bajo número de publicaciones hasta el año 2000, con una media anual de 1.37±0.51 documentos (Fig. 1). A partir de 2010 inicia un crecimiento sostenido con su punto máximo en 2024 (18 publicaciones). El periodo 2020–2024 concentró el 45 % del total de documentos, sugiriendo un creciente y reciente interés en la temática. Existieron diferencias en la dinámica del crecimiento respecto al modelo biológico usado, con una baja proporción de publicaciones en cabras. Al respecto, Fraire-Cordero et al. (2013) y Özar et al. (2022), argumentan que, aunque existe un interés en el tema, la participación de los caprinos es marginal.

Mapas de visualización de red

Mapas de co-autoría. El análisis de red en co-citación (v.g., “dentro autores”), permite descifrar aspectos como la afiliación institucional de los investigadores que abordan dicho “Hub de conocimiento” o área de investigación (Martínez-Toro et al., 2018) y que escriben en la misma red, ya sea de manera directa o indirecta (University Library, 2024), y muestra la relación que existe entre dos documentos citados. Dicho análisis generó un total de 624 autores, algunos de los cuales no tenían conexión directa; el software tiene la opción de mostrar el grupo con la mayor cantidad de autores conectados, en nuestro caso específico 12 autores, de acuerdo a lo observado en la primer parte de la Figura 2.

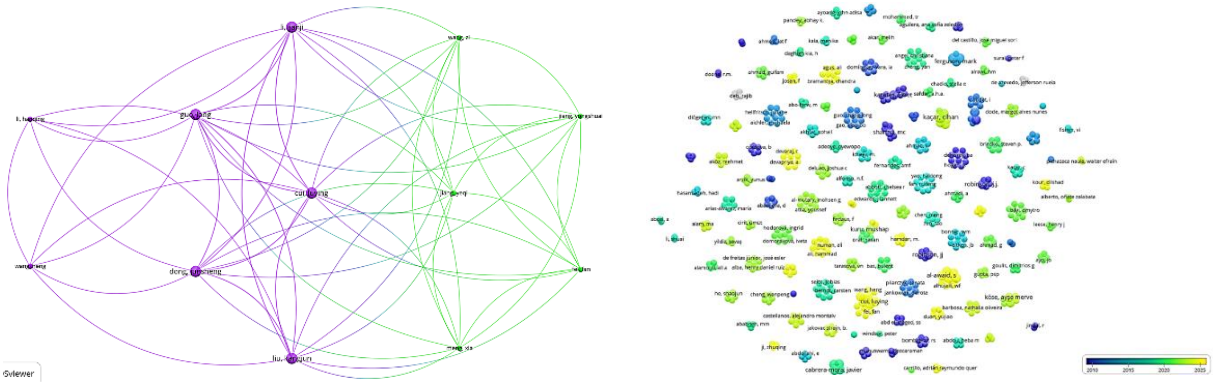


Figura 2. Mapas de visualización de coautoría.

La segunda parte de la Figura 2 muestra que existe una gran cantidad de pequeñas redes de autores con citas concurrentes. Se confirmaron 129 clústers; el primero concentró el mayor número de investigadores (12), liderado por Cui, L. (2024). Los siguientes 11 clústers incluyeron 10 autores cada uno, encabezados por Abbott, C. (2019), Abd El-Bar, M. (2022), Aichler, M. (2013), Ali, H. (2024), Ángel, C. (2019), Berndt, C. (2018), Dehorit, B. (1999), Devapriya, A. (2024), Fan, R. (2016), Gao, X. (2012) y Audet, I. (2012). Dicho escenario sugiere una fragmentación en la colaboración científica; la falta de interacción y conformación de redes de investigación limita el avance del conocimiento científico. En efecto, la investigación interdisciplinaria y cooperativa acelera los descubrimientos en fisiología de la reproducción (Martínez-Toro et al., 2019).

Mapas de co-ocurrencia de palabras clave. *Se* observaron un total de 488 palabras clave, aunque se generó un clúster principal con 28 palabras clave con respecto al total de la serie de datos en las plataformas Google Scholar, Scopus y Science Direct (Fig. 3). También se generaron 23 clústers; el mayor con 27 ítems donde la palabra principal fue “desarrollo anormal”. El segundo clúster contenía 22 ítems y la palabra principal fue “estadio de blastocisto”. Los clústers 3, 4 y 5 se formaron con 21 ítems, siendo “aditivo”, “merino anatolian” y “alfa”, las palabras principales.

En siguientes clústeres las palabras principales fueron: “célula del estroma endometrial bovino”, “actividad antioxidante”, “mortalidad embrionaria bovina”, “compuesto”, “impacto adyuvante”, “peso al nacer”, “aminoácido”, “enzima antioxidante”, “estrógeno”, “apoptosis”, “gatos”, “ganado vacuno”, “mejora”, “enzima antioxidante selenoproteína”, “adaptación”, “oveja adulta”, “función corporal” y “capítulo”. Los resultados confirmaron que gran parte de la investigación se ha enfocado hacia la fisiología celular y hacia los efectos del estrés oxidativo en especies de interés zootécnico. Asimismo, se observó un enfoque marginal tanto bajo condiciones productivas así como en el género Capra. Dichos análisis confirman que él Se es un mineral esencial de la enzima glutatión peroxidasa y que la VitE neutraliza radicales libres y favorece la ovulación, fertilización y desarrollo embrionario (Mora et al., 2019; Rakha et al., 2022). Sin duda, los vacíos de información en cabras dificultan el establecimiento de la pauta a considerar respecto a los niveles de suplementación adecuados.

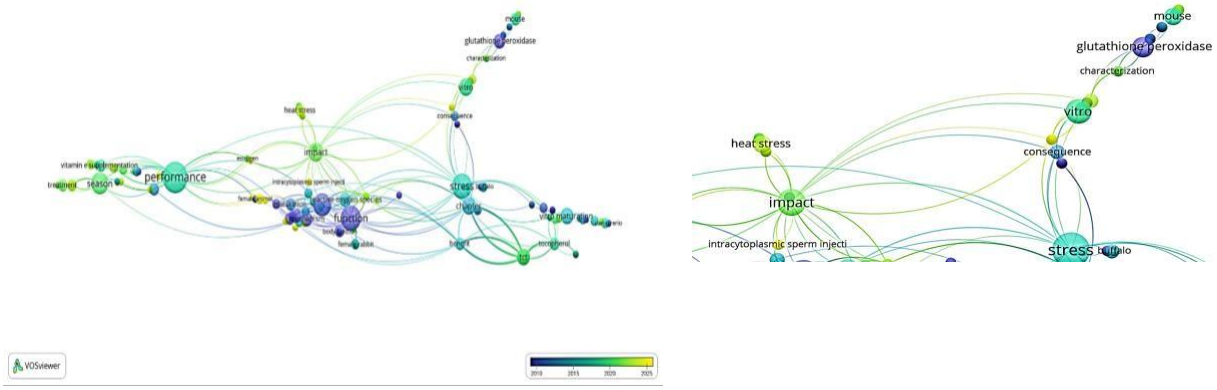


Figura 3. Mapas de visualización de coocurrencia de palabras clave.

Conclusión

El análisis bibliométrico mostró 169 publicaciones sobre Selenio y Vitamina E (1980-2024), con un aumento importante a partir de 2010. Sin embargo, la mayoría se centra en otras especies de interés zootécnico diferentes a los caprinos. La limitada colaboración entre autores y el vacío de investigación específico, representa una oportunidad para futuros estudios en caprinos.

Referencias

Arbeláez, G. M. y Onrubia, G. J. (2014). Análisis bibliométrico y de contenido. Dos metodologías complementarias para el análisis de la revista colombiana Educación y Cultura. Revista de Investigaciones UCM, 14(23). 14-31.

Aslam., Jain, G., James, S. N., Sarathi, P. C. & Kumar, S. A. (2023). An Overview of Goat Farming and Its Importance. Indian Journal of Livestock and Veterinary Research 3(1).

Cardona-Román, D. M. y Sánchez-Torres, J. M. (2017). Análisis cienciométrico de la producción científica acerca de la investigación sobre la evaluación de la implementación del e-learning en el periodo 2000-2015. Educación, 26(51).

Fraire-Cordero, S., Pró-Martínez, A., Ramírez-Valverde, G., Sánchez-del Real, C., y Gallegos-Sánchez, J. (2013). Selenio y vitamina E en la fertilidad de ovejas Pelibuey sincronizadas con progesterona. Universidad y ciencia, 29(1), 33-44.

Gonzalez-Bulnes, A., Meza-Herrera, C.A., Rekik, M., Ben Salem, H., & Kridli, R.T. (2011). Limiting factors and strategies for improving reproductive outputs of small ruminants reared in semi-arid environments. In: Degenovine, K.M. (Ed.), Semi-arid Environments: Agriculture, Water Supply and Vegetation. Nova Science Publishers Inc., Hauppauge, NY, USA, pp. 41e60 (Chapter 2).

Hernández-García, J. M., Castellanos-Potenciano, B. P., Ramírez-Guillermo, M. A. y Ramos-Hernández, E. (2024). Análisis bibliométrico sobre la producción científica de Maconellicoccus hirsutus (1971-2021). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15(8).

Kaya, S., Koçak, G., Demir, M. C & Kaçar, C. (2023). The effect of vitamin E- trace mineral treatments on reproductive performance in Morkaraman sheep during the breeding season. Kafkas Univ Vet Fak Derg, 29 (2), 161-169.

Lu, C. D. (2023). The role of goats in the world: Society, science, and sustainability. Small Ruminant Research, 227, 107056.

Martínez-Toro, G. M., Rico-Bautista, D., Romero-Riaño, E., Galeano-Barrera, C. J., Guerrero, C. D. y Parra-Valencia, J. A. (2019). Análisis de la estructura intelectual y la evolución de la investigación en la interacción humano -computador: un análisis bibliométrico. Iberian Journal of Information Systems and Technologies, 17. 363-378.

Meza-Herrera, C.A., Gonzalez-Bulnes, A., Kridli, R.T., Mellado, M., Arechiga-Flores, C.F., Salinas, H. & Luginbuhl, J.M. (2010). Neuroendocrine, metabolic and genomic cues signalling the onset of puberty in females. Reproduction in Domestic Animals. 45(6): e495-e502.

Meza-Herrera, C.A. & Tena-Sempere, M. (2012). Interface between nutrition and reproduction: the very basis of production. (Chapter 3). In: Animal Reproduction in Livestock. [eds. S. Astiz, A. Gonzalez-Bulnes], in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), under the auspices of the UNESCO, EOLSS-UNESCO Publishers, Oxford, UK, [http://www.eolss.net/outlinecomponents/Reproduction-in-Livestock.aspx].

Meza-Herrera, C.A., Vicente-Pérez, A., Osorio-Marín, Y., Girón-Gómez, B. S., Beltrán-Calderón, E., Avendaño- Reyes, L., Correa-Caldeón, A. & Macías-Cruz, U. (2015). Heat stress, divergent nutrition level and late pregancy in hair sheep: Effects upon cotyledon development and litter weight at birth. Tropical Animal Health & Production. 47(05):819-824.

Meza-Herrera, C.A., Navarrete-Molina, C., Luna-García, L.A., Perez-Marin, C., Altamirano-Cárdenas, J.R., Macias-Cruz, U., García de la Peña, C. & Abad-Zavaleta, J. (2022). Small ruminants and sustainability in Latin America & the Caribbean: Regionalization, main production systems, and a combined productive, socio-economic & ecological footprint quantification. Small Ruminant Research. 211(6):106676.

Meza-Herrera, C. A., Navarrete-Molina, C., Macias-Cruz, U., Arellano-Rodriguez, G., De Santiago-Miramontes, A., Sariñana-Navarrete, M. A., Marin-Tinoco, R. I., & Perez-Marin, C. C. (2024). Dairy Goat Production Systems: A Comprehensive Analysis to Reframe Their Global Diversity. Animals, 14, 3717.

Michán, L., Muñoz-Velazco, I. (2013). Cienciometría para las ciencias médicas: definiciones, aplicaciones y perspectivas. Investigación en Educación Médica, 2(6). 100-106.

Mora, A. S. de los A., Zeledón, A. A. S. y Vargas, R. T. (2019). Estrés oxidativo y antioxidantes: efectos en el embarazo. Revista Médica Sinergia, 4(5). 89-100.

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C.A., Herrera-Machuca, M.A., Macias-Cruz, U. & Veliz-Deras, F.G. (2020). Not all ruminants were created equal: Environmental and socio-economic sustainability of goats under a marginal-extensive production system. Journal of Cleaner Production. 255: May 10, 120237.

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C.A., De Santiago-Miramontes, A., Valenzuela-Núñez, L.M., Marin-Tinoco,

R. I., Soto-Cardenas, M.A. & Sariñana-Navarrete, M. A. (2024). Dairy Goat Production: Socioeconomic, Environmental, and Cultural Importance Across Time (1970–2022) and Possible Scenarios (2050). Resources, 13, 177.

Özar, E., Sarıbay, M. K., Köse, A. M. & Sertkol, R. (2022). Effects of selenium, vitamin E, and β-carotene administration on fertility of Awassi ewes synchronized for estrus in non-breeding season. Veterinary Journal of Mehmet Akif Ersoy University, 7(3), 167-174.

Rakha, S.I, Elmetwally, M.A., El-Sheikh Ali, H., Balboula, A., Mahmoud, A.M. & Zaabel, S. M. (2022). Importance of Antioxidant Supplementation during In Vitro Maturation of Mammalian Oocytes. Vet. Sci., 9, 439.

Ramírez, S. E. (2018). Atributos fisiológico-reproductivos e inmunidad por selenio en ovejas. [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados].

Romero, V. D. M. y Camarena, G. B. O. (2023). El consumo sustentable y responsable: conceptos y análisis desde el comportamiento del consumidor. Revista Vértice Universitario, 25(94).

Sa'ayinzat, F.E., Bawa, E.K., Ogwu, D. & Ayo, J.O. (2021). Oxidative stress and its effects on reproductive performance in thermally-stressed ewes. International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry, 6(4), 09-17.

Urrutia-Morales, J., Meza-Herrera, C.A., Escobar-Medina, F.J., Gamez-Vazquez, H.G., Ramirez-Andrade, B.M., Diaz-Gomez, M.O. & Gonzalez-Bulnes, A. (2009). Relative roles of photoperiodic and nutritional cues in modulating ovarian activity in goats. Reproductive Biology. 9(3):283-294.

EVOLUCIÓN DE COSTOS Y VIABILIDAD FINANCIERA DE UNA UNIDAD LECHERA FAMILIAR EN ZACATECAS, 2022–2025.

Mario Antonio Hernandez-Velasquez[1*]; Fernando Cervantes-Escoto[2]; Angélica Espinoza-Ortega[3]; Leticia Myriam Sagarnaga-Villegas[2]; Leticia Elizabeth Romero-García[4]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. [2]Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), Universidad Autónoma Chapingo. [3]Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. [4]Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Panamericana. * Autor para correspondencia: mario.hernandez@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La viabilidad de las unidades de producción lechera familiar en México se ha vuelto cada vez más crucial frente a las fluctuaciones del mercado y los desafíos económicos. La apertura comercial y la importación de leche en polvo han presionado a la baja los precios nacionales, poniendo en riesgo la permanencia de los pequeños productores (Espinoza-Ortega et al., 2005; Espinoza Arellano et al., 2019). Esta vulnerabilidad es especialmente relevante si se considera que más del 78 % de las fincas lecheras del país son de pequeña escala (Lozano-Domínguez et al., 2025) con hatos reducidos, uso intensivo de mano de obra familiar y recursos limitados para alimentación y tecnología. En el estado de Zacatecas, de clima semiárido-templado, predomina un modelo de lechería familiar o de traspatio que, dentro de los ejes socioeconómicos pecuarios, constituye la segunda cadena en importancia (Ríos-Flores, 2016). Además, como señalan Ramírez-González et al. (2025), la producción a pequeña escala opera con márgenes de rentabilidad decrecientes, por lo que resulta indispensable explicar los factores que inciden en su desempeño.

En este contexto, el presente estudio analiza la evolución de los costos y la viabilidad financiera de una Unidad Representativa de Producción (URP) familiar en Zacatecas, modelada en 2022 en el municipio de Pinos. Se compara su desempeño económico con información actualizada a 2025, con el objetivo de evaluar su sostenibilidad en el corto, mediano y largo plazo. Metodológicamente, se contrastan los flujos de efectivo, financiero y económico; expresados en precios reales de enero de 2025, para identificar tendencias en ingresos y egresos, así como los factores que afectan la rentabilidad. Los hallazgos buscan ofrecer una visión clara de la situación presente y futura de la ganadería lechera familiar en la región y aportar insumos útiles para la toma de decisiones y el diseño de estrategias que fortalezcan su capacidad de subsistencia en un entorno económico dinámico.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la comunidad de Cerrito de Dolores, municipio de Pinos, Zacatecas, mediante la construcción y análisis de una Unidad Representativa de Producción (URP) familiar denominada ZABL08. La información se obtuvo mediante la técnica de paneles de productores propuesta por Sagarnaga-Villegas et al. (2018), recabando parámetros técnicos, así como precios de insumos y productos pecuarios.

Para la modelación de la URP participaron siete panelistas, seleccionados por el método de conveniencia con apoyo de un facilitador local experto en la producción lechera de la zona. Aunque a la sesión inicial de conformación del panel asistieron 16 productores, solo aquellos con mayor experiencia y conocimiento técnico participaron activamente en el proceso. Esta selección permitió recopilar información técnica y económica detallada y específica sobre los sistemas de producción de leche, con el fin de cuantificar los ingresos y costos de producción y evaluar la viabilidad económica y financiera de la URP. Cabe señalar que el método de paneles de productores no requiere muestras estadísticamente representativas; sin embargo, los resultados obtenidos, aunque no son generalizables a toda la población, sí reflejan de manera adecuada la situación de unidades de producción familiares con características similares presentes en la misma región de estudio.

El primer panel (junio de 2022) conformó la línea base de inventario de ganado, volúmenes de producción y estructura de costos e ingresos; el segundo (agosto de 2025), con los mismos panelistas, se actualizaron los precios manteniendo constante la estructura física (número de animales, litros de leche y cantidades de insumos). Con ambas rondas se integró una base de datos en Microsoft Excel® 2022, a partir de la cual se estimaron costos de operación y costos generales (desembolsados y no desembolsados) e ingresos totales y netos. Estas variables permitieron calcular el flujo de efectivo, así como los costos financieros y económicos, siguiendo los lineamientos de la American Agricultural Economics Association Task Force (AAEA) y adaptada para México por Sagarnaga-Villegas et al. (2018).

Para garantizar la comparabilidad, todos los valores se expresaron en precios constantes de enero de 2025 mediante:

1. Deflactación de 2022 con el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC).
2. Ajuste de los datos de agosto de 2025 a la misma base (enero de 2025).

Con los datos homogenizados se compararon los resultados de 2022 vs. 2025, analizando la evolución de costos e ingresos y la viabilidad financiera y económica de la lechería familiar en Pinos, Zacatecas.

Resultados y discusión

La URP analizada se clasifica como de pequeña escala por contar con menos de 50 vacas en producción. Opera un sistema de lechería estabulado con ocho vientres en ordeña de diversas razas, entre las que destacan Cebú, Gyr y Suizo. La alimentación se basa principalmente en silo y rastrojo de maíz, nopal tatemado, pan molido y, en ocasiones, concentrados proteicos al 20 %. La ordeña es manual, dos veces al día, con una producción diaria de entre 120 y 130 litros de leche por hato (Hernandez-Velasquez, et al., 2023).

El Cuadro 1 presenta la evolución de los ingresos entre 2022 y 2025, expresados en precios constantes de enero de 2025. Se observan dos comportamientos diferenciados. Primero, los ingresos por venta de leche disminuyeron 5.45 % en términos reales, pese a que la producción se mantuvo constante y el precio nominal por litro aumentó de 8.00 a 8.70 pesos; al corregir por inflación, ello implica una reducción real del precio de 5.73 %. Segundo, los ingresos por venta de animales aumentaron 56.58 %, impulsados por un incremento real de precios; a modo de referencia, el ingreso por vaca de desecho pasó de 10,000 a cerca de 18,000 pesos en términos nominales, equivalente a un aumento real de 57.61 %. En conjunto, estos movimientos modificaron la composición del ingreso, con mayor participación relativa de las ventas de animales en 2025.

Con relación a los costos de producción presentados en precios constantes de enero de 2025, la alimentación se mantuvo como el principal componente, con participaciones cercanas a 80 % del costo financiero total en 2022 y 78 % en 2025. La reducción real del costo de alimentación de 13.5 %, así como la disminución de 13.0 % en los costos de operación, no obedece a ajustes en la ración, puesto que la estructura física y técnica del sistema se mantuvo constante. La principal explicación es organizativa: los productores que modelaron la URP integran una sociedad cooperativa que, desde 2023, implementó compras consolidadas de alimentos balanceados y granos básicos, logrando descuentos por volumen, menores costos de transporte y mejores condiciones de pago. Este esquema también permitió programar adquisiciones y reducir la exposición a picos de precios, lo que se tradujo en menores costos unitarios. Estos hallazgos son coherentes con la evidencia que identifica a la alimentación como el principal determinante de costos y subraya el efecto de la organización colectiva y de los canales de comercialización sobre los resultados económicos de unidades lecheras de pequeña escala (Ramírez González et al., 2025; Salinas-Martínez et al., 2020).

Cuadro 1. Evolución de los ingresos de la URP ZABL08 a precios constantes de enero 2025.

Concepto	Valor de 2022 ($URP^{-1}año^{-1})	Valor de 2025 ($URP^{-1}año^{-1})	Cambio %
Ingresos (anuales)			
Venta de leche	346,639.65	327,755.00	-5.45
Venta de animales	70,280.11	110,045.57	56.58
Leche de autoconsumo	13,194.52	11,436.88	-13.32

Fuente: Elaboración propia a partir de información de campo.

Cuadro 2. Evolución de los costos de la URP ZABL08 a precios constantes de enero 2025.

Concepto	Valor de 2022 ($URP^{-1}año^{-1})	Valor de 2025 ($URP^{-1}año^{-1})	Cambio %
Costos de operación	**412,940.72**	**359,424.06**	**-12.96**
Alimentación	362,503.40	313,622.50	-13.48
Vacunas, medicamentos y productos veterinarios	11,358.17	9,727.24	-14.36
Reproducción	4,398.17	3,537.18	-19.58
Operación y mantenimiento de maquinaria y equipo	28,338.75	27,039.77	-4.58
Mantenimiento de construcciones e instalaciones	5,667.75	4,912.75	-13.32
Otros costos de operación	674.46	584.62	-13.32
Costos generales	**42,047.53**	**42,289.27**	**0.57**
Depreciación construcciones e instalaciones	30,471.72	29,360.22	-3.65
Depreciación de maquinaria y equipo	11,575.81	12,929.04	11.69
Costos de oportunidad	**191,387.34**	**192,694.27**	**0.68**
Tierra (renta)	10,428.66	5,785.25	-44.53
Capital (inversiones en instalaciones, semovientes, etc.)	16,806.12	18,891.88	12.41
Capital de trabajo	51,250.96	44,608.89	-12.96
Trabajo (no remunerado, productor y familia)	88,416.92	102,185.17	15.57
Habilidades empresariales	24,484.68	21,223.07	-13.32

Fuente: Elaboración propia a partir de información de campo.

Por último, en el Cuadro 3 se aprecia que, en términos reales de enero de 2025, los flujos netos considerando solo la venta de leche permanecen negativos en ambos años. Este comportamiento indica que, aun con cierta contención de costos y ajustes de precios, la actividad lechera por sí sola no alcanza a cubrir los costos desembolsados ni los cargos contables, y está lejos de remunerar los costos de oportunidad de los recursos propios. En consecuencia, la operación basada únicamente en leche continúa siendo inviable en términos financieros y económicos.

Cuando se incorpora la venta de animales, el desempeño cambia de manera sustantiva. El flujo de efectivo pasa de 3,979 a 78,377 pesos y el flujo financiero de −38,068 a 36,087 pesos, con lo cual la unidad se vuelve viable tanto en liquidez como en el resultado que incluye depreciaciones. El flujo económico también mejora, de −216,261 a −145,170 pesos, aunque permanece negativo debido al peso de los costos de oportunidad de tierra, capital y, sobre todo, trabajo familiar. Ello sugiere que la unidad puede sostener su operación corriente y reponer parcialmente capital, pero no remunera plenamente los recursos propios, por lo que la sostenibilidad de largo plazo continúa condicionada.

Cuadro 3. Evolución de los flujos netos de la URP ZABL08 a precios constantes de enero 2025.

Concepto	Valor de 2022 ($URP^{-1}año^{-1})	Valor de 2025 ($URP^{-1}año^{-1})	Cambio %
Flujos netos (solo con venta de leche)			
Flujo de efectivo	-66,301.07	-31,669.05	52.23
Flujo financiero	-108,348.60	-73,958.32	31.74
Flujo económico	-299,735.94	-266,652.59	11.04
Flujos netos (venta de leche y animales)			
Flujo de efectivo	3,979.04	78,376.52	1,869.73
Flujo financiero	-38,068.49	36,087.25	194.80
Flujo económico	-216,261.31	-145,170.14	32.87

Fuente: Elaboración propia a partir de información de campo

Conclusiones

El análisis de la URP ZABL08 en Pinos, Zacatecas, muestra que la reducción de costos de alimentación y el aumento del ingreso por la venta de animales mejoraron el desempeño operativo de 2022 a 2025. Sin embargo, la producción de leche por sí sola no es viable, manteniéndose por debajo del punto de equilibrio en los tres enfoques de evaluación.

El panorama cambia al considerar la unidad productiva como un sistema integral: la venta de animales complementa la de leche, permitiendo que la URP alcance la viabilidad financiera en 2025. Esto asegura su continuidad a corto y mediano plazo, aunque sin lograr la viabilidad económica que compensaría totalmente la mano de obra y el capital familiar.

Las implicaciones de política y gestión apuntan a la necesidad de consolidar compras asociativas, mejorar estrategias de comercialización para el precio de la leche y elevar la productividad de forrajes para reducir la dependencia de insumos externos.

Referencias

Espinoza Arellano, J., Fabela Hernández, A., López Chavarría, S., & Martínez Gómez, F. (2019). Impact of imports of powdered milk and dairy byproducts on the producer price of cow milk in Mexico. Agricultura, Sociedad y Desarrollo, 16(1), 123–139.

Espinoza-Ortega, A., Álvarez-Macías, A., Del Valle, M. del C., & Chauvete, M. (2005). La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. Técnica Pecuaria En México, 43(1), 39–56.

Hernández-Velásquez, M. A., Cervantes-Escoto, F., Sagarnaga-Villegas, L. M., Salas-González, J. M., Aguilar-Ávila, J., & Anaya-Pérez, I. A. (2023). Costos de producción y viabilidad de unidades representativas de ganado bovino en la región de Pinos, Zacatecas. En R. Reyes-Canchola, J. Martínez-Solís, & N. Magaña-Lira (Eds.), *Memoria del XI Congreso Internacional y XXV Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas* (pp. 249–250). Universidad Autónoma Chapingo.

Lozano-Domínguez, R. R., Aréchiga-Flores, C. F., Cortés-Vidauri, Z., Rincón-Delgado, M., Rochín-Berumen, F., & Mejía-Haro, I. (2025). Caracterización de los sistemas familiares de leche del estado de Aguascalientes, México a partir de variables sociales, del entorno agrícola-ganadero, y productividad. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 16*(2), 275–289. https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i2.6686

Ramírez-González, M., Chávez-Martínez, R., & Ramírez-González, R. E. (2025). Factores que definen la rentabilidad en sistemas de producción de ganado bovino en pequeña escala. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 54, 617-627.

Ríos-Flores, L., Torres-Moreno, M., Cantú-Brito, E., Moreno, A., & Navarrete-Molina, C. (2016). Análisis económico de los sistemas de producción bovino lechero en el estado de Zacatecas, México. Abanico Veterinario, 6(2), 54–69. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21929/abavet2016.62.5

Sagarnaga-Villegas, L. M., Salas-González, J. M., & Aguilar-Ávila, J. (2018). Metodología para estimar costos, ingresos y viabilidad financiera y económica en Unidades Representativas de Producción (6th ed.). Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Serie: Metodologías y herramientas para la investigación.

Salinas-Martínez, J. A., Posadas-Domínguez, R. R., Morales-Díaz, L. D., Rebollar-Rebollar, S., & Rojo-Rubio, R. (2020). Cost analysis and economic optimization of small-scale dairy production systems in Mexico. Livestock Science, 237(April), 104028. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104028

ANÁLISIS FENOTÍPICA Y FISIOLÓGICA DE PASTIZALES EN LA COMARCA LAGUNERA

Pablo Arenas Báez[1*]; Jorge Alonso Maldonado Jáquez [2]; Alejandra Cabrera Rodríguez[3]; María del Rosario López Solano[3]; Eduardo Blanco Contreras[3].

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Agroecología, División de Carreras Agronómicas. Torreón, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: parenas@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Los pastizales son una fuente de riqueza de plantas forrajeras, en ellos, las gramíneas son la base de la alimentación ganadera debido a su valor nutritivo, lo cual eleva el potencial productivo (Atencio et al. 2014; Guzmán-Lucio et al. 2016; Quero-Carrillo et al. 2017). Sin embargo, el pastoreo extensivo en zonas áridas posee bajo potencial para la producción (Quero-Carrillo, 2013). Las zonas áridas se caracterizan por la irregularidad y escasez de precipitaciones, generando condiciones de déficit de agua, influyendo negativamente las relaciones hídricas, la fisiología y la morfología de las plantas forrajeras, limitando así, la producción de forraje e incluso la supervivencia de las especies (Atencio et al. 2014). En la búsqueda de alternativas para mitigar dichos efectos, se realizan prácticas en donde algunas gramíneas son introducidas como forrajeras o para el control de la erosión. No obstante, muchas de ellas son especies invasoras que se dispersan en los ecosistemas reemplazando a la cubierta vegetal nativa con el consecuente deterioro ambiental, pérdida de la biodiversidad y vulnerabilidad económica (Gliessman, 2016; Guzmán-Lucio et al., 2016; López et al., 2021). Debido a ello, deben generarse esquemas de manejo responsable y eficiente para la utilización de todos los recursos disponibles en el pastoreo extensivo para lograr un equilibrio con los flujos energéticos del ecosistema y una elevada rentabilidad (Quero-Carrillo, 2013). El aprovechamiento antropocéntrico ordenado puede obtenerse a partir de la defensa de semillas nativas, lo cual contribuye al escalamiento profundo de la agroecología, al ser cosechadas, seleccionadas y conservadas constantemente en cada ciclo, logran adaptarse a cambios y son menos dependientes de los insumos externos (López et al., 2021). Lo anterior es posible a través de prácticas agroecológicas como la caracterización de los componentes del agroecosistema (gramíneas); la cosecha, selección y conservación de semillas nativas (López et al., 2021). Sin embargo, se requieren evaluaciones previas teniendo en cuenta diversos aspectos morfoestructurales y fisiológicos. Lo anterior nos ayudará a conocer y seleccionar semillas nativas de calidad para su siembra y establecimiento de praderas (Herrera, 2015). Es por ello, que los objetivos de la presente investigación fueron: determinar la caracterización fenotípica, así como la calidad física y fisiológica de las semillas de especies de gramíneas localizadas en cuatro sitios ubicados en la Comarca Lagunera de Coahuila. Derivado de ello, se espera tener información para determinar las especies de gramíneas nativas con potencial de uso y manejo en la región.

Materiales y métodos

Se eligieron cuatro sitios de pastoreo caprino en los municipios San Pedro de las Colonias, Francisco I. Madero, Matamoros y Viesca (Región Lagunera, Coahuila, México). En cada sitio se consideró la diversidad de especies de gramíneas presentes y se recolectaron 30 ejemplares por especie. Se identificaron en el herbario del Departamento de Agroecología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, por medio de claves botánicas y manuales e información técnica disponible para la región.

Caracterización fenotípica. Se evaluaron descriptores morfológicos: altura total de la planta (ATP), altura de la primera hoja (APH), número total de hojas verdaderas (NHV), longitud de la tercera hoja (LTH), ancho de la tercera hoja (ATH), longitud de inflorescencia (LI), ancho de inflorescencia (AI) y número de entrenudos (NE). Se determinó: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (DA) y el porcentaje de materia orgánica (MO). Se obtuvieron promedios mensuales de precipitación y temperatura del año 2022. Las diásporas (Ds) se separaron de las espiguillas y se almacenaron a temperatura ambiente en bolsas de papel hasta el momento de la caracterización física y fisiológica. Para dicha caracterización en cariópsides (Cs), se retiraron de las Ds las brácteas accesorias: ramas primaras, gluma, lema y palea mediante la limpieza manual con ayuda de tapete y almohadilla de caucho corrugado.

Caracterización física. Respecto a las variables físicas y fisiológicas, se seleccionaron las especies que estuvieron presentes en dos sitios o más. Tamaño de Cs: con la ayuda de un vernier se realizaron mediciones de cincuenta Cs para determinar el ancho, largo y grueso.

Caracterización fisiológica. Germinación: se sembraron cincuenta Ds y cincuenta Cs (cuatro repeticiones), sobre toallas tipo sanitas con humedad necesaria. Se colocaron en la estufa incubadora a una temperatura constante de 25°C, revisando y registrando durante 12 días a la misma hora la cantidad de Ds y Cs germinadas. Vigor: en el último conteo para la prueba germinación, se midió la longitud de plúmula y radícula, la medición se realizó en las repeticiones de Ds y de Cs para cada una de las especies. Viabilidad: se evaluó en veinticinco Cs, por cuatro repeticiones para cada especie, una vez realizado el corte después de la imbibición, las estructuras embrionarias se cubrieron completamente en solución de tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio) durante 19 horas. Finalmente, se realizó un análisis de varianza bajo una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p<0.05$) con el paquete estadístico InfoStat.

Resultados y discusión

Se identificaron diez especies de gramíneas que presentaron diferencias respecto a los descriptores morfológicos entre especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Medias de características morfológicas de gramíneas encontradas en áreas de pastoreo caprino de la Comarca Lagunera, Coahuila.

Especie	ATP (cm)	APH (cm)	NHV (n)	LTH (cm)	ATH (mm)	LI (mm)	AI (mm)	NE (n)
Aristida adscensionis	35.7^{c}	3.5^{d}	1.3^{a}	10.6^{b}	1.3^{a}	110.1^{de}	2.3^{a}	1.3^{a}
Bouteloua barbata	24.1^{a}	0.1^{a}	2.8^{b}	5.5^{a}	1.7^{ab}	15.9^{a}	1.7^{a}	3.0^{b}
Chloris virgata	36.2^{c}	0.2^{ab}	3.7^{c}	9.1^{b}	4.7^{c}	38.2^{b}	10.1^{ab}	4.1^{c}
Cynodon dactylon	37.6^{cd}	0.7^{b}	8.6^{f}	8.7^{b}	2.7^{b}	45.9^{b}	52.0^{de}	5.7^{e}
*E. lehmanniana**	26.6^{ab}	0.2^{ab}	3.0^{bc}	9.4^{b}	2.9^{b}	96.3^{d}	52.8^{e}	3.2^{b}
Eragrostis mexicana	44.7^{de}	0.2^{ab}	4.7^{d}	15.3^{d}	4.4^{c}	115.6^{e}	58.5^{e}	4.9^{d}
Panicum hallii	36.5^{c}	0.3^{ab}	3.2^{bc}	11.4^{bc}	2.4^{ab}	119.8^{e}	43.0^{d}	3.4^{b}
Panicum obtusum	33.5^{bc}	0.3^{ab}	3.4^{bc}	13.9^{cd}	4.3^{c}	69.6^{c}	12.3^{b}	3.5^{bc}
Pennisetum ciliare	51.0^{e}	1.6^{c}	7.2^{e}	16.3^{d}	7.5^{d}	76.2^{c}	13.7^{b}	7.81^{g}
Sorghum halepense	99.4^{f}	1.7^{c}	6.9^{e}	31.2^{e}	10.4^{e}	151.7^{f}	27.4^{c}	7.0^{f}

Elaboración propia. Marcado con * = Eragrostis lehmanniana; ATP = altura total de la planta, APH = altura de la tercera hoja, NHV = número total de hojas verdaderas, LTH = longitud de la tercera hoja, ATH = ancho de la tercera hoja, LI = longitud de la inflorescencia, AI = ancho de la inflorescencia, NE = número de entrenudos; literales ^{a,b,c,d} = muestran diferencias estadísticas.

A pesar de que todas las especies encontradas y estudiadas pertenecen a la familia de las Poaceaes (gramíneas), esta variedad de especies también contiene variaciones intrapoblacionales, dando como resultado individuos altamente heterogéneos. En México existe una gran diversidad de gramíneas (Dávila et al., 2018), al considerar esto, tiene sentido la idea de que existen diferencias morfológicas entres especies, debido a los procesos de adaptación en función del hábitat en donde se desarrollan. Respecto al suelo, se presentaron elevadas concentraciones de sales. La salinidad en la Comarca Lagunera se debe en gran medida la sobreexplotación de los mantos acuíferos, esta acción trae como consecuencia la dispersión de hasta 7.6 t h^{-1}/año (Inifap, 2024). Así mismo, en periodos de baja precipitación pluvial, disminuye el metabolismo de las plantas, afectando su morfología, particularmente en especies de interés forrajero (Atencio et al., 2014).

Respecto a la variable física, la especie *S. halapense* mostró mayores dimensiones en largo, ancho y grueso. En cuanto a las variables fisiológicas, los resultados de las variables germinación y vigor se muestran en el Cuadro 2. En cambio, las especies que mostraron mayor porcentaje de viabilidad, con semillas altamente viables y vigorosas fueron *S. halapense*, *C. ciliaris*, *C. virgate* y *P. obtusum*. La especie de *E. mexicana* corresponde a la especie con mayor número de semillas no viables expresada en porcentaje**.**

CUADRO 2. Porcentaje de germinación y vigor para ocho especies de gramíneas encontradas en áreas de pastoreo caprino de la Región Lagunera, Coahuila, México.

Especie	Germinación (%)		Vigor (mm)			
			Plúmula		Radícula	
	*Ds	**Cs	Ds	Cs	Ds	Cs
Sorghum halepense	*0.03 cd	0.41 b	*113.78 a	76.68 a	34.26 a	31.46 a
Pennisetum ciliare	0.12 b	0.68 a	33.43 c	35.19 b	26.36 ab	25.21 ab
Panicum obtusum	0.48 a	0.80 a	58.3 b	31.44 b	22.55 b	16.03 ab
Chloris virgate	0.07 bcd	0.33 b	26.17 c	26.78 b	9.69 c	14.12 ab
Cynodon dactylon	0.10 bc	0.02 c	25.36 c	22.14 b	10.22 c	9.63 b
Bouteloua barbata	0.00 d	0.01 c	0.00	18.76 b	0.00	14.7 ab

Elaboración propia. *Diáspora **Cariópside. Columnas con literales comunes no son diferentes estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05).

En cuanto a las dimensiones de las semillas, las condiciones ambientales aumentan la plasticidad fenotípica, lo que permite adaptarse al estrés ambiental rápida y eficazmente, específicamente en especies invasoras (Magdaleno-Hernández et al., 2020). Por otro lado, las altas temperaturas y la baja precipitación, durante la producción de semilla reducen el tamaño de cariópside, lo que podría explicar lo que sucede con los valores para las especies nativas (Kara et al., 2011). Se ha demostrado que el tamaño de la semilla y la germinación contribuyen al comportamiento invasivo, estas características parecen influenciar directamente en el vigor de las especies *S. halepense* y *P. ciliare*, que presentan semillas grandes y pesos con marcada diferencia sobre las especies nativas (Sonkoly et al., 2020). En México, *P. ciliare* es una de las especies (no nativa) más utilizadas en pastizales áridos para cumplir un doble propósito; la rehabilitación y conservación de suelo (Beltrán López et al., 2017). Sin embargo, podría explicar los bajos resultados de viabilidad reportados por *B. barbata* y *C. virgata* (nativas) que limitan sus procesos de rápida adaptación ante múltiples factores que comprometen su presencia.

Conclusiones

Los resultados indican diversidad limitada de especies de gramíneas en áreas de pastoreo de zonas áridas y semiáridas de la Comarca Lagunera. Las diferencias morfoestructurales, evidencian diferentes microambientes en cada uno de los sitios considerados en el estudio, aun y cuando se encuentran dentro de la misma región geográfica. La limpieza física de diásporas a cariópsides incrementa el porcentaje de germinación, en especies que mostraron mayor tamaño de cariópside. Se infiere que la dominancia de especies introducidas como *P. ciliare* y *S. halepense*, se debe al buen comportamiento de las semillas ante las variables analizadas. Al respecto, si se comparan con los resultados obtenidos para las especies nativas, estas son poco competitivas, por lo que se podría estar tratando de la afectación a la capacidad de resistencia e incluso de una pérdida silenciosa de material genético en las poblaciones nativas. Debido a ello, se sugiere aumentar la frecuencia de evaluación en los parámetros de calidad física y fisiológica de semillas, en diferentes fechas de cosecha, además de conservar el material genético nativo con notoria vulnerabilidad, pero con amplia aptitud en cuanto a la calidad de forraje para su siembra y establecimiento con potencial de uso y manejo en la región.

Referencias

Atencio, L. M., Tapia, J. J., & Mejía, S. L. (2014). *Malla Phisiology Behavior of Grasses Under Three Moisture Levels in Screenhouse*. *19*(2), 244–258. https://doi.org/https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.1194

Beltrán López, S., García Díaz, C. A., Loredo Osti, C., Urrutia Morales, J., Hernández Alatorre, J. A., & Gámez Vázquez, H. G. (2017). "Titán" y "Regio", variedades de pasto buffel (Pennisetum ciliare) (L.) link para zonas áridas y semiáridas. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, *8*(3), 291–295. https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4159

Dávila, P., Mejia-Saulés, M. T., Soriano-Martínez, A. M., & Herrera-Arrieta, Y. (2018). Conocimiento taxonómico de la familia Poaceae en México. *Botanical Sciences*, *96*(3), 462–514. https://doi.org/10.17129/botsci.1894

Gliessman, S. (2016). Agroecology: roots to resistance to industrialized food systems. In *Agroecology* (pp. 40–53). CRC Press.

Guzmán-Lucio, M. A., Foroughbakhch-Pournavab, R., Alvarado-Vázquez, M. A., Rocha-Estrada, A., Salcedo-Martínez, S. M., & Moreno-Limón, S. (2016). Gramíneas de los mezquitales en el Centro-Norte de Nuevo León. *Polibotánica*, *0*(42), 19–42. https://doi.org/10.18387/polibotanica.42.2

Herrera, R. S. (2015). Fifty years of experience in the evaluation of grasses with economical importance for animal husbandry. *Cuban Journal of Agricultural Science*, *49*(2), 221–232.

Inifap. (2024, January 19). *Ciencia y tecnología para el campo Mexicano.* Reporte Anual 2022.

Kara, B., Uygulamalı, I., & Üniversitesi, B. (2011). Effect of seed size and shape on grain yield and some ear characteristics of maize. *Research on Crops*, *12*(3), 680–685. https://www.researchgate.net/publication/303826042

López, V., Giraldo, O., Morales, H., Rosset, P., & Duarte, J. (2021). Horizontal and deep scaling of agroecology: Lessons from two organizations that defend seed sovereignty in Colombia. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, *58*, 622–641. https://doi.org/10.5380/dma.v58i0.81497

Magdaleno-Hernández, E., Magdaleno-Hernández, A., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velazquez, M. A., Sanchez-Escudero, J., & García-Cué, J. L. (2020). Evaluación de la calidad física y fisiológica de semilla de maíz nativo. In *Publicado como ARTÍCULO en ASyD* (Vol. 17).

Quero-Carrillo, A. (2013). *Gramíneas Introducidas: Importancia e impacto en ecosistemas ganaderos*.

Quero-Carrillo, A., Miranda Jiménez, L., & Francisco, V.-Á. J. (2017). Recursos genéticos de gramíneas para el pastoreo extensivo. Condición actual y urgencia de su conservación ante el cambio climático. *Investigación y Disfusión Científica Agropecuaria*, *21*(3), 63–65. http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2017/sept/5.pdf

Sonkoly, J., Valkó, O., Balogh, N., Godó, L., Kelemen, A., Kiss, R., Miglécz, T., Tóth, E., Tóth, K., Tóthmérész, B., & Török, P. (2020). Germination response of invasive plants to soil burial depth and litter accumulation is species-specific. *Journal of Vegetation Science*, *31*(6), 1081–1089. https://doi.org/10.1111/jvs.12891

EFECTO DEL EXTRACTO DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*) EN EL CONTROL DE LA MOSCA BLANCA EN CULTIVO DE MELÓN

Alejandra Cabrera-Rodríguez[1*], Leticia Guadalupe Castro-Martínez[1], Christian Silva-Martínez[1], Eduardo Blanco-Contreras[1], Adlay Reyes-Betanzos[1], Fabian García-Espinoza[2], Cristina García-De la Peña[3]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Agroecología, División de Carreras Agronómicas. Torreón, Coahuila, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología, División de Carreras Agronómicas. Torreón, Coahuila, México. [3]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, Gómez Palacio, Durango. *Autor de correspondencia:agroecologale@gmail.com

Introducción

A lo largo de los años, la producción agrícola se ha visto en la necesidad de aplicar plaguicidas de una forma excesiva, esto ha provocado distintos problemas al medio ambiente y a la salud humana (Castillo et al., 2020), por esta razón en la agricultura se han implementado alternativas viables, efectivas y más seguras. Al respecto, se han realizado estudios sobre la actividad de insecticidas de semioquímicos vegetales sobre diversas plagas. El empleo de estos extractos y aceites esenciales tienen gran significado dentro de la agricultura sustentable debido a que se utilizan como controladores de plagas y enfermedades para constituir una alternativa favorable, esto por su elevada efectividad, bajo costo y nula contaminación al medio ambiente (Rodríguez-Montero et al., 2020). En este sentido, destacan la plantas Euforbiáceas, las cuales poseen alcaloides y proteínas de origen tóxico, localizados en las semillas, hojas y frutos, un claro ejemplo es la ricinina, alcaloide encontrado en semillas y hojas de la especie *Ricinus communis* Linneo (García et al., 2016). Esta planta produce metabolitos secundarios como albúminas (ricinas) y alcaloides (Ricinina), por otro lado, sus tejidos liberan compuestos tóxicos y dos lectinas, ricina y ricinus aglutinina, con gran capacidad para adherirse a los afidios de los nemátodos fitoparásitos (Rojas, 2022). En este sentido, la región de la Comarca Lagunera (Coahuila, México), es una de las regiones con mayor producción de melón a nivel nacional (SIAP, 2023), sin embargo, la incidencia de plagas y enfermedades representa uno de los principales detonantes de baja productividad (Espinoza-Arellano et al., 2023). Una de las plagas que de mayor importancia en el cultivo de melón es la mosca blanca, ya que causa severos daños (Corrales Castillo et al., 2018) a la calidad del fruto (Carnero-Avilés et al., 2021). A nivel nacional e internacional, se han realizado investigaciones en donde se demuestra la eficiencia del extracto vegetal de higuerilla para controlar mosca blanca en diversos cultivos (Rojas, 2022; Perales et al., 2015; Guevara et al., 2015; Ortiz et al., 2023). Sin embargo, se tiene poca información sobre el efecto de *R. communis* sobre mosca blanca (*Bemisia tabaci*) como fuente de extracción para formular insecticidas específicamente en cultivo de melón. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar distintas concentraciones de extracto vegetal de higuerilla (*R. communis*), para observar su eficiencia en el control de la población de mosca blanca (*B. tabaci*) considerando su efecto en diversos tiempos después de la aplicación en cultivo de melón.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en la región de la Comarca Lagunera, en el municipio de Torreón, Coahuila, México (N 25°32´38´´ y W 103°25´08´´) a 1120 msnm. El sitio de estudio se estableció en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN-UL). El clima de la región en árido cálido (BWh), escasas precipitaciones en verano y las temperaturas oscilan entre 45.3°C en verano y 0°C en invierno.

Se sembraron semillas de melón HIBRIDO NITRO en charolas de germinación utilizando peat moss como sustrato. Se realizó el trasplante en la unidad experimental previamente preparada, colocando cada planta a una distancia de 0.25 m entre planta y 2 m entre hilera. Se estableció un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones cada tratamiento (cuatro tratamientos) teniendo un total de 16 bloques, los cuales fueron camas de 3.2 m^2, con espacio entre ellas de 1 m, cada bloque contenía 15 plantas.

Obtención del extracto de higuerilla: se recolectaron hojas jóvenes y maduras de higuerilla en las instalaciones de la UAAAN-UL, en el laboratorio del Departamento de Agroecología, se dejaron secar a temperatura ambiente para posteriormente triturarlas en molino de mano. Una vez trituradas, se vertieron 50, 100 y 200 g en frascos herméticos con 1 L de alcohol etílico al 96°: De esta manera se obtuvo la tintura de extracto de ricina en concentraciones al 5, 10 y 20%. Finalmente, se dejó macerar durante en un lugar fresco sin estar expuesto a la luz solar.

***Variables evaluadas*:** número de mosquita blanca viva respecto a la concentración del extracto de higuerilla y el número de mosquita blanca viva respecto al tiempo después de la aplicación.

***Concentración de extracto de higuerilla*:** las aplicaciones de extracto de higuerilla como agente repelente, se realizaron en distintas concentraciones: 5%, 10% y 20% (más un testigo al cual no se le agregó extracto). Para ello, se diluyó 100 ml de cada concentración en 2 L de agua y se procedió a la aplicación con una bomba de aspersión manual (Truper con capacidad de 3 L). Las aplicaciones fueron a las 8:00 horas cada siete días, durante un periodo de siete semanas para considerar el ciclo del cultivo de melón. *Tiempo después de la aplicación*: para evaluar el efecto sobre *B. tabaci* se realizaron muestreos a las 3, 6 y 24 horas, y los 3 y 6 días después cada aplicación (durante siete semanas). El conteo de los individuos vivos de mosquita blanca se realizó con el método de recuento directo en cinco hojas por bloque, para los adultos se utilizó un espejo y para los estados inmaduros se contabilizarán ninfas grandes de 3º y 4º instar presentes en un disco foliar de 3.8 cm^2. Los muestreos se comenzaron a los 16 días después del trasplante. Mediante el paquete estadístico SPSS, realizaron las pruebas de normalidad de los datos de las variables, se procedió a realizar un análisis de varianza paramétrico para analizar el efecto individual de cada variable evaluada durante siete semanas (concentración y tiempo), cuando se demostró que hubo efecto, se realizó la prueba de Tukey (α= 0.05).

Resultados y discusión

Concentración de extracto de higuerilla. En las semanas de la 1 a la 7 los promedios de la densidad poblacional de mosquita blanca fueron mayores en el tratamiento testigo (mostrando diferencias significativas en la semana 4, 5, 6 y 7). Respecto a los promedios más bajos, en la semana 1, 3 y 4 fue en el tratamiento al 20%, en la semana 2 y 7 fue en el tratamiento al 5%, en la semana 5 y 6 fue en el tratamiento al 10% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores promedio de densidad poblacional de mosquita blanca viva respecto a la concentración de extracto de higuerilla en cultivo de melón.

Concentración	Semanas						
	1	2	3	4	5	6	7
5 %	17.20 ^{a}	18.30 ^{a}	26.00^{ab}	33.05 ^{a}	76.65 ^{a}	98.10 ^{a}	72.15 ^{a}
10 %	16.55 ^{a}	18.90 ^{a}	22.00 ^{ab}	35.30 ^{a}	73.75 ^{a}	94.30 ^{a}	75.10 ^{a}
20%	14.40 ^{a}	20.75 ^{a}	18.25 ^{a}	31.85 ^{a}	81.20 ^{a}	97.95 ^{a}	72.60 ^{a}
Testigo	17.25 ^{a}	25.00 ^{a}	39.75 ^{b}	74.20 ^{b}	147.95 ^{b}	208.65 ^{b}	134.05 ^{b}

* Literales iguales no muestran diferencias estadísticas significativas, literales distintas muestran diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

***Tiempo después de la aplicación*.** De las semanas 1 a la 5 los promedios de la densidad poblacional de mosquita blanca fueron mayores a los 6 días después de la aplicación del extracto (mostrando diferencias significativas en la semana 1, 3, 4 y 5). En cambio, en la semana 6 y 7, los promedios más elevados se presentaron en las 24 horas después de la aplicación, mostrando diferencias significativas. Respecto a los valores promedios más bajos, en la semana 1 y 3 fue a las 6 horas, en la semana 2, 4, 5 y 7 fue a las 3 horas después de la aplicación, finalmente en la semana 6 el valor más bajo se presentó a las 24 horas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores promedio de densidad poblacional de mosquita blanca viva respecto al tiempo después de la aplicación de extracto de higuerilla en cultivo de melón.

Tiempo de muestreo	Semanas						
	1	2	3	4	5	6	7
3 horas	10.37 ^{a}	18.00 ^{a}	18.31 ^{a}	35.37 ^{a}	28.43 ^{a}	122.31 ^{a}	73.50 ^{a}
6 horas	8.68 ^{a}	19.37 ^{a}	14.56 ^{a}	37.62 ^{ab}	29.06 ^{a}	108.18 ^{a}	84.62 ^{a}
24 horas	9.06 ^{a}	21.62 ^{a}	21.87 ^{a}	43.75 ^{ab}	37.37 ^{a}	163.56 ^{b}	108.68 ^{b}
3 días	24.68 ^{b}	21.06 ^{a}	15.68 ^{a}	43.25 ^{ab}	154.00 ^{b}	124.43 ^{a}	92.31 ^{ab}
6 días	28.93 ^{b}	23.62 ^{a}	62.06 ^{b}	58.00 ^{b}	225.56 ^{c}	105.25 ^{a}	83.25 ^{a}

* Literales iguales no muestran diferencias estadísticas significativas, literales distintas muestran diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos demuestran que el extracto de higuerilla tiene un efecto significativo sobre la reducción de la densidad poblacional de la mosca blanca en distintas horas después de la aplicación en el cultivo de melón. Respecto a las concentraciones específicamente cuando se utiliza en concentraciones al 10% y 20% en diferentes semanas hubo reducción de la densidad poblacional, lo cual podría explicarse por la estabilidad de los compuestos activos y su persistencia sobre la superficie foliar (Akbar et al., 2024).

La variación en la eficacia entre semanas puede estar relacionada con factores ambientales, como temperatura y humedad, que influyen en la volatilización y degradación de los compuestos activos (Nicolopoulou-Stamati et al., 2016), lo cual sugiere un efecto repelente provocado por la molécula de ricina (Crisanto-Pescorán & Ayquipa Aycho, 2013). Estos factores también influyen en el comportamiento de la plaga, lo que puede alterar su exposición o susceptibilidad al extracto (Miresmailli & Isman, 2014). Respecto a la variable de tiempo después de la aplicación, en las semanas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 se observó que el menor número de individuos de mosca blanca se presentó a las 3 o 6 horas después de la aplicación, lo cual sugiere un efecto repelente inmediato del extracto, tal como lo reporta (Olivares et al., 2022) en su estudio sobre extractos vegetales aplicados en cultivos hortícolas.

Por otra parte, (Corrales Castillo et al., 2018) evaluó la repelencia de extractos naturales en el control de *B. tabaci* en cultivos de melón y encontró que el efecto repelente era más pronunciado en las primeras horas después de la aplicación, disminuyendo con el tiempo. En esta investigación, durante la semana 1 a la 5 la densidad poblacional más alta se presenta a los seis días después de la aplicación, mientras que en las semanas 6 y 7, la densidad poblacional más alta se presenta a las 24 horas después de la aplicación, indicando la necesidad de aplicaciones frecuentes para mantener controlada la plaga.

Conclusiones

El extracto de higuerilla puede ser una alternativa viable para el control de la mosca blanca en el cultivo de melón. En este sentido, las concentraciones al 10 y 20% del extracto vegetal demostraron una reducción considerable en el número de individuos de mosca blanca, en comparación con el tratamiento testigo. Por lo tanto, se recomienda aplicar la dosis al 20% en las primeras semanas del cultivo (desarrollo vegetativo) para prevenir la infestación de mosca blanca y obtener buenos resultados. Respecto al tiempo después de la aplicación, se observó una disminución notable de individuos vivos en las primeras horas después de la aplicación (3 y 6 horas), lo que indica una acción insecticida eficaz a corto plazo. Finalmente, los resultados obtenidos en este trabajo de investigación respaldan científicamente que la aplicación de extractos vegetales, como el de *R. communis*, pueden ser alternativas viables al uso de insecticidas sintéticos, reduciendo riesgos para la salud humana y la biodiversidad del agroecosistema. Así, esta opción se alinea con los principios de la agroecología y la producción sustentable. Por tanto, se concluye que el extracto de higuerilla representa una opción prometedora para el control de mosca blanca en la Comarca Lagunera (Coahuila, México), además de representar una alternativa al uso de agroquímicos para los productores locales, presentando beneficios como reducción de costos, menor riesgo a la salud, bajo impacto ambiental, entre otras.

Referencias

Akbar, R., Manzoor, S., Azad, R., Makai, G., Rahim, J., Sheikh, U. A. A., Ali, A., Aziz, T., Ahmad, H. I., Ahmed, M., Du, D., & Sun, J. (2024). Botanical Pesticides: Role of *Ricinus communis* in Managing Bactrocera zonata (Tephritidae: Diptera). *Insects, 15*(12). https://doi.org/10.3390/insects15120959

Carnero-Avilés, L., Cerna-Chàvez, E., & Ochoa-Fuentes, Y. M. (2021). Análisis morfométrico de los biotipos A, B y Q de *Bemisia tabaci* del estado de Sinaloa, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *8*(3). https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2753

Castillo, B., Ruiz, J., Manrique, M., & Pozo, C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú) Contamination by agricultural pesticides in crop fields in Cañete. *Revista ESPACIOS*, *41*(10), 11. http://revistaespacios.com/a20v41n10/20411011.html

Corrales Castillo, J., Rodríguez Arrieta, A., Villalobos Moya, K., Hernández Villalobos, S., & Alvarado Rodríguez, O. (2018). Evaluación de tres extractos naturales contra *Bemisia tabaci* en el cultivo del melón, Puntarenas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, *42*(2), 93–106. https://doi.org/10.15517/rac.v42i2.33781

Crisanto-Pescorán, K. I., & Ayquipa Aycho, G. E. (2013). Efecto del extracto etánolico de semillas de *Ricinus communis* L. sobre adultos de *Bemisia tabaci* Geen., en condiciones de laboratorio. In *SAGASTEGUIANA* (Vol. 1, Issue 1).

Espinoza-Arellano, J. de J., Fabela-Hernández, A. M., Gaytán-Mascorro, A., Reyes González, A.,& Sánchez-Toledano, B. I. (2023). Cuantificación y uso de pérdidas de alimentos: caso del melón cantaloupe en una región del norte-centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *14*(2), 159–170. https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.2962

García, T. E., Uribe García, A., Gabriela, S., Ramos, D., Macedonio, P., & López, G. (2016). *Evaluation of the Yield of Extracts in Leaves of Ricinus communis L* (Vol. 52). https://redalyc.org/journal/944/94451204003/html/

Guevara, L., Andrio, E., Cervantes, F., Rodríguez, D., Robles, R., Mondragon, W., & Perez, D. (2015). Efecto bioinsecticida de extracto etanólico de higuerilla (*Ricinius communis* L) y lantana (*Lantana camara* L) sobre mosca blanca (*Bemisia tabaci* Genn) en tomate. *Artículo Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias Junio*, *2*(3), 428–434.

Miresmailli, S., & Isman, M. B. (2014). Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. In *Trends in Plant Science* (Vol. 19, Issue 1). https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.10.002

Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., & Hens, L. (2016). Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. In *Frontiers in Public Health* (Vol. 4). Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148

Olivares, D., Ramírez, F., & Navarro, L. (2022). Efectividad de extractos vegetales contra plagas en cultivos de hortalizas bajo condiciones de invernadero. *Agroproductividad* , *15*(1), 45–50.

Manejo agroecológico de *Macrodactylus nigripes* (Coleoptera: Melolonthidae) en maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *14*(1), 13–24. https://doi.org/10.29312/remexca.v14i1.2859

Perales, C., Bocanegra, J., Carrillo, J. C., Chávez, J. L., Silos, H., Aguilar, L., & Tafoya, F. (2015). Efecto de extractos vegetales en mosquita blanca bajo dos esquemas de aplicación. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *2*(1), 1–7.

Rodríguez-Montero, L., Berrocal-Jiménez, A., Campos-Rodríguez, R., & Madriz-Martínez, M. (2020). Determinación de la actividad biocida de extractos vegetales para el combate de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hemíptera: Aleyrodidae). *Revista Tecnología En Marcha*. https://doi.org/10.18845/tm.v33i3.4373

Rojas, G. (2022). Actividad antifúngica del extracto acuoso de la semilla de higuerilla (*Ricinus communis*) en tres tipos de insectos (polillas, hormigas y pulgas). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *6*(3), 2808–2820. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2421

SIAP. (2023). *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Panorama Agroalimentario 2023. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035.

EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE NEONATOS DE LA TORTUGA DEL BOLSÓN *Gopherus flovomarginatus* EN CONDICIONES DE CAUTIVERIO. DATOS PRELIMINARES

Rafael Carrillo-Flores[1]*; Sara Isabel Valenzuela-Ceballos[2]; Cristóbal Hernández-Bautista[1]; José Gamaliel Castañeda-Gaytán[2]; Juan Germán Acosta-Gutiérrez[1]; Jesús Guadalupe Arreola-Ávila[1]

[1]Universida Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Carretera Gómez Palacio-Chihuahua Km 40, Bermejillo, Mapimí, Durango, México. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas, Av. Universidad s/n. Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Dgo. México. * Autor de correspondencia: rcarrillo@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La tortuga del Bolsón *Gopherus flavomarginatus,* es catalogada como una especie en peligro de extinción en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010 (CONANP, 2006; DOF, 2019), en Peligro Crítico por la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2023; Kiester et al., 2018) y registrada en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2025), situación que prohíbe cualquier tipo de comercio nacional o internacional. Es una especie endémica del Bolsón de Mapimí y la mayor parte de su población se localiza dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Su alimentación tanto de adultos como de juveniles es esencialmente vegetariana y consiste en una variedad de plantas de su hábitat natural, como gramíneas, principalmente pasto toboso (*Hilaria mutica*) flores, frutos, hojas de arbustos y tallos de cactáceas (Bramble y Hutchison, 2014; Villarreal, 2016). Para 2018, se estimó una población total de 2500 individuos en su hábitat natural con una densidad entre 1 y 2 individuos por hectárea (Kiester et al., 2018). Considerando lo anterior, la reducción de la población es de hasta un 75 % de los 10 000 adultos que se estimaron a finales de la década de 1980 (Robles et al., 2023). La tasa de mortalidad de las crías en estado silvestre en los primeros 10 años de vida es del 90 % y la mayoría de las crías solo tienen un 10 % de posibilidades de sobrevivir hasta la madurez sexual (McDonald, 2017). Por esta razón, la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo en colaboración con la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, mantiene un tortugario registrado como UMA ante la SEMARNAT como Reserva Biológica de la Tortuga del Desierto y uno de sus propósitos es el manejo, reproducción y cuidado de crías con la finalidad de lograr su buen desarrollo en sus primeros años de vida y liberar individuos en su hábitat natural una vez que superaron la etapa crítica de mortalidad juvenil. Así, en el presente estudio, se evaluó el crecimiento anual de las crías de *Gopherus flavomarginatus* del tortugario de la URUZA nacidas en 2024.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la UMA Reserva Biológica de la Tortuga del Desierto de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Como parte del protocolo para el cuidado y protección de los neonatos de *G. flavomarginatus* nacidos en el Tortugario de la URUZA, durante la época de nacimientos (junio a septiembre), se llevan a cabo recorridos diarios en los encierros de las tortugas adultas recolectando toda tortuga recién nacida encontrada. Inmediatamente se registra en la bitácora la fecha de recuperación, se limpia bien con agua limpia y se evalúa su condición corporal analizando la presencia de parásitos externos y lesiones corporales.

Posteriormente se les toman 6 fotografías (Arriba del caparazón, plastrón, enfrente, atrás, izquierda, derecha) y se etiqueta con un número consecutivo en el caparazón con un marcador acrílico no tóxico de diferente color para cada cohorte: blanco para 2021; rojo para 2022, amarillo para 2023 y verde para 2024. Posteriormente se llevan a cabo las mediciones de largo recto de caparazón en mm (LRC), ancho recto de caparazón en mm (ARC), largo recto de plastrón en mm (LRP), ancho recto de plastrón en mm (ARP), alto en mm y Peso en g y se depositan en terrarios acondicionados y protegidos para el crecimiento y desarrollo de las crías en los cuales se limita en lo posible la presencia humana.

Se evaluaron un total de 52 neonatos de tortugas nacidos de julio a septiembre de 2024. Las variables analizadas fueron LRC, ARP y Peso. El periodo analizado fue desde el momento de su recolección hasta finales del mes de agosto del presente año. Se realizaron 6 mediciones en las siguientes fechas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fechas de toma de datos de neonatos de tortugas nacidas en 2024.

Medición	Fecha
1	Al momento de la recolección del neonato
2	27 de septiembre del 2024
3	6 de diciembre del 2024
4	7 de marzo del 2025
5	10 de abril del 2025
6	21 de agosto del 2025

Para cada medida se calculó el valor mínimo, el valor máximo, la media y la desviación estándar para LRC, ARC y P. La tasa de crecimiento se calculó para las 3 variables considerando como variable independiente la edad en días después de la recolección. Se calculó el coeficiente de correlación entre las variables Edad, LRC, ARC y Peso. Para evaluar el crecimiento en LRC, ARC y Peso, se evaluaron 6 tipos de modelos bivariados: Lineal, logarítmico, cuadrático, cúbico, crecimiento y exponencial. El ajuste de los modelos fue evaluado con el coeficiente de determinación (R2) y el nivel de significancia considerando un valor $\alpha = 0.05$ para las variables. Para el análisis estadístico se utilizó el software IBM SPSS Statistics versión 25.

Resultados y discusión

Se observó un incremento promedio total durante el primer año de vida de los 52 neonatos de tortuga evaluados en LRC de 11.18 mm con un valor mínimo de 10.70 mm y máximo de 11.52; en ARC de 7.37 mm con valor mínimo de 6.68 mm y máximo de 7.37 mm y en Peso de 30.10 g con un valor mínimo de 16.0 g y máximo de 51 g. La talla promedio alcanzada en LR es de 66.23 con un máximo de 74.62 mm, en ACR de 55.79 mm con un máximo de 61.16 mm y el peso promedio alcanzado es de 72.64 g con un máximo de 103 g (Cuadro 2).

Cuadro 2. Crecimiento en el primer año de vida de neonatos de *Gopherus flavomarginatus* en cautiverio.

	Largo curvo de caparazón (mm)				Ancho curvo de caparazón (mm)				Peso (g)			
Medición	**Max**	**Min**	**Media**	**Desv. Est.**	**Max**	**Min**	**Media**	**Desv. Est.**	**Max**	**Min**	**Media**	**Desv. Est.**
1	63.10	46.90	55.05	2.83	53.70	42.50	48.42	2.15	52.00	33.00	42.54	3.71
2	67.10	52.40	59.33	2.92	55.40	45.20	50.82	2.17	74.00	40.00	55.98	7.20
3	67.31	54.50	59.98	2.68	56.36	48.44	52.90	1.80	72.00	42.00	56.15	6.16
4	65.85	53.70	59.21	2.56	56.20	48.89	52.39	1.87	69.00	36.00	52.75	6.62
5	66.45	55.12	60.11	2.58	56.38	49.18	52.70	1.85	81.00	35.00	59.42	7.48
6	74.62	57.60	66.23	3.90	61.16	49.18	55.79	2.38	103.00	49.00	72.64	11.54

Los datos indican que el crecimiento y los incrementos no se presentan de manera homogénea en el tiempo para cada una de las variables. La diferencia es más latente en el Peso, pues se observó una mayor diferencia en la desviación estándar entre cada una de las mediciones, incrementando esa diferencia en el tiempo. Estos resultados coinciden con los de Godínez et al. 1993 y de Rojas et al. (2015), quienes estudiaron el crecimiento de neonatos de *Chelonia agassizii* y de *Trachemys callirostris callirostris* en condiciones de cautiverio respectivamente.

Se calculó un coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas y se encontró una correlación positiva de moderada a fuerte (R > 0.60) y con un valor de $p < 0.05$, lo que indica que las variables están correlacionadas de manera positiva (Cuadro 3).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre las variables.

Variables		**Edad**	**LRC**	**ARC**	**Peso**
Edad	Correlación de Pearson	1	**.664****	**.695****	**.671****
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	302	302	302	302
LRC	Correlación de Pearson	**.664****	1	**.870****	**.926****
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	302	302	302	302
ARC	Correlación de Pearson	**.695****	**.870****	1	**.848****
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	302	302	302	302
Peso	Correlación de Pearson	**.671****	**.926****	**.848****	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	302	302	302	302

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Se determinó la función con regresión lineal bivariada que describe el crecimiento de los neonatos en su primer año de vida (Figura 1). Se encontró que para las funciones que involucran la Edad como variable independiente (LRC-Edad, ARC-Edad y Peso-Edad), el modelo que más se ajusta es el cúbico ($y=B_0+B_1x+B_2x^2+B_3x^3$), mientras que para las demás relaciones (ARC-LRC, LRC-Peso y ARC-Peso), el modelo que más se ajusta es el lineal ($y=B_0+B_1x$) (Cuadro 4). Se observó una tendencia de crecimiento isométrico principalmente en ARC-LRC, LRC-Peso y ARC-Peso.

Cuadro 4. Funciones que más se ajustan al crecimiento del primer año de vida de neonatos de *Gopherus flavomarginatus* en cautiverio en el Tortugario de la URUZA.

Y	X	Función	r	R^2	Significancia
LRC	Edad	Cúbica	0.664	0.441	0.000
ARC	Edad	Cúbica	0.695	0.482	0.000
Peso	Edad	Cúbica	0.671	0.45	0.000
ARC	LRC	Lineal	0.87	0.757	0.000
LRC	Peso	Lineal	0.926	0.857	0.000
ARC	Peso	Lineal	0.848	0.719	0.000

Y: variable dependiente; X: variable independiente; r: coeficiente de correlación de Pearson; R^2: Coeficiente de determinación.

Con estos valores se obtuvo el modelo ajustado de crecimiento de neonatos en su primer año de vida nacidos en cautiverio (Figura 1). Es importante señalar que hasta el momento no se han encontrado trabajos similares para *Gopherus flavomarginatus* y que los resultados aquí presentados son de manera preliminar y basados en el desarrollo del primer año de vida de los neonatos nacidos en cautiverio; por lo tanto, es importante continuar con estos estudios analizando juveniles de 2 y más años. Además, en la actualidad se están llevando a cabo estudios que permitan definir las mejores estrategias para el mejor crecimiento y desarrollo de los neonatos de tortugas nacidos en cautiverio, considerando aspectos como la condición de salud, la dieta, el espacio requerido, la protección contra depredadores, el aislamiento de la presencia humana y el bienestar animal en general. La finalidad es lograr el desarrollo de individuos juveniles aptos para su liberación al inicio de su etapa reproductiva en su hábitat natural que permita la recuperación de las poblaciones en cuanto a número de individuos como a la conservación y aumento de la variabilidad genética dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

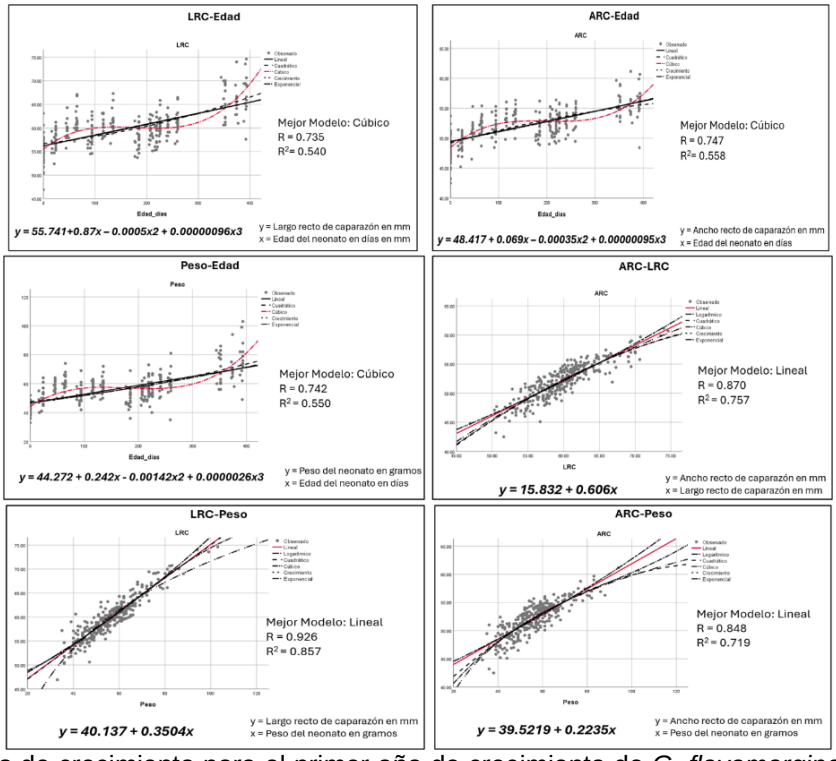


Figura 1. Modelos de crecimiento para el primer año de crecimiento de *G. flavomarginatus* en cautiverio. El modelo de línea roja en cada relación de variables es el que resultó con mejor ajuste de r y R^2 y es el que se expresa en la función escrita.

Conclusiones

Se observó una tendencia de crecimiento isométrico en las relaciones de variables ARC-LRC, LRC-Peso y ARC-Peso. Esto indica que estas variables están estrechamente relacionadas y que cambian en la misma proporción; por lo tanto, la medición de una de estas variables es suficiente para determinar el valor de la otra utilizando los modelos de regresión ajustados, al menos durante el primer año de vida de los neonatos nacidos en cautiverio. Es posible que el resultado sea consistente en las relaciones que involucran la edad como variable independiente, sin embargo, es necesario ampliar el estudio evaluando los modelos desarrollados en función del tiempo, pues las condiciones de crecimiento van variando conforme la edad de las tortugas vaya aumentando.

Referencias

Kiester, A.R., Palomo-Ramos, R., Rios-Arana, J. & Goode, E.V. (2018). Gopherus flavomarginatus. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T9402A112660985.

CONANP. (2006). Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biósfera de Mapimí. 1a edición: marzo de 2006 Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. ISBN: 968-817-762-8. 180 pp.

DOF. (2019). Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 14 de noviembre del 2019, Edición Matutina.

IUCN. (2023). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-1. https://www.iucnredlist.org

CITES. (2025). Apéndices I, II y III de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres en vigor a partir del 7 de febrero de 2025. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. https://cites.org/esp/app/appendices.php

Godínez-Domínguez E., R.E. Carretero-Montes, F. de A. Silva-Bátiz, S. Ruíz, y B. Aguilar (1993). Crecimiento de neonatos de Chelonia agassizii (Testudines: Cheloniidae) en cautiverio. Rev. Biol. Trop., 41 (2): 253-260

Villarreal, C. (2016). Escenarios de distribución potencial de Gopherus flavomarginatus bajo efectos del cambio climático antropogénico. Tesis de Maestría. Durango, México. Universidad Juárez del Estado de Durango.

Bramble, D., and Hutchinson. J. (2014). Morphology, taxonomy, and distribution of North American tortoises. An evolutionary perspective. pp. 1-12. In: David C. Rostal, Earl D. MacCoy, and Henry R. Mushinsky (editors). Biology and conservation of North American tortoises. USA. Johns Hopkins University Press. Project MUSE. DOI: 10.1353/book.32949.

Robles, J. A. C., Medina, I. R., & Aguilar, V. R. O. (2023). La Población Actual de la Tortuga Llanera, Gopherus flavomarginatus Legler, 1959 (Reptilia: Testudinidae) en la Reserva de la Biosfera Mapimí, Durango, México. Ciencia Latina: *Revista Multidisciplinar*, 7(6), 514-529. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8705 .

McDonald, N. 2017. Gopherus flavomarginatus, Mexican Gopher tortoise. (On-line), Animal Diversity. https://animaldiversity.org/accounts/Gopherus_flavomarginatus/

Rojas-Cañizales, D., Rodríguez, M. A., Suárez-Villasmil, L., & Barrios-Garrido, H. (2015). Evaluación preliminar de la tasa de crecimiento de neonatos de la hicotea, Trachemys callirostris callirostris (Testudines: Emydidae) en cautiverio. Mem. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, 72, 91-99.

ESTRUCTURA ARBÓREA DE *Pinus cembroides* Zucc. EN LA SIERRA DE ZAPALINAMÉ, COAHUILA: UNA ESPECIE DE AMBIENTES SEMIÁRIDOS

Adin H. Velázquez-Pérez[1], José Villanueva-Diaz[2]*, Leticia Jiménez-Hernández[3], María Magdalena Colón-Alarcón

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez, Bermejillo. C.P. 35230. [2]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, km.6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango. México. C.P. 35140. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila. *Autor de correspondencia: villanueva.jose@inifap.gob.mx

Introducción

Los bosques de *Pinus cembroides*, se distribuyen desde el norte hasta el centro de México en un rango altitudinal de 1350 a 2800 m en las Sierras Madre Occidental y Oriental (Farjon et al., 1997). Los usos principales de la especie es la producción de piñón comestible y para reforestación de suelos degradados en zonas áridas y semiáridas; además, se utiliza para reforestaciones urbanas por su baja demanda de agua (Fuente-Solís et al., 2024; Zárate-Castrejón et al., 2021); su madera no es de calidad comercial debido a la presencia de nudos, y se utiliza para construcciones rústicas y su resina se utiliza en la fabricación de impermeabilizantes y pegamentos (CONABIO, 2015). El *Pinus cembroides* o pino piñonero es una especie longeva y alcanza su madurez entre 200 y 400 años; sus crecimientos anuales son reducidos debido al ambiente semiárido donde se desarrollan y sus primeros conos los producen hasta los 25 años en función de las condiciones ecologicas del sitio. Los anillos de crecimiento anual han permitido determinar árboles que superan los 400 años en la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, Durango y Chihuahua (Constante-García et al., 2009; Villanueva-Díaz et al., 2010); lo cual es importante en actividades de conservación de la especie y de ejemplares longevos, como patrimonio natural. En este contexto, el objetivo del estudio es estudiar la estructura de edades, clases diamétricas y densidad de las diferentes etapas de desarrollo en parajes de Sierra de Zapalinamé con fines de conservación.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en dos rodales con dominancia de *Pinus cembroides* en el Ejido Cuahutémoc, Saltillo, Coahuila. El primer rodal se encuentra en el Valle 1 (25° 17´17.5´´Norte y 100° 56´ 21.6´´ Oeste) a una elevación de 2382 m con orientación Noroeste y pendiente media de 26 %. El segundo rodal se encuentra en el Valle 2 (25° 16´ 52.1´´ Norte y 100° 55´43.7´´ Oeste) a una elevación de 2385 m con orientación Noroeste-Sureste y pendiente media de 23 % (Figura 1). El clima que caracteriza el sitio de estudio es árido templado con temperatura mínima -3 °C y máxima de 25°C. La precipitación media anual es de 346 mm (García-CONABIO, 2001; SMN-CNA, 2025).

El procedimiento de muestreo consistió en el establecimiento de tres parcelas circulares de 1000 m^2 en cada rodal, a una distancia entre parcelas de 200 m. En cada parcela, se midió el Diametro Normal (DN), Altura Total (HT) y Diametro de Copa (DC); además, se registró el número de brinzales (> 30 cm altura y < 2.5 cm de DN) y plántulas (< 30 cm de altura). Adicionalmente, se colectaron dos núcleos de crecimiento por clase diamétrica con un taladro de Pressler de 5.1 mm de diámetro interno para determinar la edad con técnicas dendrocronológicas (Applequist, 1958; Villanueva-Díaz et al., 2010).

Los datos se analizaron en Microsoft excel con cálculos de densidad de plántulas, brinzales y árboles; se calcularon los estadísticos descriptivos para las edades de cada rodal, y se determinó el coeficiente de correlación de Spearman para asociar el Diametro Normal con la Edad. Se generaron gráficos de barras para edades y clases diamétricas.

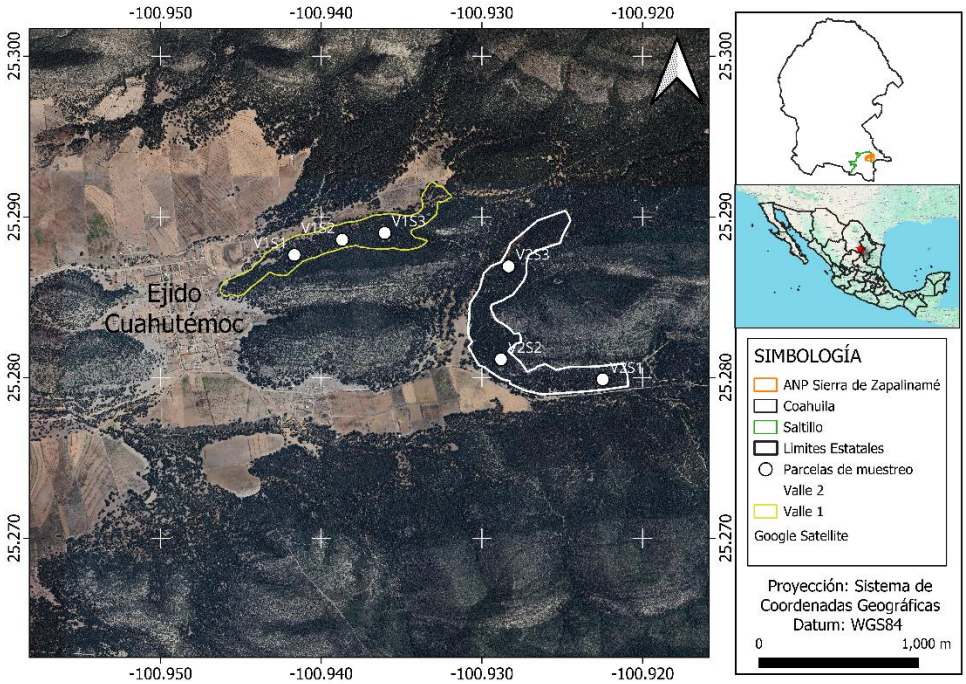


Figura 1. Localización del área de estudio, en el ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

Resultados y Discusión

La densidad de áboles en el Valle 1 fue de 810 individuos por hectárea y en el Valle 2 de 777 árboles por hectárea. Los brinzales en el Valle 1 fue de 23 individuos por hectárea y en el Valle 2 de 413. En el Valle 1 no se registraron plántulas, mientras que en Valle 2 fue de 413 individuos por hectárea (Cuadro 1).

El mayor número de plántulas y brinzales en el Valle 2 probablemente se debe al cercado del sitio, lo que derivó en la reducción del disturbio, mayor tasa de recuperación del suelo, y presencia de años con lluvia superiores al promedio, lo que favoreció mayor producción de semilla y reclutamiento. Sin embargo, la baja cantidad de plántulas y brinzales en el Valle 1 podría estar relacionada con un incremento en disturbios de origen antropogénico como es extracción de tierra de monte, aprovechamiento de leña, pastoreo sin control y turismo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Densidad de individuos por hectárea de cada etapa de desarrollo del bosque por rodal.

Rodal	Árboles ha^{-1} (> 2.5 cm de DN)	Brinzales ha^{-1} (> 30 cm altura y < 2.5 cm de DN)	Plántulas ha^{-1} (<30 cm de altura)
Valle 1	810	23	0
Valle 2	777	413	447

DN: Diámetro Normal

Estructura de clases diamétricas y edades del Valle 1, Ejido Cuahutémoc, Saltillo, Coahuila. Las clases diamétricas de los árboles se encuentran entre 5 y 65 cm de Diamétro Normal, con mayor número de árboles en las clases de 5 y 10 cm, la cual es evidencia de un bosque estable con abundantes árboles jóvenes (Figura 2a) con edades de 50-99 años (Figura 2b). Las edades de los árboles del rodal se encuentran en el rango de 49 a 242 años. No se registraron plántulas y determinó una baja cantidad de brinzales. El coeficiente de correlación entre el diámetro y edad fue de 0.96 ($p < 0.01$); es decir, a mayor diámetro, se presenta una mayor edad. El rodal presenta árboles con alturas de 2.1 a 18.0 metros y diámetros de copa de 0.5 a 9.0 metros.

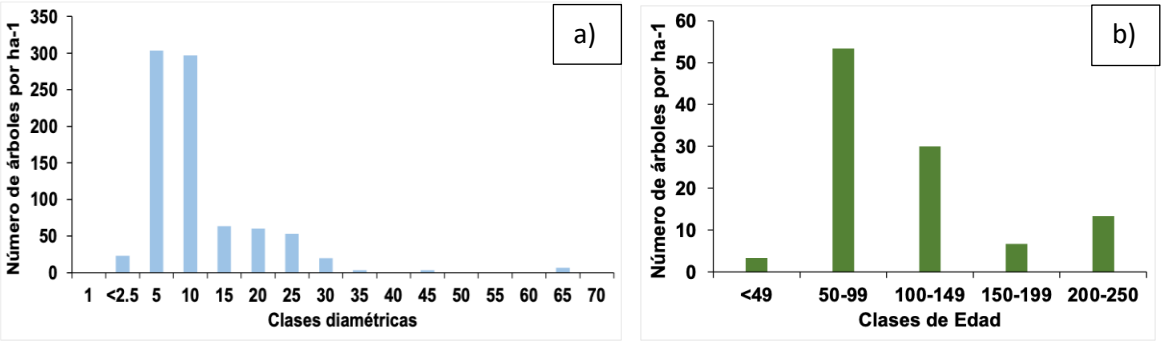


Figura 2a. Clases diamétricas del bosque de *Pinus cembroides*, desde plántulas (<30 cm de altura) (1), brinzales (>30 cm de altura y <2.5 cm de diámetro) y árboles (>2.5 cm de diámetro) del Valle 1, ejido Cuahutémoc, Saltillo, Coahuila. **Figura 2b.** Clases de edades (árboles >2.5 cm de diámetro) del bosque de *Pinus cembroides*, del Valle 1, ejido Cuahutémoc, Saltillo, Coahuila.

Estructura de clases diamétricas y edades del Valle 2, Ejido Cuahutémoc, Saltillo, Coahuila. Los árboles muestreados se encuentran en clases diamétricas de 5.0 a 65.0 cm de Diámetro Normal, con mayor número de árboles por hectárea en clases de 5, 10 y 15 cm; además, se registraron plántulas y brinzales arriba de 400 individuos por hectárea (Figura 3a). Los árboles de clases dimétricas de 5.0 cm tienen edades en el rango de 1 a 49 años y los árboles de 10 y 15 cm de diámetro con edades de 50 a 99 años. En promedio, la edad de los árboles del rodal se ubica en el rango de 29 a 192 años (Figura 3b). El coeficiente de correlación entre diámetro y edad fue de 0.87 ($p < 0.01$); es decir, a mayor diámetro la edad se incrementa, al igual que en el caso del Valle 1. La altura de los árboles en este rodal fluctúa entre 2.0 a 19.0 m con diámetros de copa de 0.4 a 9.0 metros.

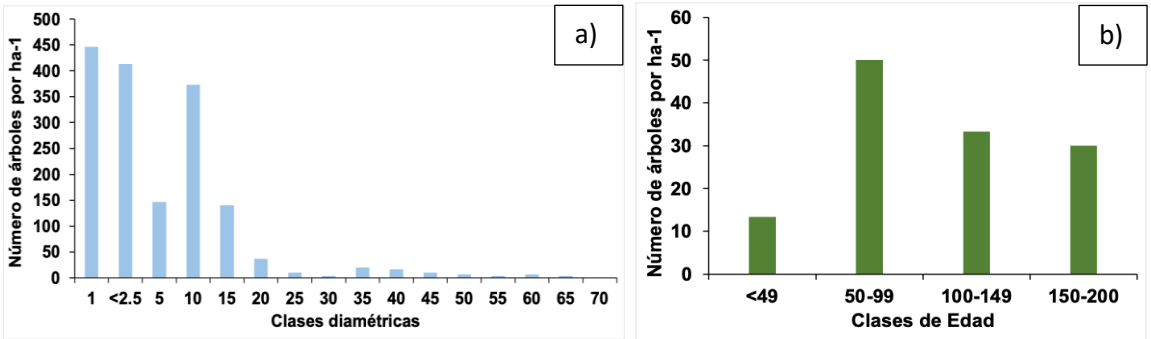


Figura 3a. Clases diamétricas en el bosque de *Pinus cembroides,* desde plántulas (<30 cm de altura) (1), brinzales (>30 cm de altura y <2.5 cm de diámetro) y árboles (>2.5 cm de diámetro) del Valle 2, ejido Cuahutémoc, Saltillo, Coahuila. **Figura 3b.** Clases de edades (>2.5 cm de diámetro) del bosque de *Pinus cembroides*, del Valle 2, ejido Cuahutémoc, Saltillo, Coahuila.

Conclusiones

Los rodales de *Pinus cembroides* presentan condiciones estables con abundantes árboles jóvenes (clases de 5, 10 y 15 cm de DN) y pocos individuos en clases mayores a 25 cm para ambos rodales. Sin embargo, la escasa presencia de plántulas y brinzales en el Valle 1 podría asociarse con el impacto antropogénico, como la extracción de tierra de monte, pastoreo y actividades de recreación. En contraste, el Valle 2 registró alto número de plántulas y brinzales probablemente debido a la recuperación natural del suelo y años con lluvias por arriba de la media, y por ende mayor producción de semillas.

Los dos rodales actualmente están cercados y con bajo impacto humano, en el pasado presentaron alto impacto humano, y en el Valle 2 el registro de plántulas y brinzales en alta cantidad es un indicativo del proceso de recuperación del rodal. Los estudios futuros podrían considerar el análisis de variables climáticas, edáficas y el impacto de perturbaciones, que impulsen la regeneración natural de los rodales.

Referencias

Applequist, M. B. (1958). A simple pith locator for use with off-center increment cores. Journal of Forestry, 56(2), 141.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2015). Red mundial de información sobre biodiversidad (REMIB). http://www.conabio.gob.mx

Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Cornejo-Oviedo, E. H., & Valencia-M., S. (2009). Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila. *Revista de Ciencia Forestal en México*, 34(106), 17–39.

Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua [SMN-CNA]. (2025). Información estadística climatológica. Estación Saltillo No. 5048. Disponible en: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

Fuente-Solís, A. M., Alanís-Rodríguez, E., Yáñez-Díaz, M. I., Cantú-Silva, I., Himmelsbach, W., & Martín-del Campo-Delgado, M. I. (2024). Supervivencia y crecimiento de una reforestación de *Pinus cembroides* Zucc. en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(86), 167–177. https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i86.1466

Farjon, A., Pérez-de la Rosa, J. A., & Styles, B. T. (1997). A field guide to the pines of Mexico and Central America. Royal Botanic Gardens Kew.

García, E., CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2001). Climas. Conjunto de datos vectoriales. Escala 1:1 000 000. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/clima/climas/clima1mgw

Zárate-Castrejón, J., González-Pacheco, B., Ruiz-Nieto, J., Ávila-Ramos, L., & Ávila-Ramos, F. (2021). El árbol *Pinus cembroides* como alternativa para reforestar ciudades, parques y jardines. *Abanico Agroforestal*, 3(1), 1–12. https://doi.org/10.37114/abaagrof/202.1

Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. ., Constante-García, V., Vázquez-Salem, L., Estrada-Ávalos, J., & Benavides-Solorio, J. de D. (2010). Árboles longevos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 7–29.

INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA: CARACTERIZACIÓN HEDÓNICA DE QUESOS FUNCIONALES CON HARINA DE FRIJOL

Rafael García Vázquez[1*]; Blanca Isabel Sánchez Toledano[2].Marco Andrés López Santiago[3]; Ramón Valdivia Alcalá[1];

[1]Universidad Autónoma Chapingo-División de Ciencias Económico-Administrativas. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Zacatecas. [3]Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. [*]Autor de correspondencia: garciarafael154@gmail.com.

Introducción

El frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) es uno de los cultivos más importantes en México (García-Vázquez et al., 2024). Pese a su importancia, los productores enfrentan diversos desafíos como los daños causados por condiciones climáticas extremas, escasos insumos y vulnerabilidad del cultivo (Michel-Cuello & Aguilar-Rivera, 2022). Estas situaciones han llevado a una disminución de la cadena de valor de frijol; no obstante, se han buscado alternativas a través de la diversificación de productos agroindustriales.

En estos escenarios, la innovación tecnológica en la producción de alimentos funcionales ha cobrado una importancia creciente, representando una estrategia clave para responder a las nuevas exigencias nutricionales y de salud de la población (Granato et al., 2020). El desarrollo de alimentos funcionales se ha consolidado como una línea prioritaria dentro de la industria alimentaria y ha comenzado a incorporar ingredientes naturales con propiedades bioactivas en productos tradicionales (García-Vázquez et al., 2024).

Entre los productos con mayor potencial para la innovación funcional se encuentra el queso (Chourasia et al., 2021), un alimento ampliamente consumido y valorado por su versatilidad, textura y sabor. Por otro lado, el frijol negro, además de ser un cultivo estratégico en el país, representa una fuente significativa de proteínas, fibra dietética, minerales y compuestos antioxidantes (Maphosa & Jideani, 2017). Diversas investigaciones han demostrado que la incorporación de harina de frijol en matrices alimentarias puede mejorar su perfil nutricional, así como conferirles propiedades funcionales deseables (Sánchez-Toledano et al., 2021).

Considerando todo lo anterior, la investigación se enfocó en la innovación en tecnología alimentaria aplicada a la propuesta de quesos funcionales utilizando microcápsulas de harina de frijol negro. El objetivo principal fue describir la caracterización hedónica, evaluar los atributos más relevantes y las variables socioeconómicas que influyen en el consumidor potencial.

Materiales y métodos

Se desarrolló un queso ranchero funcional conforme a los lineamientos establecidos por la NOM-223-SCFI/SAGARPA-2018. Su formulación fue enriquecida mediante la incorporación de 20 gramos por kilogramo de microcápsulas obtenidas a partir de testa de frijol negro. Dichas microcápsulas fueron elaboradas mediante el proceso de secado por aspersión, técnica que favorece la estabilidad fisicoquímica y la funcionalidad del compuesto bioactivo. La formulación final del queso incluyó leche pasteurizada, ácido acético como agente coagulante, sal en proporción regulada y el ingrediente funcional encapsulado.

El estudio se realizó en Zacatecas, México, con una muestra de 100 personas mayores de 18 años, seleccionadas mediante un muestreo mixto (conveniencia y probabilístico). La muestra se estimó considerando la fórmula de poblaciones finitas con un nivel de confianza del 90 %. Para integrar el panel sensorial, se aplicó una encuesta discriminante que permitió identificar consumidores habituales de queso con disposición a evaluar un producto funcional. Cada panelista evaluó dos muestras (queso funcional y queso comercial) mediante una escala de Likert de cinco puntos, valorando atributos sensoriales agrupados en dos categorías: 1) Apariencia, color y olor; 2) sabor, cremosidad, suavidad, consistencia, salinidad, resistencia, firmeza, carácter graso y acidez.

Dado que los datos no mostraron distribución normal, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($p \leq 0.05$) para identificar diferencias en la percepción sensorial. También, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman para determinar relaciones entre grado de satisfacción, preferencias y disposición a pagar por los quesos evaluados. Para identificar los atributos sensoriales más representativos en cada tipo de queso se usó un Análisis de Componentes Principales (ACP) y se generó un mapa perceptual de posicionamiento que permitió visualizar el perfil sensorial a detalle de los atributos del queso enriquecido con harina de frijol. Por último, se generaron correlaciones para determinar la relación de las variables socioeconómicas y la aceptación del queso funcional.

Resultados y discusión

Se encontró que variables como la edad, el nivel de estudios, la atención a etiquetas nutricionales y el gasto destinado a quesos influyen significativamente en la aceptación del queso funcional (Cuadro 1). Comprender estos factores es clave en un contexto donde la industria de quesos funcionales se enfrenta a un mercado en constante transformación (Curutchet et al., 2023). Estudios previos han señalado que las características socioeconómicas, psicológicas y de comportamiento son determinantes en la elección de alimentos funcionales (Baker et al., 2022).

Cuadro 1. Estadísticos de prueba Kruskal-Wallis con la variable de agrupación “Nivel de ingresos mensual”

Variables analizadas	H de Kruskal-Wallis	Grados de libertad	Significancia asintótica
Género	8.691	5	0.122
Edad	25.235	5	0.001*
Nivel de estudios	23.326	5	0.001*
Integrantes en la familia	4.419	5	0.459
Suele fijarse en la etiqueta	16.872	5	0.005*
Gastos destinados al consumo de quesos	27.923	5	0.001*
Aspectos importantes a la hora de comprar quesos	9.287	5	0.098

* Fuente: Elaboración propia.

El análisis de correlaciones reveló una relación positiva entre la satisfacción con el queso funcional y la del queso comercial (0.234), lo que sugiere que ambos productos pueden ser bien valorados por los mismos consumidores (Cuadro 2). No obstante, se identificó una correlación negativa entre el queso que más gusto y la satisfacción con el queso funcional (-0.476), indicando que quienes prefieren alternativas tradicionales tienden a mostrar menor aceptación hacia innovaciones. Estos resultados pueden atribuirse a patrones de consumo, donde la familiaridad y la aversión a lo desconocido influyen en las decisiones (Streletskaya et al., 2023). No se encontraron correlaciones significativas con la disposición a pagar, determinando que el precio no es un factor decisivo en la valoración del producto. Se requiere considerar las preferencias individuales al diseñar y posicionar productos innovadores (Malekpour et al., 2022).

Cuadro 2. Correlación de Spearman entre el grado de satisfacción, preferencia y precio del queso fortificado con harina de frijol y un queso comercial.

		Grado de satisfacción con el queso 1[+1]	Grado de satisfacción con el queso 2[++2]	Queso que le gusto más[3]	Disposición a pagar por un queso[4]
1	Correlación de Spearman	1	0.234*	-0.476**	0.082
	Sig. (bilateral)		0.019	<0.001	0.419
2	Correlación de Spearman	0.234*	1	0.249*	-0.037
	Sig. (bilateral)	0.019		0.012	0.714
3	Correlación de Spearman	-0.476**	0.249*	1	-0.099
	Sig. (bilateral)	<0.001	0.012		0.328
4	Correlación de Spearman	0.082	-0.037	-0.099	1
	Sig. (bilateral)	0.419	0.734	0.328	

[+]Corresponde al queso fortificado con harina de frijol, [++] Corresponde al queso comercial. Fuente: Elaboración propia.

El ACP permitió comparar los atributos sensoriales más relevantes del queso funcional y el queso comercial (Cuadro 3). Ambos productos compartieron cargas positivas en apariencia y color, indicando una percepción visual favorable por parte de los panelistas. Sin embargo, el olor presentó mayor carga en el queso funcional, exhibiendo un perfil aromático más distintivo, mientras que en el queso comercial fue menos significativo.

Respecto a atributos como sabor, cremosidad, suavidad, consistencia, salinidad, resistencia, firmeza, carácter graso y acidez, el queso funcional mostró cargas factoriales positivas destacadas, lo cual indica que estos atributos fueron determinantes en su diferenciación sensorial. Estos resultados evidencian un perfil más pronunciado y complejo en el queso fortificado, reforzando su carácter innovador. En general, la textura (suavidad, cremosidad y firmeza) son propiedades que desempeñan un papel crucial en la experiencia sensorial y tienden a ser utilizadas para definir la calidad del producto (Vukić et al., 2022). Esto coincide con investigaciones que destacan cómo las características texturales modulan la experiencia del consumidor (Kaczyński et al., 2023).

Cuadro 3. Análisis de componentes principales entre atributos sensoriales del queso fortificado con harina de frijol y el queso comercial

Atributo	Cargas factoriales del queso 1[+]	Cargas factoriales del queso 2[+]	Matriz de coeficiente del queso 1	Matriz de coeficiente del queso 2	Varianza explicada (%)
Apariencia	.421	.819	.076	.434	46.235*
Color	.405	.817	.073	.433	15.735*
Olor	.516	.178	.093	.094	7.124
Sabor	.753	-.260	.136	-.138	5.689
Cremosidad	.731	-.312	.132	-.165	5.157
Suavidad	.797	-.090	.144	-.048	4.877
Consistencia	.760	-.308	.137	-.163	3.893
Salinidad	.786	.185	.142	.098	3.303
Resistencia	.793	.259	.143	.137	2.772
Firmeza	.670	-.072	.121	-.038	2.109
Carácter graso	.663	-.346	.119	-.183	1.744
Acidez	.701	-.159	.126	-.084	1.361

[+]Corresponde al queso fortificado con harina de frijol, [++] Corresponde al queso comercial. El determinante de la matriz de correlaciones fue de 0.01. *Explica la varianza total por dos componentes: 61.970 %. El test de esfericidad de Bartlett arrojo los siguientes resultados: Chi-cuadrada = 1379.350, valor de P (significancia) = 0.000, KMO = 0.866. Fuente: Elaboración propia.

El mapa de posicionamiento sensorial evidenció una valoración general favorable para el queso funcional, con una calificación promedio de 3.65/5, correspondiente al nivel "me gusta" y “me gusta mucho” en la escala hedónica utilizada (Figura 1). Los atributos mejor evaluados fueron acidez, suavidad y salinidad, mientras que color y apariencia obtuvieron puntuaciones ligeramente inferiores. Una buena puntuación de aceptabilidad indica que los consumidores potenciales estarían dispuestos a comprar este tipo de quesos (Ghamgui et al., 2021). La aceptación es el resultado de la percepción del producto, principalmente en atributos como sabor, olor, apariencia, color y consistencia (Kaczyński et al., 2023). Al demostrar un grado de satisfacción positivo se infiere que el queso propuesto podría tener un lugar en el mercado de quesos funcionales.

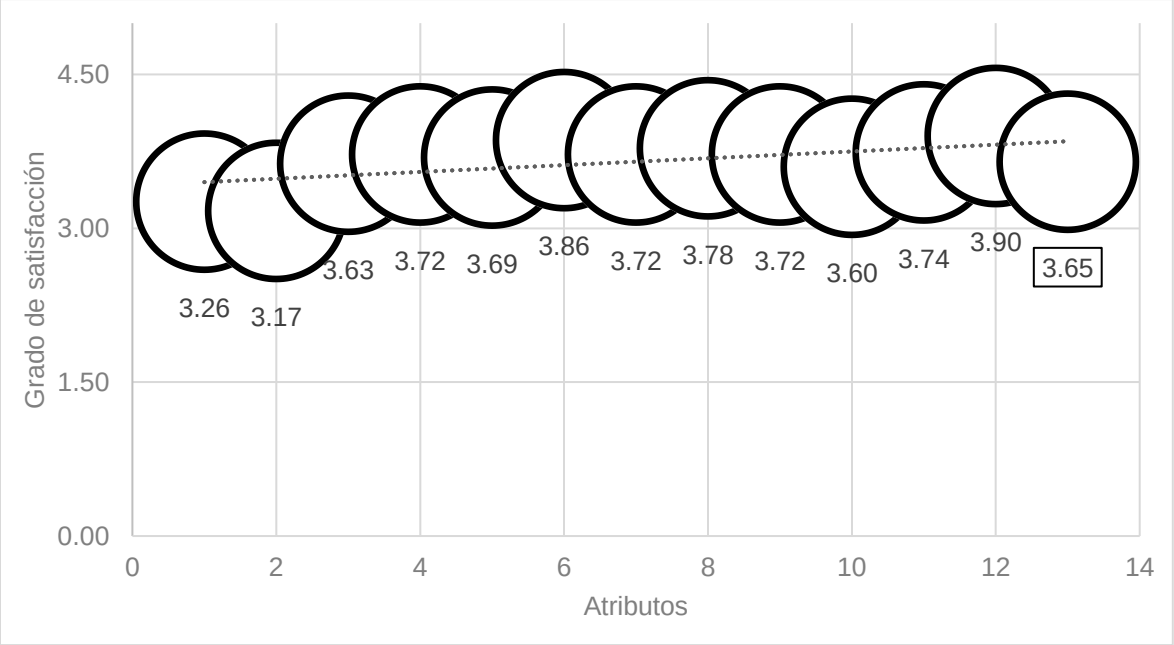


Figura 1. Mapa de posicionamiento de atributos y el grado de satisfacción general del queso enriquecido con harina de frijol. Los atributos evaluados fueron: Apariencia, color, olor, sabor, cremosidad, suavidad, consistencia, salinidad, resistencia, firmeza, carácter graso y acidez. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, una matriz de correlaciones reveló asociaciones significativas entre el nivel de ingresos, la edad, el nivel educativo y los gastos destinados a la compra de quesos (Cuadro 4). En particular, se observaron correlaciones positivas entre ingresos y edad (0.411), nivel de estudios (0.459) y gasto en quesos (0.462), sugiriendo que los consumidores con mayor edad, poder adquisitivo y nivel educativo tienden a valorar más positivamente las innovaciones alimentarias.

Cuadro 4. Matriz de correlaciones entre variables socioeconómicas

		Nivel de ingresos[1]	Edad[2]	Nivel de estudios[3]	Suele fijarse en la etiqueta cuando compra quesos[4]	Gastos destinados al consumo de quesos
1	Correlación de Spearman	1.000	0.411**	0.459**	-0.019	0.462**
	Sig. (bilateral)		<0.001	<0.001	0.847	<0.001
2	Correlación de Spearman	0.411**	1.000	0.016	-0.217*	0.484**
	Sig. (bilateral)	<0.001		0.876	0.030	<0.001
3	Correlación de Spearman	0.459**	0.016	1.000	0.061	0.271**
	Sig. (bilateral)	<0.001	0.876		0.548	0.006
4	Correlación de Spearman	-0.019	-0.217*	0.061	1.000	-0.058
	Sig. (bilateral)	0.847	0.030	0.548		0.570
5	Correlación de Spearman	0.462**	0.484**	0.271*	-0.058	1.000
	Sig. (bilateral)	<0.001	<0.001	0.006	0.570	

Los asteriscos indican la significancia *P ≤ 0.05, **P ≤ 0.01. Fuente: Elaboración propia.

Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan la influencia de variables socioeconómicas y conductuales en la aceptación de alimentos funcionales (Baker et al., 2022; Streletskaya et al., 2023; García-Vázquez et al., 2024). En términos más amplios, la industria agroalimentaria del frijol en México aún se encuentra en una fase temprana de diversificación (Figueroa-González et al., 2023). Sin embargo, la aplicación de tecnología alimentaria, como la elaboración de harinas y su incorporación en productos innovadores (totopos, churros o quesos), ha abierto nuevas oportunidades para el desarrollo de alimentos saludables (Sánchez-Toledano et al., 2021; Figueroa-González et al., 2023). En este sentido, la innovación tecnológica se consolida como un elemento estratégico para potenciar el valor funcional y comercial del frijol en la industria alimentaria nacional.

Conclusiones

El queso ranchero funcional enriquecido con microcápsulas de harina de frijol presentó una aceptabilidad sensorial favorable, especialmente en atributos relacionados con sabor y textura. Los resultados demuestran que la innovación basada en ingredientes tradicionales y de alto valor nutricional puede ser bien recibida por ciertos segmentos del mercado.

Además de su viabilidad como producto, este tipo de innovaciones puede contribuir a la revalorización del frijol como cultivo estratégico en México. Se concluye que factores como la escolaridad, el nivel de ingresos y los hábitos de consumo deben considerarse para diseñar estrategias de comercialización efectivas.

Se recomienda continuar con investigaciones aplicadas que integren aspectos de economía del comportamiento y estudios de mercado, a fin de fortalecer la introducción de alimentos funcionales en la dieta cotidiana del consumidor mexicano.

Referencias

Baker, M. T., Lu, P., Parrella, J. A., & Leggette, H. R. (2022). Consumer acceptance toward functional foods: A scoping review. International *Journal of Environmental Research and Public Health,* 19(3), 1217. https://doi.org/10.3390/ijerph19031217

Chourasia, R., Abedin, M. M., Chiring Phukon, L., Sahoo, D., Singh, S. P., & Rai, A. K. (2021). Biotechnological approaches for the production of designer cheese with improved functionality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 960-979. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12680

Curutchet, A., Tárrega, A., & Arcia, P. (2023). Changes in consumers interest on cheeses with health benefits and different manufacture types over the last decade. *CyTA-Journal of Food,* 21(1), 72-81. https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2162973

Figueroa-González, J., Guzmán-Maldonado, S., Herrera-Hernández, M., & Sánchez-Toledano, B. (2023). Nutritional and Nutraceutical Quality of Artisan Food Products Supplemented With Bean Flour (Phaseolus vulgaris L.): Calidad nutricional y nutracéutica de productos artesanales alimenticios suplementados con harina de frijol (Phaseolus vulgaris L.). *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, 30(1), 61-74.

García-Vázquez, R., Sánchez-Toledano, B. I., López-Santiago, M. A., Valdivia-Alcalá, R., & López-Santiago, A. A. (2024). Atributos valorados por consumidores mexicanos sobre el queso enriquecido con harina de frijol: técnicas de decisión multicriterio. *Información Técnica Económica Agraria,* 120(1). https://doi.org/10.12706/itea.2023.016

Ghamgui, H., Bouaziz, F., Frikha, F., Châari, F., & Ellouze-Chaâbouni, S. (2021). Production and characterization of soft Sardaigne-type cheese by using almond gum as a functional additive. *Food Science & Nutrition*, 9(4), 2032-2041. https://doi.org/10.1002/fsn3.2170

Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual review of food science and technology,* 11(1), 93-118. https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708

Kaczyński, Ł. K., Cais-Sokolińska, D., Bielska, P., Teichert, J., Biegalski, J., Yiğit, A., & Chudy, S. (2023). The influence of the texture and color of goat's salad cheese on the emotional reactions of consumers compared to cow's milk cheese and Feta cheese. *European Food Research and Technology*, 249(5), 1257-1272. https://doi.org/10.1007/s00217-023-04211-2

Malekpour, M., Yazdani, M., & Rezvani, H. (2022). Investigating the relationship between intrinsic and extrinsic product attributes with customer satisfaction: implications for food products. *British Food Journal*, 124(13), 578-598. https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2022-0097

Maphosa, Y., & Jideani, V. A. (2017). The role of legumes in human nutrition. En: *Functional food-improve health through adequate food* (pp. 1-13). IntechOpen. London, UK. https://doi.org/10.5772/intechopen.69127

Michel-Cuello, C., & Aguilar-Rivera, N. (2022). Climate change effects on agricultural production systems in México. En: *Handbook of Climate Change Across the Food Supply Chain* (pp. 335-353). Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87934-1_19

Sánchez-Toledano, B., Cuevas-Reyes, V., Cruz-Bravo, R., & Zegbe, J. A. (2021). Aceptación y preferencia de los consumidores por un tallarín enriquecido con harina de cotiledón de frijol. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(1), 95-95.

Streletskaya, N. A., Maruyama, S., Queisser, S., Cole, S., Stelick, A. N., & Lim, J. (2023). How information leads consumers to select specialty foods when tasting is not an option. *Food Quality and Preference,* 105, 104769. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104769

Vukic, D., Ilicic, M., Kanuric, K., Vukic, V., Bjekic, M., & Degenek, J. (2022). Textural characteristics and colour of fresh cheese obtained by kombucha inoculum. *Journal of Hygienic Engineering & Design,* 38, 234-237.

INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE Y HABILIDAD COMBINATORIA DE LÍNEAS DERIVADAS DE UNA POBLACIÓN DE MAÍZ

Alfonso Peña-Ramos[1*], Omar I. Santana[1], Alejandro Ledesma-Miramontes[2] y Ricardo E. Preciado-Ortiz[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón, Km. 32.5. Carretera Aguascalientes-Zacatecas, Pabellón de A., Aguascalientes, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, Av. Biodiversidad Núm. 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Bajío, Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Guanajuato, México. *Autor de correspondencia: pena.alfonso@inifap.gob.mx

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria en México, donde su producción enfrenta desafíos derivados de la variabilidad ambiental, la presión de enfermedades como las pudriciones causadas por *Fusarium* spp*.*, y la necesidad de incrementar el rendimiento. Ante este panorama, el mejoramiento genético orientado a la selección de genotipos estables y resistentes se ha convertido en una prioridad. La interacción genotipo × ambiente (G×A) representa un fenómeno complejo que influye directamente en la expresión fenotípica de caracteres agronómicos. Su análisis permite identificar materiales con amplia adaptabilidad o con respuesta específica a ciertos entornos, lo cual es esencial en regiones con alta heterogeneidad agroclimática (Zambrano et al. 2017; Nirmal et al. 2019). Diversos estudios han demostrado que la evaluación multianual y multi-ambiental de genotipos es indispensable para seleccionar germoplasma con desempeño consistente (Lozano-Ramírez et al., 2015; Ponce-Encinas et al., 2022; Hisse, 2023). Complementariamente, el análisis de la aptitud combinatoria (Griffing, 1956), permite estimar los efectos genéticos aditivos (aptitud combinatoria general, ACG) y no aditivos (aptitud combinatoria específica, ACE) que controlan caracteres como el rendimiento de grano, la resistencia a enfermedades y la calidad nutricional. Investigaciones recientes han identificado líneas con alta ACG para rendimiento y resistencia a *Fusarium* spp. (Mendoza-Elos et al., 2003*)*, así como cruzas con ACE significativa en ambientes contrastantes (Ávila et al., 2009; Ubias-Serafín et al., 2024). La integración de la evaluación G×A y la aptitud combinatoria, fortalece los programas de mejoramiento genético al permitir una selección más precisa de progenitores y cruzas, optimizando la generación de híbridos adaptados a condiciones locales y contribuyendo al desarrollo de variedades resilientes y productivas. Los objetivos del presente trabajo fueron identificar cruzas de maíz sobresalientes en rendimiento y caracteres de sanidad; así como determinar la aptitud combinatoria de líneas y cruzas derivadas de una población subtropical.

Materiales y métodos

El material del presente estudio fueron 10 cruzas, experimentales formadas con cinco líneas derivadas de la población subtropical tolerante a la pudrición de tallo causada por *Fusarium* spp, PTFN. Las cinco líneas se cruzaron en todas sus combinaciones posibles para formar un dialélico. Estas fueron: 1) PTFN-27-1-1-b, 2) PTFN-25-2-b, 3) PTFN-F2-8-1-1-1-b-b, 4) PTFN-13-4-3-4-b, y 5) PTFN-19-1-5-1-b.

Las diez cruzas que formaron el dialélico se evaluaron en un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones en las localidades de Pabellón, Ags., situado a 1920 msnm, Celaya, Gto., a 1750 msnm y Tepatitlán, Jal., a 1930. La unidad experimental constó de dos surcos de 5.0 m, separados a 0.76 m con una densidad de población de 80 mil plantas/ha, aproximadamente. En Pabellón, se fertilizó con el tratamiento 300N-100P-00K y se regó con cintilla; En Celaya, se fertilizó con 280N-90P-00K y se regó por gravedad; mientras que en Tepatitlán se fertilizó con 270N-80P-00K y se condujo bajo temporal.

El rendimiento de grano (REND) cosechado se ajustó al 14 % de humedad para su análisis; adicionalmente se tomaron datos de porcentaje de mazorcas con pudriciones (MZP), porcentaje de plantas con acame de raíz (ACR) y porcentaje de desgrane (DESG). Se realizó un análisis de varianza individual y uno combinado para cada variable, bajo el modelo propuesto, y la comparación de medias se realizó mediante el estadístico DMS al 0.05 de probabilidad. También se realizó un análisis genético mediante el método 4 de efectos fijos de Griffing (1956), mediante el programa AGD-R_v5.1 (Rodríguez et al., 2022).

Resultados y discusión

El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre localidades y cruzas e interacción significativa localidad x cruza en todas las variables, excepto para MZP en la interacción (Cuadro 1). Esto era de esperarse, debido a las diferentes condiciones agroclimáticas entre localidades y a la existencia de variación genética entre líneas que forman las cruzas, aun cuando provenían de una misma población. La interacción, indica que las cruzas respondieron diferente a través de localidades, de donde es posible seleccionar material sobresaliente en rendimiento y sanidad.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de cruzas dialélicas derivadas de líneas de la población PTFN.

F DE VARIACIÓN	GL	REND	DESG	MZP	ACR
LOC	2	743.4**	4309.3**	3762.3**	17836.5**
REP(LOC)	6	6.5	89.8	604.8	2542.5
CRUZA	9	31.8**	87.2*	2592.3**	476.9**
ACG	4	69.4**	130.1**	5257.6**	830.5**
ACE	5	1.6ns	52.91*	460.0**	194.1ns
LOC*CRUZA	18	3.4*	32.0*	195.7ns	476.9**
LOC/ACG	8	4.8*	53.5**	265.9*	830.4**
LOC/ACE	10	2.2ns	14.8ns	139.5ns	194.1ns
Residual	54	1.79	16.6	115.3	105.95
CV (%)		16.9	5.4	43.8	73.1

GL= grados de libertad, REND = rendimiento de grano ajustado al 14 % de humedad, **DESG=** porcentaje de desgrane, **MZP=** mazorcas con pudriciones, **ACR=** acame de raíz, y CV=Coeficiente de variación. ns, *, ** = no significativo, y significativo al P≤0.05 y P≤0.01, respectivamente.

El análisis de varianza, también detectó significancia estadística para aptitud combinatoria general (ACG) en todas las variables indicando que al menos una línea combinó mejor que otras a través de sus cruzamientos y que los efectos aditivos fueron importantes. También se detectó significancia para aptitud combinatoria específica solo para DESG y MZP. Hubo también interacción significativa localidad/ACG en todas las variables, sugiriendo que la respuesta de las líneas en cruza fue afectada significativamente por el ambiente. En ninguna variable hubo interacción significativa localidad/ACE.

La condición de riego por goteo y buen manejo del cultivo en Pabellón, fue determinante para que en esa localidad se tuviera el mayor REND (12.88 t ha^{-1}), mayor DESG, cero ACR y menor incidencia de MZP (Cuadro 2). En contraste, en Tepatitlán, por la ausencia de lluvia durante el llenado del grano, se registró el menor REND (2.93 t ha^{-1}), menor DESG y alta incidencia de MZP. Por otra, en Celaya se cosechó muy tarde, hasta febrero del siguiente año, ocasionando la mayor incidencia de ACR y MZP en esa localidad (Cuadro 2)

Cuadro 2. Efecto de localidades sobre el rendimiento de grano y otras variables agronómicas en promedio de cruzas derivadas de la población PTFN.

LOC	REND (t ha^{-1})	DESG (%)	ACR (%)	MZP (%)
Pabellón	12.88a	82.4ª	0.0b	11.9b
Celaya	7.89b	82.8ª	42.2a	28.4a
Tepatitlán	2.93c	61.8b	0.0b	33.2a
DMS0.05	0.69	2.1	5.3	5.6

REND = rendimiento de grano ajustado al 14 % de humedad, **DES=** porcentaje de desgrane **ACR** = acame de raíz, **MZP=** mazorcas con pudriciones. Medias con diferente literal en cada variable son diferentes estadísticamente (p≤0.05).

El REND de las cruzas en promedio de localidades fluctuó entre 5.47 y 11.49 t ha^{-1}, (6.02 t ha^{-1} de diferencia) (Cuadro 3), esta diferencia, muestra la existencia de amplia variabilidad genética en la población de la cual se derivaron las líneas que formaron las cruzas, que puede aprovecharse en el proceso de selección e hibridación. Destacó la cruza 2x4 con el mayor REND (11.49 t ha^{-1}), alto DESG (77.9%), bajo ACR (4.2%), y baja incidencia de MZP (9.6%). Las cruzas 1x2, 2x3 y 3x4, presentaron REND aceptable y baja ACR y MZP (Datos no presentados). Tres de estas cruzas contienen al progenitor 2, sugiriendo que posee efectos aditivos favorables para estas variables (Ávila et al. 2009).

Cuadro 3. Efecto de interacción localidad x cruza para rendimiento de grano y variables agronómicas de cruzas simples derivadas de la población PTFN.

Localidad	Cruza	REND (t ha^{-1})	DESG (%)	ACR(%)	MZP (%)
Pabellón	1X2	14.07b	80.7e	0.0	4.3c
	1X3	11.04cd	82.5cd	0.0	18.7b
	1X4	14.66ab	82.7cd	0.0	1.0c
	1X5	11.01cd	82.1d	0.0	28.3a
	2X3	13.26bc	79.4e	0.0	3.7c
	2X4	16.46a	81.6d	0.0	2.0c
	2X5	11.14cd	83.9ab	0.0	17.3b
	3X4	14.94ab	84.6a	0.0	1.3c
	3X5	9.33d	83.6ab	0.0	28.7a
	4X5	12.92bc	83.1abc	0.0	13.3b
	DMS 0.05	2.25	1.1	ns	8.0
Celaya	1X2	9.53b	82.3a	23.7bcd	11.0d
	1X3	6.5bc	82.2a	54.0ab	29.0bcd
	1X4	7.97bc	83.8a	67.0a	14.0d
	1X5	4.59d	76.4b	67.0a	74.0a
	2X3	9.35b	81.9a	4.7d	17.3cd
	2X4	13.18a	84.1a	12.7cd	12.0d
	2X5	5.42cd	84.3a	50.0ab	38.0b
	3X4	9.0b	85.7a	53.3ab	19.7cd
	3X5	5.47cd	84.4a	38.0abc	34.3bc
	4X5	7.94bc	82.4a	52.0ab	34.3bc
	DMS 0.05	3.03	4.2	30.6	18.1
Tepatitlán	1X2	1.98def	53.3c	0.0	20.3cd
	1X3	2.21def	61.2abc	0.0	36.0bc
	1X4	3.92abc	66.2ab	0.0	14.3cd
	1X5	1.33f	50.8c	0.0	74.7a
	2X3	3.1bcd	60.2abc	0.0	13.3cd
	2X4	4.83a	68.3ab	0.0	14.7cd
	2X5	2.82cde	65.8ab	0.0	51.7ab
	3X4	4.32ab	70.1a	0.0	10.0d
	3X5	1.62ef	57.3bc	0.0	61.0a
	4X5	3.15bcd	65.1ab	0.0	36.3bc
	DMS 0.05	1.27	11.3	ns	25.1

REND = rendimiento de grano ajustado al 14 % de humedad, **DESG=** porcentaje de desgrane; **MZP=** mazorcas con pudriciones, **ACR**= acame de raíz. Medias con igual literal dentro de cada variable y localidad son iguales estadísticamente P≤0.05.

La cruza 2x4, tuvo significativamente el mayor REND y menor ACR y MZP en las tres localidades (Cuadro 3), indicando que es estable y consistente en su expresión genética (Nirmal et al., 2019), de ahí que se sugiera como candidata para continuar con su evaluación en mayor número de ambientes. Las cruzas 2x3 y 3x4 estuvieron entre el primero y segundo grupo superior en REND con baja incidencia de MZP en las tres localidades, por lo que se consideran también consistentes en su respuesta ambiental. Por otra parte, la cruza 1x2, sobresalió con alto REND y bajo porcentaje de MZP en Pabellón y Celaya; mientras que la 1x4, solo en Pabellón, lo que indica que tienen adaptación más reducida para expresar su potencial de producción.

En el análisis de aptitud combinatoria, las líneas 2 y 4 tuvieron la mayor ACG para REND (p≤0.01), la 2, adicionalmente en forma negativa para ACR y MZP; mientras que la 4, solo para MZP (Cuadro 4), indicando que ambas líneas generan cruzas con alto rendimiento y sanidad; por lo cual se consideran de alto valor genético apropiadas para la generación de híbridos superiores, en el programa de mejoramiento genético. Por otra parte, ninguna cruza presentó efectos de ACE significativos favorables para REND y ACR, solo la cruza 2x3, tuvo una ACE significativa y negativa para MZP (datos no presentados), lo cual corrobora la mayor sanidad de mazorca de esta cruza en las tres localidades, y aun cuando la ACE para REND no fue significativa, éste fue alto en esas localidades (Cuadro 4).

Cuadro 4. Aptitud combinatoria general de líneas de maíz derivadas de la población PTFN.

LÍNEA	GENEALOGÍA	REND	DESG	ACR	MZP
1	PTFN-F2-27-1-1-b	-0.67**	-2.65**	4.75**	3.53*
2	PTFN-F2-25-2-b	1.15**	-0.24	-8.66**	-9.80**
3	PTFN-F2-8-1-1-1-b-b	-0.52**	0.57	-2.10	-2.32
4	PTFN-F2-13-4-3-4-b	2.05**	3.30**	1.79	-13.43**
5	PTFN-F2-19-1-5-1-b	-2.01 **	-0.98	4.23**	22.01**
	EE=	0.163	0.497	1.253	1.307

GL= grados de libertad, **EE=** Error estándar, **REND** = rendimiento de grano ajustado al 14 % de humedad, **DESG=** porcentaje de desgrane; **MZP=** mazorcas con pudriciones, **CMZ** = calificación de mazorca; **ACR**= acame de raíz. *, ** = significativo al P≤0.05 y P≤0.01, respectivamente.

Conclusiones

El contraste de las condiciones ambientales entre localidades y la variación genética del germoplasma evaluado, permitió identificar al menos una cruza con rendimiento de grano y sanidad de planta y mazorca alto y consistente a través de ambientes; así como dos líneas de alta aptitud combinatoria general para rendimiento de grano y sanidad que puede ser de gran utilidad para la generación de híbridos superiores en programas de mejoramiento genético.

Referencias

Ávila P., M., S.A. Rodríguez H., M.E. Vázquez B., F. Borrego E., A. J. Lozano R., y A. López B. 2009. Aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas endogámicas de maíz de Valles Altos del Centro de México. Agric. Téc. Méx. 35: 285-293.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9(4):463-493.

Hisse, I. R. (2023). *Análisis de las interacciones aptitud combinatoria × ambiente mediante modelos multivariados en híbridos de maíz de distinto tipo de grano*. Tesis de Especialista en Mejoramiento Genético Vegetal, Universidad de Buenos Aires. Repositorio Institucional FAUBA. http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2023hisseignacioruben.pdf

Lozano-Ramírez, Á., Santacruz-Varela, A., San-Vicente-García, F., Crossa, J., Burgueño, J., y Molina-Galán, J. D. (2015). Modelación de la interacción genotipo × ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 333–341. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400001

Mendoza-Elos, M., López-Benítez, A., Oyervides-García, A., Martínez-Zambrano, G., y Moreno-Martínez, E. (2003). *Herencia genética y citoplásmica de la resistencia a la pudrición de la mazorca del maíz (Zea mays L.) causada por Fusarium moniliforme Sheld*. *Revista Mexicana de Fitopatología,* 21(3), 267–271. Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C.

Nirmal, R.R.; Renuka, D.C.P. and Gokulakrishnan, J. 2019. G x E interaction and stability analysis of maize hybrids using Eberhart and Russell model. IJAEB:12(1):1-6.

Ponce-Encinas, M. C., López-Morales, F., Chura-Chuquija, J., Hernández-Leal, E., Hernández-Salinas, G., y Aragón-García, A. (2022). Interacción genotipo-ambiente del rendimiento en híbridos de maíz amarillo mediante AMMI y SREG. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 13(7), 1247–1258. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.3070

Rodríguez F., Alvarado G., Pacheco A., Crossa J. y Burgeño J. 2022. AGD-R (Analysis of genetic designs with R for Windows). Versión 5.1. http//hdl.handle.net/11529/10202 International Maize and Wheat Improvement Center.

Ubias-Serafín, E., Raya-Pérez, J. C., Aguirre-Mancilla, C. L., Gámez-Vázquez, A. J., Frías-Pizano, J., y Covarrubias-Prieto, J. (2024). *Combining ability in maize lines derived from the fifth cycle of stratified mass selection*. Revista Fitotecnia Mexicana, 47(4a), Artículo 451. https://doi.org/10.35196/rfm.2024.4a.451

Zambrano Z.E.E.; Limongi, A.J.R.F., Alarcón, C.F.D., Villavicensio, L.J.P., Caicedo V.M.B., Eguez, M.J.F. y Zambrano, M.J.L. 2017. Interacción genotipo ambiente de híbridos de maíz bajo temporal en Manabí y Los Ríos, Ecuador. ESPAMCIENCIA 8(1):7-14.

SITUACIÓN ACTUAL DEL MEZCAL (*Agave duranguensis* Gentry) EN MÉXICO Y PERSPECTIVAS DE MEJORA PARA NOMBRE DE DIOS, DURANGO.

Ignacio Orona Castillo[1], Joaquín Osornio Córdova[1*], Tomás Juan Álvaro Cervantes Vázquez[1] , Héctor Loera Gallegos[2] y Ulises Noel Gutiérrez Guzmán[1]

[1]Facultad de Agricultura y Zootecnia, UJED, Domicilio Conocido Ejido Venecia, Dgo. [2]Facultad de Ciencias Forestales, UJED. Durango, Dgo. Email: cordova261958@gmail.com

Introducción

Hoy día, como desde hace siglos, los magueyes o agaves con sus imponentes tamaños y extravagantes formas caracterizan los paisajes de las zonas áridas y semiáridas de nuestro país y contribuyen a la conservación y retención del suelo; en algunas regiones se cultivan delimitando bordos o terrazas para evitar la erosión y el deslave de las tierras. Su cultivo hace posible la ampliación de la productividad agrícola en zonas frías y calientes El mezcal es un producto protegido con denominación de origen por lo cual solo ciertos estados del país pueden producir esta bebida; a la fecha, doce estados de la República Mexicana cuentan con territorios protegidos a través de esta denominación de origen del mezcal (DOM): Oaxaca, Guerrero, Michoacán, San Luis Potosí, Durango, Puebla, Tamaulipas, Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Estado de México y Morelos, estos tres últimos estados recientemente incluidos en agosto de 2018 (DOF, 2018a, 2018b, 2018c).

En noviembre de 1994, se llevó a cabo la formalización de los aspectos relacionados con la protección de la Denominación de Origen del Mezcal, y se publicó una declaración en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Al crecimiento y posicionamiento de esta bebida a nivel nacional e internacional ha contribuido la creación, en 1997, del Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal, A.C. (COMERCAM), con la finalidad de evaluar el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016 Bebidas Alcohólicas – Mezcal – Especifica.

En el estado de Durango se registran alrededor de 12 especies. En el municipio de Nombre de Dios Durango, además de los recursos maderables, se cuenta con recursos forestales no maderables de una magnitud considerable, principalmente por la presencia de dos especies de maguey con importancia económica como son *Agave durangensis* (maguey cenizo) y *Agave salmiana* (maguey verde), cuya utilización es básicamente para la obtención de mezcal, distinguiéndose el primero por encontrarse en mayor abundancia, además de su gran preferencia por la calidad de producto que de él se obtiene.

Hasta el momento, la implementación de la DOM como estrategia comercial, no ha beneficiado a la mayoría de los productores de mezcal en el país, especialmente los microempresarios (Salinas, 2021). Por el contrario, estamos de acuerdo con Camacho Vera *et al*., (2021) en que ha generado más problemas al momento de vender su producto, (el diferencial de precios entre mezcales normales y certificados es inmenso) ya que adherirse a la NOM-070-SCFI-1994, implica seguir procesos productivos más complicados y costosos, además de lidiar con los altos costos de la gestión administrativa, la compleja tramitología y la falta de conocimiento en temas contables y administrativos.

Realizar un estudio de trazabilidad del mezcal en una destiladora con alto grado de integración como la SPR de RL Tradiciones mezcaleras, en el Municipio de Nombre de Dios Durango es importante porque ello permitirá identificar los puntos críticos que podrían afectar la certificación del proceso de producción del mezcal de acuerdo con la NOM, además de servir de guía a los procesos que otras destiladoras de la región de estudio están realizando para poder impulsarlas hacia la certificación de su producto. También apoyará la recomendación de prácticas que hagan posible una mayor sostenibilidad de este sistema productivo, beneficiando así a los grupos sociales relacionados con el cultivo en esta zona, por lo que el objetivo es conocer la evolución de la producción de Mezcal en México y caracterizar el sistema de trazabilidad implementado por la SPR de RL Tradiciones mezcaleras en Nombre de Dios Durango para fortalecer la autenticidad del producto y promover la sostenibilidad de su proceso productivo

Materiales y métodos

El municipio de Nombre de Dios Durango se encuentra en las coordenadas 23°50′48″N latitud norte y 104°14′36″O latitud sur a una altitud de 1,730 metros sobre el nivel del mar. Es considerado como zona con denominación de origen del mezcal. Se localiza al suroeste en el estado de Durango, colinda al norte con Durango y Poanas, al sur con Mezquital y Súchil, y al oriente con Vicente Guerrero, Mezquital y Durango. A 40 minutos de la capital Durango, con una población total de 19 060 habitantes, para el año 2020.

El estudio metodológico de la trazabilidad del mezcal comprende el uso de técnicas de investigación participativa; la encuesta, y la entrevista a los actores que participan a lo largo de la cadena productiva, desde la recolección de semilla, reproducción, plantación, cosecha, transportación, cocción, molienda, fermentación, destilación y hasta el embotellado del mezcal. Se llevará a cabo en la Destiladora de Mezcal denominada SPR de RL Tradiciones mezcaleras, localizada en la cabecera municipal de Nombre de Dios Durango; la información se captará por investigación participativa, entrevistas y reglamentación oficial de la producción de mezcal.

La detección de áreas de oportunidad y mejora se hará con base a la legislación oficial del mezcal que indica la Norma Oficial Mexicana y la reglamentación oficial del COMERCAM, de tal manera que al atender dichas áreas se pueda lograr la Certificación del mezcal producido por la empresa bajo estudio.

La elaboración de mezcal ancestral o artesanal se da a través de cinco procesos fundamentales, iniciando por la obtención de la materia prima a través de la cosecha y recolección del agave, el cocimiento de las piñas o cabezas de agave en hornos, su molienda posterior, la fermentación de las fibras producto de la molienda junto con jugos obtenidos a la par, para finalmente concluir con la destilación, la cual se basa en un procedimiento que se ha mantenido sin cambios por más de 400 años desde la llegada de los españoles, adicionalmente se han incorporado los procesos de envasado, etiquetado y comercialización de la bebida (Gschaedler, et al., 2020.).

Resultados y discusión

Estadísticas generales de la cadena. De acuerdo con el Informe estadístico 2024 publicado por la COMERCAM (2024) la producción de mezcal certificado ha tenido una tendencia alcista en los últimos años al presentar un incremento de más de 300% entre el año 2005 y 2009. En este último año se produjeron 1.8 millones de litros. En 2009, Oaxaca fue el principal productor de mezcal en el país al generar 54.4% del total nacional.

El segundo lugar lo ocupó Zacatecas con 45.3% de la producción, mientras que Durango y Guerrero produjeron el 0.3% restante. Producción de Mezcal Certificado en México De manera general, el proceso de certificación consiste en que el COMERCAM emite el certificado NOM con vigencia de seis meses. El organismo vigila el cumplimiento de la NOM, y si los reportes de verificación de pruebas de laboratorio indican el cumplimiento de la Norma, el certificado se renueva automáticamente por 6 meses más, cubriendo el pago respectivo.

La producción a nivel nacional de mezcal 2023 referido a 45% Alc. Vol., equivale a 12,239,55 situándose Oaxaca en el primer lugar como estado productor con el 90.51 % (Cuadro 1).

Cuadro 1. Detalle la participación porcentual de la producción de mezcal por estado con DOM, período 2012-2023

Entidad	2012-2013	2014-2015	2016-2017	2018-2019	2020-2021	2022-2023
Oaxaca	96.2	95.5	85.25	91.2	89.05	90.9
Puebla	-	-	1.8	2.35	2.35	4.19
Michoacán	0	0.35	0.7	0.9	0.95	1.12
Durango	0.3	0.45	1.7	2.25	2.2	1.24
San Luis Potosí	0	0.1	1	0.65	0.9	0.91
Guerrero	1	1	3	1.45	0.95	0.81
Zacatecas	2.3	2.45	6.05	0.9	3.2	0.58
Tamaulipas	0	0	0.05	0.1	0.175	0.185
Guanajuato	0.15	0.1	0.45	0.2	0.15	0.055

La evolución del volumen de mezcal reportado para el período 2011 al 2023 ha crecido 12.48 veces, constituyéndose como una alternativa de los productores y agentes que participan en la cadena de valor del Agave.

Del total de producción total el 93.71% lo ocupa la categoría mezcal artesanal; 5.94% el mezcal, y 0.35% mezcal ancestral, siendo la clase blanco o joven la principal producida con el 97.97%; el abocado con el 1.35%, y el destilado con 1.28%.

Del mezcal envasado producido para el año 2023 un 31.01% se destinó al mercado nacional y el resto a la exportación. La tasa de crecimiento del envasado del año 2023 al 2024 creció un 39.03%.

La Trazabilidad en el Mezcal. La trazabilidad examina minuciosamente la procedencia de materias primas, procesos aplicados al producto, distribución y ubicación posterior a la compra, así como la procedencia de todos lo agaves. Para que una producción de mezcal sea certificada debe contar con un certificado expedido por la unidad de certificación, que es responsable de certificar a granel (mezcal líquido) hasta la certificación de exportación.

La revisión de bitácora es de una actividad fundamental, ya que se debe beneficiar la trazabilidad de todo el proceso desde el cultivo hasta la venta. También es necesario que cada botella tenga un holograma entregado por la unidad de certificación. Como se indica en la Figura 1.

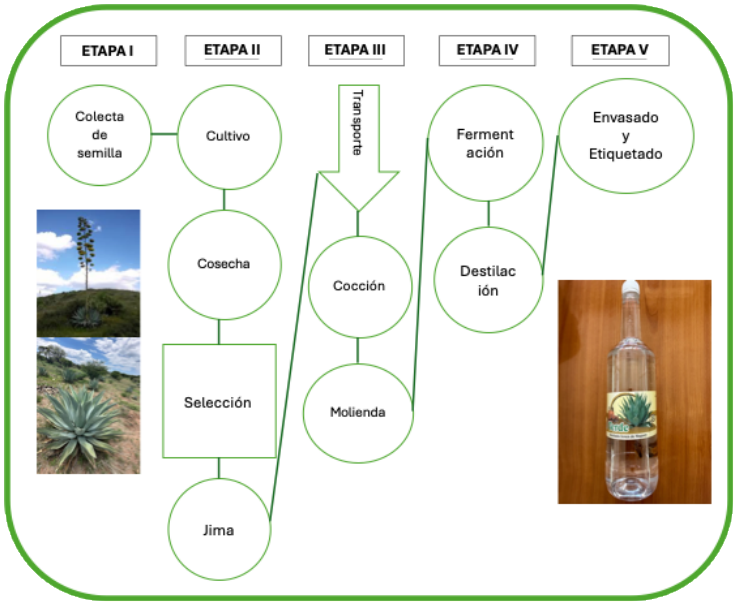


Figura 1. Diagrama por etapas del proceso de producción del Mezcal.

Manejo de plantación de agave mezcalero en Nombre de Dios, Durango. La recolección de semilla en el mes de octubre, eligiendo para ello los Agaves más vigorosos y sanos; su germinación bajo invernadero y su trasplante en platabandas; todo este proceso dura alrededor de dos años; alcanzando una altura de entre 10 y 32 cm. Posterior a ello viene el trasplante definitivo en plantación.

El trasplante de agave en campo se hace con plantas de dos años de edad, después de haber estado invernadero y viveros; se realiza cuando la planta alcanza entre 10 a 32 cm. Una vez trasplantada en campo la planta va a durar de ocho a doce años hasta alcanzar su madurez.
La reposición de planta en plantación de la Destiladora de mezcal SPR de RL Tradiciones Mezcaleras se realiza a partir de la primera semana de julio y se extiende hasta finales del mes de agosto que es cuando se aprovechan las mejores precipitaciones.

La nueva planta ocupa los espacios que quedan entre un maguey y otro, en espacios generados por la cosecha de agave maduro o por pérdidas de plantas que caducaron en el transcurso de su desarrollo.

La replantación es una estrategia que adopta la destiladora con el objetivo de asegurar el abasto permanente de la materia prima (piña), pues coexisten plantas pequeñas, medianas, jóvenes y maduras, listas para cosechar. La profundidad a que cavan para plantar oscila entre los 14 y 22 cm, dependiendo del tamaño del maguey.

La densidad actual de plantación es de 3500 plantas por hectárea de diferentes tamaños. Esto como anteriormente se explicaba, es para seguir abasteciéndose de insumo piña para la producción de mezcal año con año.

Como otra forma de aprovechar los recursos agroforestales con que cuentan, cabe mencionar que en las plantaciones de agave, para aprovechar pastos y otras plantas comestibles meten a pastorear de manera temporal ganado bovino, tal práctica adiciona estiércol bovino al suelo y favorece la captación de humedad. Durante la replantación el ganado es trasladado a otras áreas. La trazabilidad de los distintos procesos que siguen a la producción de mezcal; que son cosecha, jima, transportación y transformación hasta su embotellado serán abordados en siguientes fases de ésta investigación, hasta llegar a cubrir el proceso completo, identificándose así los puntos críticos que deben cubrirse para una certificación adecuada del proceso y con ello contribuir a mejorar los precios de venta del producto, beneficiando así la población que ocupa la DOM del mezcal en la región.

Conclusiones

De acuerdo con las estadísticas del Mezcal en México, este producto constituye una alternativa de producción atractiva para regiones que cuentan con Denominación de Origen, habitadas por grupos sociales tradicionalmente marginados; así lo muestra la evolución de la producción habida en los últimos 15 años.

El estudio de trazabilidad del mezcal iniciado en Nombre de Dios apoyará sin duda al objetivo de obtener mejores condiciones de precio y con ello un mejor bienestar de los participantes en el proceso; que en este caso es el sector social del municipio.

Referencias

Camacho-Vera, J. H., Durán-Ferman, P., & Vargas-Canales, J. M. (2021). Complejidad y trayectoria del sistema productivo mezcal en la sierra sur de Oaxaca, México. Revista de Ciencias Sociales (RCS), 27(4), 76–92. https://doi.org/10.31876/rcs.v27i4.37235

Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (COMERCAM). (2024). Informe estadístico 2024. https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2024/04/PUBLICO_INFORME_2024.pdf

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2018a, 8 de agosto). Resolución por la que se modifica la declaración general de protección de la denominación de origen mezcal: Aguascalientes. http://dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=5534192&fecha=08/08/2018

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2018b, 8 de agosto). Resolución por la que se modifica la declaración general de protección de la denominación de origen mezcal: Estado de México. http://www.dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=5534193&fecha=08/08/2018

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2018c, 9 de agosto). Resolución por la que se modifica la declaración general de protección de la denominación de origen mezcal: Morelos. https://www.dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=5534294&fecha=09/08/2018

Gschaedler, M. A. Ch., Gallardo, V. J., & Villanueva, R. S. (2020). El proceso de elaboración del mezcal en el estado de Michoacán. En La producción de mezcal en el estado de Michoacán (2.ª ed.). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. y Gobierno de Michoacán.

Salinas, E. (2021). Análisis de la competitividad exportadora de las MIPyMES productoras de mezcal, ubicadas en los estados de Oaxaca y Michoacán, México, hacia el mercado de los Estados Unidos [Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo].

INNOVACIONES EN EL MANEJO DEL RIZOBIOMA DEL MAÍZ CRIOLLO: IMPACTO DE LA INOCULACIÓN BACTERIANA Y EL EMPANIZADO CON HARINA DE ROCA DESDE UN ENFOQUE METAGENÓMICO

Jesús Vásquez-Arroyo[1,2], Ricardo de Jesús Lira-López, Alejandra Cabrera-Rodríguez[2], Erika Nava-Reyna[3], Luis, M. Valenzuela-Núñez[4], María Cristina García-De la Peña[4]*

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Ciencias Químicas. Av. Universidad s/n, Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México, 35010. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Departamento de Agroecología. Periférico Raúl López Sánchez Km 2.0, Colonia Valle Verde. CP 27054, Torreón, Coahuila, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Margen Derecho del Canal de Sacramento km 6.5. Gómez Palacio, Durango, México, 35140. [4] Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad s/n, Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México, 35010. *Autor de correspondencia: cristina.garcia@ujed.mx

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.), domesticado en México a partir del teocintle (Ku-Pech et al., 2020), es un cultivo de gran importancia a nivel global, tanto por su valor nutricional como por su relevancia cultural (Bolo et al., 2024). En México, especialmente en la Comarca Lagunera, se cultiva a gran escala para sustentar industrias como la de producción de carne y leche (Ramírez et al., 2019), lo que requiere el uso de fertilizantes sintéticos que, aunque aumentan la productividad, pueden alterar el ciclo del carbono en el suelo (Papin et al., 2024; Li et al., 2023). Ante la necesidad de prácticas agrícolas más sostenibles, la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) y rizobacterias (PGPR) ha emergido como una alternativa prometedora para mejorar la productividad y la salud de las plantas (Vuolo et al., 2022; Daraz et al., 2023). Adicionalmente, el empanizado de semillas con enmiendas como la harina de roca, mejora la germinación y enriquece la rizosfera, un nicho ecológico donde los microorganismos establecen interacciones complejas con las raíces del maíz (Chilon et al., 2014; Wang et al., 2022). Sin embargo, la consistencia de los efectos de las PGPR en campo es variable (Ibarra et al., 2023). Por lo tanto, esta investigación evalúa, mediante secuenciación de nueva generación (NGS) y análisis con QIIME2, el impacto de tres inoculantes microbianos, aplicados en combinación con el empanizado de harina de roca, en la diversidad bacteriana de la rizosfera de dos variedades de maíz criollo, buscando optimizar la salud del suelo.

Materiales y métodos

Descripción del sitio de estudio y muestreo. El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental El Retiro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicado en Francisco I. Madero, Coahuila de Zaragoza, México (25º 49’ 53.45” N y 103º 7’ 4.03” O), durante el periodo de junio de 2024 a junio de 2025. Se establecieron parcelas experimentales de 6 m² (0.75 m x 8 m), con una parcela útil de 5.25 m² (0.75 m x 7 m). Las semillas de las razas de maíz criollo R1 y R2 fueron tratadas de la siguiente manera:

1. *Inoculación:* Se aplicaron 100 mL de cada uno de los siguientes inoculantes biológicos por cada 1 kg de semilla:
   a) BUAP (patente de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, compuesto por *Azospirillum brasilense* Sp7, *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAI 5, *Paraburkholderia* unamae MTI-641, *Sphingomonas* sp. OF-178, *Bradyrhizobium* sp. MS22, *Pseudomonas putida* KT2440).
   b) UAAAN (aislados bacterianos del suelo experimental).
   c) FCB (especies bacterianas de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UJED; Pseudomonas paralactis, Sinorhizobium meliloti, Acinetobacter radioresistens y Bacillus sp.).
2. *Empanizado:* Las semillas inoculadas fueron recubiertas con una mezcla de melaza (10%) y harina de roca (20% p/p).
3. *Control:* Se incluyeron semillas no inoculadas y sin empanizar para ambas razas, como tratamiento control.

La siembra se realizó el 5 de septiembre de 2024. A los 60 días después de la siembra, se recolectaron muestras de suelo rizosférico de las plantas de maíz, separando cuidadosamente las raíces. Se establecieron los siguientes tratamientos: T1 (suelo sin planta), T2 (suelo a los 11 días después de la aplicación del estiércol) y T3 (rizosfera de A. hybridus). Las muestras fueron tomadas por cuadriplicado para los tratamientos inoculados y para los controles. Para el análisis molecular, se extrajo el ADN del suelo rizosférico con tres repeticiones, utilizando el kit DNA MiniPrep de Zymo ResearchTM, siguiendo las instrucciones del fabricante. Se amplificó la región V3-V4 del gen 16S rRNA con los iniciadores recomendados por Klindworth et al.(2013), generando un amplicón de ~460 pb. Se realizó la secuenciación Illumina, generando un amplicón de ~550 pb. El análisis de las secuencias se realizó en la plataforma MGLinux, empleando la plataforma QIIME2, y la taxonomía se asignó utilizando la base de datos Greengenes 2023 (Lee et al., 2019).

Extracción de ADN y Análisis Bioinformático: Para el análisis molecular, se extrajo el ADN del suelo rizosférico con tres repeticiones, utilizando el kit DNA MiniPrep de Zymo ResearchTM, siguiendo las instrucciones del fabricante. Se amplificó la región V3-V4 del gen 16S rRNA con los iniciadores recomendados por Klindworth et al. (2013), generando un amplicón de ~460 pb. Se realizó la secuenciación Illumina, generando un amplicón de ~550 pb. El análisis bioinformático se llevó a cabo en la plataforma MGLinux, empleando la plataforma QIIME2 (Bolyen et al., 2019).

El proceso incluyó los siguientes pasos:

1. *Control de Calidad y Filtrado:* Se realizó el control de calidad de las secuencias y se filtraron aquellas con baja calidad o longitud incorrecta.
2. *Desreplicación y Agrupamiento (DADA2):* Se utilizaron algoritmos DADA2 para desreplicar y agrupar las secuencias en amplicon sequence variants (ASVs), eliminando errores y reduciendo la redundancia.
3. *Asignación Taxonómica:* Se asignó la taxonomía a los ASVs utilizando la base de datos Greengenes 2023 (Lee *et al.,* 2019).
4. *Análisis de Diversidad:* Se calcularon métricas de diversidad alfa (ej: riqueza de especies, diversidad de Shannon) y beta (ej: Bray-Curtis, Unweighted Unifrac) para comparar la composición de la comunidad microbiana entre los diferentes tratamientos. Se realizaron pruebas PERMANOVA para determinar las diferencias significativas en la diversidad beta.
5. *Visualización:* Se utilizaron gráficos y tablas para visualizar los resultados del análisis.

Resultados y discusión

Resultados clave de la abundancia relativa (%). A nivel de Phyllum (Cuadro 1), Proteobacteria fue el más abundante en el suelo sin sembrar, con un 37.6%. Esta abundancia es consistente con la literatura que señala a las Proteobacterias como un filo dominante en diversos ecosistemas de suelo. En los tratamientos con inoculantes, las Proteobacterias también destacaron, especialmente en las parcelas tratadas con la raza R1-UAAAN (26.1%) y R2-FCB (23.5%).

Cuadro 1. Mapa de calor de la abundancia relativa (%) a nivel de Phya, Clase y géneros bacterianos de los 10 grupos más abundantes de larizósfera de las dos razas de maíz cirollo y suelo

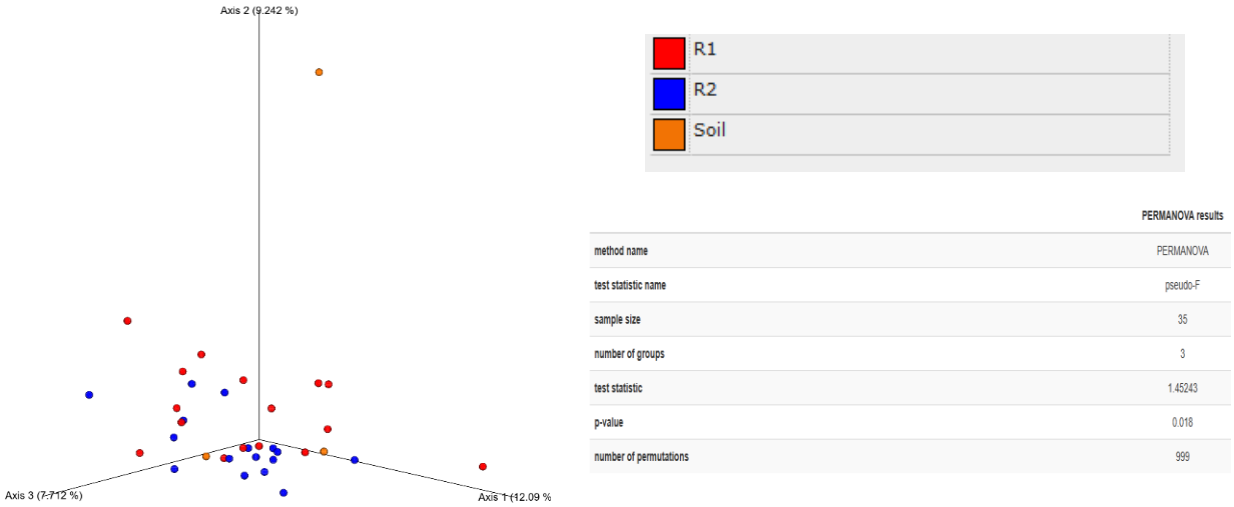
Phyla	R1-CONTROL	R1-BUAP	R1-UAAAN	R1-FCB	Suelo	R2-CONTROL	R2-BUAP	R2-UAAAN	R2-FCB
Proteobacteria	21.6	21.8	26.1	18.6	37.6	17.5	20.3	20.7	23.5
Actinobacteriota	33.8	18.8	19.8	29.2	21.7	27.3	17.7	18.4	18.4
Other 1	6.7	11.8	7.5	11.8	8.6	10.5	8.4	9.9	9.0
Gemmatimonadota	4.3	9.5	8.8	6.8	6.9	5.8	9.2	8.2	11.4
Bacteroidota	9.4	10.7	12.9	8.3	3.6	5.1	8.8	8.4	6.4
Acidobacteriota	3.4	4.9	8.7	8.6	6.1	9.6	12.8	8.3	5.5
Chloroflexota	4.7	7.0	3.8	5.1	4.1	6.2	5.3	7.9	6.0
Myxococcota_A_473307	5.8	6.9	4.3	3.8	2.5	6.3	6.0	5.8	5.9
Verrucomicrobiota	5.1	1.5	2.4	1.4	2.4	2.6	2.9	3.0	6.6
Firmicutes_D	1.0	1.5	1.4	1.8	0.8	2.5	2.9	2.3	2.8

Clase	R1-Control	R1-BUAP	R1-UAAAN	R1-FCB-UJED	Suelo	R2-Control	R2-BUAP	R2-UAAAN	R2-FCB-UJED
c__Actinomycetia	26.2	9.9	15.7	16.1	9.1	15.4	11.6	13.3	11.1
c__Gammaproteobacteria	13.7	11.8	14.1	7.0	35.0	11.1	15.0	13.1	11.0
c__Bacteroidia	9.7	6.6	12.6	8.1	2.7	5.5	12.0	9.7	6.3
c__Alphaproteobacteria	8.7	11.1	12.2	11.1	7.9	9.3	13.7	11.3	13.6
Other 1	6.4	11.7	6.9	11.5	7.8	11.1	11.2	11.6	8.3
c__Verrucomicrobiae	5.3	1.4	2.3	1.4	2.0	2.6	3.7	3.6	5.1
c__Thermoleophilia	5.2	6.4	2.5	6.7	5.1	8.1	6.0	4.4	3.6
c__Gemmatimonadetes	4.2	11.5	7.2	7.0	6.3	6.1	12.5	10.0	11.2
c__Polyangia_463783	2.8	3.2	2.7	2.1	1.2	4.3	5.5	4.7	4.2
c__Chloroflexia	2.8	2.6	1.5	2.3	2.0	3.6	4.1	5.2	2.9

Genus	R1-Control	R1-BUAP	R1-UAAAN	R1-FCB-UJED	Suelo	R2-Control	R2-BUAP	R2-UAAAN	R2-FCB-UJED
Other 1	6.3	11.7	6.9	11.5	7.8	10.2	8.2	9.7	8.5
c__Alphaproteobacteria	5.4	2.1	2.5	3.0	2.1	2.8	1.4	1.6	1.5
c__Actinomycetia	5.0	0.0	2.7	0.9	0.2	0.0	0.1	1.7	0.0
o__Solirubrobacterales	2.8	0.0	0.1	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0
__Gammaproteobacteria	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
p__Actinobacteriota	2.6	3.0	0.9	2.1	3.3	3.2	2.2	1.4	1.2
f__Sphingomonadaceae	1.9	2.2	3.1	3.8	2.1	3.5	2.8	3.5	3.7
g__Solirubrobacter	1.9	0.4	1.0	0.7	0.7	1.0	1.0	1.2	1.5
f__Polyangiaceae	1.7	2.4	2.3	2.6	2.1	1.5	1.3	2.1	3.0
g__Streptomyces_G_399870	1.7	0.7	0.0	1.4	0.2	1.1	0.1	1.7	0.4

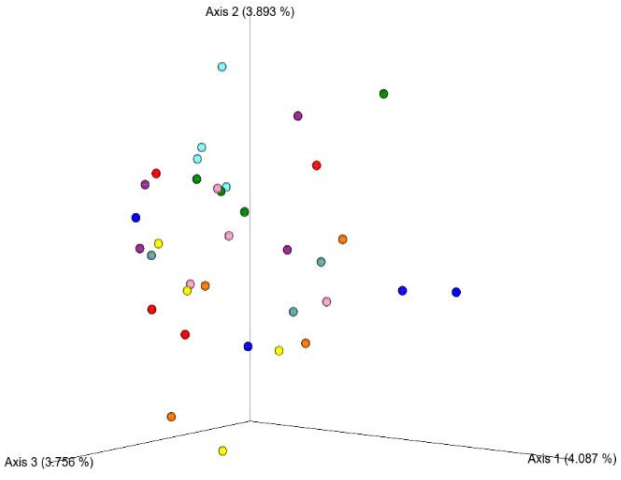
Por otro lado, las actinobacterias fueron más abundantes en los tratamientos con la raza R1, destacando el control (33.8%) y el tratamiento R1-FCB (29.2%). Estos hallazgos demuestran que tanto la inoculación como la presencia de la planta influyen en la estructura microbiana del suelo.

La harina de roca, utilizada en el empanizado, pudo haber mejorado la rizosfera, un nicho ecológico que propicia interacciones complejas entre microorganismos y las raíces del maíz. Esto quiere decir que la composición de la comunidad microbiana de la rizosfera es diferente entre los tratamientos. Sin embargo, esta diferencia no se debe a que haya especies completamente distintas, sino a que cambian la abundancia y las relaciones evolutivas de los grupos de bacterias presentes.



PERMANOVA results	
method name	PERMANOVA
test statistic name	pseudo-F
sample size	35
number of groups	3
test statistic	1.45243
p-value	0.018
number of permutations	999

Figura 1. Diversidad beta entre razas y suelo con de la métrica de Unifrac ponderada (Weighted) con PERMANOVA significativa (0.018)



PERMANOVA results	
method name	PERMANOVA
test statistic name	pseudo-F
sample size	35
number of groups	9
test statistic	1.026167
p-value	0.029
number of permutations	999

Figura 2. Diversidad beta entre razas por tratamientos y el suelo con de la métrica de Unifrac ponderada (Weighted) con PERMANOVA significativa (0.029)

El análisis de secuenciación de nueva generación (NGS) de la región V3-V4 del gen 16S rRNA reveló diferencias significativas en la composición de la comunidad bacteriana de la rizosfera entre los tratamientos, las razas de maíz criollo y el suelo no plantado. La diversidad beta, medida con la métrica de Unifrac ponderada y evaluada con una prueba PERMANOVA, mostró una diferencia significativa entre las razas de maíz (R1 y R2) y el suelo (p=0.018) (Figura 1). De manera similar, se encontró una diferencia significativa en la diversidad beta al considerar la interacción entre la raza y los inoculantes (p=0.029) (Figura 2). Estos resultados indican que la composición microbiana no se debe a la presencia de especies completamente diferentes, sino a variaciones en la abundancia relativa y las relaciones evolutivas de los grupos bacterianos presentes.

Conclusiones

La inoculación y el empanizado de semillas de maíz criollo, en combinación con las razas R1 y R2, modificaron de manera significativa la composición de la comunidad bacteriana en la rizosfera. Las diferencias encontradas en la diversidad beta no se deben a la introducción de especies nuevas, sino a cambios en la abundancia relativa y las relaciones evolutivas de los grupos bacterianos existentes. Estos resultados sugieren que el uso de inoculantes microbianos en combinación con harina de roca puede ser una estrategia viable para la manipulación del rizobioma del maíz criollo, lo que podría conducir a prácticas agrícolas más sostenibles.

Referencias

Bolo, P., Mucheru-Muna, M., Mwirichia, R. K., Kinyua, M., Ayaga, G., & Kihara, J. (2024). Soil bacterial community is influenced by long-term integrated soil fertility management practices in a Ferralsol in Western Kenya. Journal of Sustainable Agriculture and Environment, 3(1), e12090. https://doi.org/10.1002/sae2.12090.

Chilon Camacho, E., & Chilon Molina, J. (2014). Compost altoandino e interacción con harina de rocas y su efecto en las plantas y la fertilidad de suelos. Journal de ciencia y tecnologia agraria, 3, 21.

Daraz, U., Ahmad, I., Li, Q.-S., Zhu, B., Saeed, M. F., Li, Y., Ma, J., & Wang, X.-B. (2023). Plant growth promoting rhizobacteria induced metal and salt stress tolerance in Brassica juncea through ion homeostasis. Ecotoxicology and Environmental Safety, 267, 115657. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115657

Ibarra, A., Villarreal, M. F., Parra, F. I., Yepez, E., Guzmán, C., Gutierrez, M. A., Valdez, L. C., Saint, C., & Santos, S. (2023). Effect of a native bacterial consortium on growth, yield, and grain quality of durum wheat (Triticum turgidum L. subsp. durum) under different nitrogen rates in the Yaqui Valley, Mexico. Plant Signaling & Behavior, 18(1). https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2219837

Ku Pech, E. M., Mijangos-Cortés, J. O., Simá-Gómez, J. L., Islas-Flores, I., Sauri-Duch, E., & Latournerie-Moreno, L. U. I. S. (2020). Los maíces nativos de la Península de Yucatán: la maravilla en sus colores. Desde el Herbario CICY, 12, 74-79.

Lee, S. A., Kim, Y., Kim, J. M., Chu, B., Joa, J.-H., Sang, M. K., Song, J., & Weon, H.-Y. (2019). A preliminary examination of bacterial, archaeal, and fungal communities inhabiting different rhizocompartments of tomato plants under real-world environments. Scientific Reports, 9(1), 9300. https://doi.org/10.1038/s41598-019-45660-

Li, Y., Wang, C., Chang, H., Zhang, Y., Liu, S., & He, W. (2023). Metagenomics reveals the effect of long-term fertilization on carbon cycle in the maize rhizosphere. Frontiers, 14(1170214). https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1170214

Papin, M., Philippot, L., Breuil, M. C., Bru, D., Dreux-Zigha, A., Mounier, A., Le Roux, X., Rouard, N., & Spot, A. (2024). Survival of a microbial inoculant in soil after recurrent inoculations. Nature Portafolio, 14(4177). https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-024-54069-x

Ramírez, B. A., González, A., Valdivia, R., Salas, J. M., & García, J. A. (2019). Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(3), 539-550. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1295

Vuolo, F., Novello, G., Bona, E., Gorrasi, S., & Gamelero, E. (2022). Impact of Plant-Beneficial Bacterial Inocula on the Resident Bacteriome: Current Knowledge and Future Perspectives. Microorganisms, 10(2462). https://doi.org/https://doi.org/10.3390/microorganisms10122462

Wang, N., Li, H., Wang, B., Ding, J., Liu, Y., Wei, Y., Li, J., & Ding, G.-C. (2022). Taxonomic and Functional Diversity of Rhizosphere Microbiome Recruited From Compost Synergistically Determined by Plant Species and Compost. Frontiers, Volume 12(798476). https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.798476.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN MELONES ENTEROS DE VENTA EN SUPERMERCADOS DE LA COMARCA LAGUNERA

Luis M. Isidro-Requejo[1*], Lucio Rodríguez-Sifuentes[2], Ángel E. Tapia-Vasquez[3], Francisco J. Pastor-López[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, [2]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón, [3]Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora. *Autor de correspondencia: isidro.luis@inifap.gob.mx

Introducción

El melón es una fruta muy importante en la dieta humana que, por general, se consume fresco o se usa en jugos, postres, ensaladas de frutas o natillas. Contiene vitaminas (niacina, vitamina A, B6, C), minerales (potasio) y antioxidantes. Además, tiene propiedades médicas y se usa como tónico, laxante y diurético. El término "melón" abarca diversas plantas que pertenecen a la familia *Cucurbitaceae*. Sin embargo, uno de los mayores problemas comerciales del melón es la corta vida de anaquel (Toyzhigitova et al., 2019).

El cultivo de melón puede contaminarse en el campo, por el suelo, aguas residuales y superficiales, vida silvestre y la fertilización del suelo con estiércol. Además, esto también puede ocurrir durante el lavado, remojo, corte, empacado y preparación para su consumo. El melón a menudo se consume fresco representando así un mayor riesgo de causar Enfermedades Transmitidas por los Alimentos. Entre las bacterias patógenas asociadas con estas se encuentran *Listeria monocytogenes* (Zhu et al., 2017*), Escherichia coli* (Heiman et al., 2016), *Shigella soney* (Lynch et al., 2009), *Salmonella* spp. (Mba-Jonas et al., 2018) y *Staphylococcus aureus* (Faour-Klingbeil et al., 2016). Asimismo, la contaminación también puede darse por hongos fitopatógenos como el *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp. que dañan la superficie del fruto. Por lo tanto, los microorganismos superficiales representan un factor muy importante de control para los productores y comercializadores, así como para la salud de los consumidores (Oerke y Dehne, 2005).

Una investigación realizada por la FDA encontró el 5.3% de melones positivos a *Salmonella* y el 2 % para *Shigella* en 151 importaciones de melones Cantaloupe para Estados Unidos, procedentes de México, Costa Rica y Guatemala. Adicionalmente varios brotes de salmonelosis se han asociado con el consumo de productos frescos contaminados y de melón cortados (FDA, 2016). En el año 2023, se identificó un brote de salmonelosis en EU y Canadá debido al consumo del melón proveniente de Hermosillo, Sonora, México (Morales, 2023).

La supervivencia y crecimiento de bacterias en los melones recién cortados se atribuyeron a la composición de nutrientes de los melones (Chhetri et al., 2018). Las investigaciones han demostrado que la aplicación de agua caliente, sales de calcio y de antioxidantes puede disminuir o eliminar las bacterias patógenas y mejorar la vida útil del melón (Akins et al., 2008). Sin embargo, también han reportado efectos negativos en atributos de calidad como pérdidas de color, textura, firmeza y disminución en su vida útil (Lignou et al., 2014; Zamora-Gómez y Loredo-Treviño, 2020). Por lo antes mencionado, el objetivo de esta investigación fue el análisis microbiológico sobre la superficie del melón que se encuentran en venta en cuatro supermercados de la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

Se compraron 10 melones enteros en cuatro supermercados diferentes de la Comarca Lagunera. Cada melón se colocó en bolsa de plástico y se transportó al laboratorio de Inocuidad Alimentaria y Valor Agregado del Campo Experimental La Laguna ubicado en Matamoros, Coahuila.Cada melón se enjuagó con 150 mL de caldo lactosado y posteriormente, se realizaron los análisis microbiológicos de acuerdo con la NOM-113-SSA1-1994 para Coliformes Totales (CT) y Fecales (CF) con algunas modificaciones (Isidro et al., 2019). Del enjuague de los melones, se tomó un mL y se hicieron diluciones seriadas en tubos con 9 mL de solución salina al $1x10^{-1}$, $1x10^{-2}$ y $1x10^{-3}$. Después, se tomó 1 mL y se depositó en cajas petri, vertiéndole, posteriormente, el medio de cultivo Agar Rojo Bilis Violeta (ARBV). Las cajas se incubaron a 35 ºC por 24 h para CT y CF a 42 ºC por 48 h. Para la determinación de hongos, se tomó un mL y se depositó en cajas Petri, después, se vertió el medio de cultivo Agar Dextrosa de Papa (PDA). Las cajas se incubaron a 28 °C por 48 h - 120 h. Asimismo, del enjuague de los melones se tomó una alícuota con un asa calibrada y se sembró en agar MacConkey y agar *Salmonella-Shigella* para la identificación de bacterias patógenas de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas, NOM-210-SSA1-2014 y NOM-114-SSA1-1994 respectivamente.

Resultados y discusiones

Los melones pueden contaminarse en cualquier momento durante todo el proceso de producción. Esto puede ser durante todo su desarrollo (crecimiento), cosecha, empaque, transporte, almacenamiento, venta-compra, mínimamente procesado y consumo (Walsh et al., 2014; Rose-Martel et al., 2025). Asimismo, pueden ser potencialmente peligrosas si se manipulan incorrectamente provocando enfermedades gastrointestinales (Tseng et al., 2022). En el Cuadro 1 se muestran los resultados de los análisis microbiológicos en el melón entero vendido en los cuatro supermercados de la Comarca Lagunera.

Cuadro 1. Promedio del recuento de Coliformes totales, fecales y bacterias identificadas en la superficie del melón entero.

Supermercados de la Comarca Lagunera	Coliformes totales (UFC/mL)	Coliformes fecales (UFC/mL)	Bacterias identificadas
1	$5.1x10^{4b}$	$3.1x10^{4b}$	*E. coli*, *Shigella* spp, *Klebsiella* spp,
2	$6.5x10^{3c}$	$5.8x10^{3c}$	*E. coli*, *Salmonella* spp, *Klebsiella* spp
3	$3.6x10^{4b}$	$1.0x10^{4c}$	*E. coli*, *Klebsiella* spp, *Providencia* spp, *Aerobacter* spp
4	$3.8x10^{4a}$	$4.4x10^{4a}$	*E. coli*, *Salmonella* spp, *Shigella* spp, *Klebsiella* spp

La contaminación superficial del melón por bacterias se detectó en los cuatro supermercados. Destacando el supermercado número 4 con mayor contaminación de coliformes totales y fecales, observándose una diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a los otros tres supermercados. El melón con menor contaminación fue del supermercado 2. Estos resultados concuerdan con Isidro et al. (2019) en donde menciona que, en la superficie de los melones recién cosechados hay contaminación por bacterias coliformes totales y fecales.

Hoy en día no existe una norma oficial mexicana o fitosanitaria que indique los límites permisibles de coliformes sobre la superficie del melón entero. Sin embargo, existe la NOM-EM-038-FITO-2002 donde menciona que, mensualmente se deberá realizar el muestreo y análisis microbiológico de un lote de melón, antes y después del empaque para determinar la ausencia de *Salmonella* o *Shigella* u otro microorganismo patógeno el ser humano.

El melón, por su piel rugosa proporciona un entorno ideal para contener microorganismos patógenos, los cuales son capaces de provocar enfermedades gastrointestinales en los consumidores (Rabiee et al., 2024). La presencia de *E. coli* se confirmó en los 4 supermercados, *Shigella* spp en los supermercados 1 y 4, y *Salmonella* spp en los supermercados 2 y 4. Investigaciones de Esteban-Cuestas et al., (2018); Tseng et al. (2022); Rabiee et al. (2024) y Rose-Martel et al. (2025), han identificado bacterias patógenas como *E. coli*, *Salmonella* (diferentes serotipos), *Shigella* spp, *Staphylococcus* spp, *L. monocytogenes y* y *Enterobacteriaceae* sobre el fruto del melón.

Las últimas etapas del melón que son el transporte y almacenamiento son puntos críticos de contaminación. Asimismo, el personal que acomoda el melón en el stand del supermercado y la manipulación de los consumidores también son una fuente de contaminación cruzada. Las áreas de exhibición si no son lavados correctamente y desinfectados podrían propagar patógenos en la superficie del melón. Por otro lado, los consumidores tienen un papel importante durante la manipulación y escoger el fruto del melón que van a comprar sin las manos limpias pueden aumentar consideradamente el riesgo de contaminación cruzada (Phan-Thien et al., 216; Bartlett et al., 2020).

Conclusiones

En la última década, los melones se han visto implicados en numerosos brotes de enfermedades transmitidas por alimentos. El último brote de *Salmonella* spp sobre el fruto del melón fue a finales del año 2023. Un enfoque preventivo sería la aplicación de Buenas Prácticas de Manipulación durante el almacenamiento y colocación de los melones en los stands de exhibición en los supermercados, de igual manera la implementación de estrategias específicas diseñadas para reducir el riesgo de contaminación. Asimismo, concientizar a los trabajadores involucrados que manipulan el fruto sobre las posibles fuentes y vías de contaminación, de igual manera, las medidas de control o eliminación para reducir el riego de contaminación por bacterias patógenas.

Agradecimientos

Al Proyecto FONCYT COAH-2025-C25-C084: Aprovechamiento de subproductos agrícolas en elaboración de recubrimientos bioactivos para mantener las propiedades organolépticas y alargar la vida de anaquel en el fruto del melón entero.

Referencias

Akins, E. D., Harrison, M. A. & Hurst, W. (2008). Washing practices on the microflora on Georgia-grown Cantaloupes. Journal of Food Protection, 71, 46–51. doi: 10.4315/0362-028x-71.1.46.

Bartlett, Z., Danyluk, M., Frankish, E., Stanley, R., Bowman, J., Singh, S. & Ross, T. (2020). T. project VM19000 Technical Report: The effective control of Listeria on whole rockmelons through alternative post-harvest treatment methods; Hort Innovation: Sídney, Australia. https://www.horticulture.com.au/globalassets/vm19000-final-research-report-dp.pdf.

Chhetri, V. S., Fontenot, K., Strahan, R., Yemmireddy, V. K., Estrada, K. J. P. & Adhikari, A. (2018). Effect of surrounding vegetation on microbial survival or die-off on watermelon surface in an agriculture setting. Journal of Food Safety, 38(6), 12520. doi: 10.1111/jfs.12520.

Faour-Klingbeil, D., Murtada, M., Kuri, V. & Todd, E. C. D. (2016). Understanding the routes of contamination of ready-to-eat vegetables in the Middle East. Food Control. 62, 125–133. doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.10.024

Food and Drug Administration (FDA). (2016). Import Alert #22-01. Available online at: http://www.accessdata.fda. gov/cms_ia/importalert_67.html.

Heiman, K. E., Mody, R. K., Johnson, S. D., Griffin, P. M. & Gould, L. H. (2016). *Escherichia coli* O157 outbreaks in the United States, 2003–2012. Emerging Infectious Diseases, 21(8), 1293–1301. doi.org/10.3201/eid2108.141364.

Isidro, R. L. M., Figueroa, G. J. J., Maldonado J. J. A. & Hernández, G. L. E. (2019). Recubrimientos biodegradables para el control de microorganismos patógenos para la conservación de la calidad del melón (*Cucumis melo* L.) de la Comarca Lagunera. Revista Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 4, 125-132. http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/2/17.pdf.

Lignou, S., Parker, J. K., Baxter, C. & Mottram, D. S. (2014). Sensory and instrumental analysis of medium and long shelf-life Charentais cantaloupe melons (*Cucumis melo* L.) harvested at different maturities. Food Chemistry, 148, 218–229. doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.045.

Lynch, M. F., Tauxe, R. V. & Hedberg, C. W. (2009). The growing burden of foodborne outbreaks due to contaminated fresh produce: risks and opportunities. Epidemiology and Infection, 137(3), 307–315. doi:10.1017/S0950268808001969.

Mba-Jonas, A., Culpepper, W., Hill, T., Cantu, V., Loera, J., Borders, J., Saathoff-Huber, L., Nsubuga, J., Zambrana, I., Dalton, S., Williams, I. & Neil, K.P. (2018). A multistate outbreak of human *Salmonella* Agona infections associated with consumption of fresh, whole papayas imported from Mexico-United States, 2011. Clinical Infectious Diseases, 66(11), 1756–1761. doi: 10.1093/cid/cix1094.

Morales, R. 2023. Melón: caso sanitario ocurre en medio de auge exportador. El Economista. https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Melon-caso-sanitario-ocurre-en-medio-de-auge-exportador-20231214-0140.html.

Norma Emergente Fitosanitaria. NOM-EM-038-FITO-2002. Norma Oficial Mexicana con carácter de emergencia, requisitos para la aplicación y certificación de buenas prácticas agrícolas y de manejo para la producción y empaque de melón Cantaloupe.

Norma Oficial Mexicana. NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.

Norma Oficial Mexicana NOM-114-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la determinación de salmonella en alimentos.

Norma Oficial Mexicana. NOM-210-SSA1-2014. Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.

Oerke, E. C. & Dehne, H. W. (2005). Safeguarding production—Losses in major crops and the role of crop protection. Crop Protection, 23(4), 275–285. doi.org/10.1016/j.cropro.2003.10.001.

Phan-Thien, K. Y., Mao, R. & McConchie, R. (2016). *Salmonella* growth and survival in rockmelon rind under different storage conditions. International Society for Horticultural Science. Acta Horticulturae, 1120: 183–186. doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1120.27.

Rabiee, P., Faraz, A., Ajlouni, S. & Hussain, M. A. (2024). Microbial Contamination and Disease Outbreaks Associated with Rockmelons (*Cucumis melo*): Implications for Public Health Protection. Foods, 13: 2198. https://doi.org/10.3390/foods13142198.

Rose-Martel, M. & Tamber, S. (2025). Analysis of Outbreak Data Reveals Factors Contributing to Salmonellosis Outbreaks Linked to Cantaloupes. Journal of Food Protection, 88(1): 100404. doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100404.

Toyzhigitova, B., Yskak, S., Łozowicka, B., Kaczyński, P., Dinasilov, A., Zhunisbay, R. & Wołejko, E. (2019). Biological and chemical protection of melon crops against Myiopardalis pardalina Bigot. Journal of Plant Diseases and Protection, 126, 359–366. doi.org/10.1007/s41348-019-00231-x.

Tseng, Y. H., Barbosa, J., de Carvalho, T. B. & Teixeira, P. (2022). Microbiological safety of cut melons sold in Portuguese retail markets: A Pilot Study. Foods, 11(24), 4010. doi: 10.3390/foods11244010.

Walsh, K. A., Bennett, S. D., Mahovic, M. & Gould, L. H. (2014). Outbreaks associated with cantaloupe, watermelon, and honeydew in the United States, 1973–2011. Foodborne Pathogens & Disease, 11(12), 945-952. 10.1089/fpd.2014.1812.

Zamora-Gómez, L. & Loredo-Treviño, A. (2020). Importancia del Melón (*Cucumis melo*) y Técnicas para su Conservación. Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas Universidad Autónoma de Coahuila. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, 14: 24. http://www.biochemtech.uadec.mx/Articulos/No.24/1%20JBCT-2020-001.pdf.

Zhu, Q., Gooneratne, R. & Hussain, M. A. (2017). *Listeria monocytogenes* in fresh produce: outbreaks, prevalence and contamination levels. Foods, 6(3), 21. doi: 10.3390/alimentos6030021.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE ENSILADOS DE NOPAL (*Opuntia* spp.) MAGUEY (*Agave asperrima* J.) Y VAINAS DE MEZQUITE (*Neltuma* spp.) EN PROPORCIONES DIFERENTES

Miguel Angel Mata-Espinosa[1]*, Alexander García-Felipe[1], José Ramón Hernández-Salgado[1], Mauricio Velázquez-Martínez[2], David Hernández-Sánchez[3].

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas; km 40 Carretera Gómez Palacio, Dgo.-Cd. Juárez, Chihuahua.; CP 35230. Bermejillo, Mapimí, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Luis, km 14.5 Carretera San Luis Potosí-Matehuala. Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP 78430. [3]Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Edo. México. CP 56230. *Autor de correspondencia: mata@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

En las zonas áridas la ausencia de agua imposibilita el cultivo de forraje y/o alimento todo el año. Debido a que la disponibilidad de forraje está ligada a las condiciones estacionales y climáticas, se generan periodos de abundancia y de escasez, lo cual aumenta los costos de producción, debido a que hay insumos que dependen de materias primas importadas, lo que reduce la rentabilidad (Garcés *et al*., 2004). Los cambios de temperatura, la dependencia de sistemas de riego, el cambio de suelo, sumados a los desafíos ambientales, destacan la importancia de la búsqueda de alternativas alimenticias en la ganadería (Cruz-Benítez *et al*., 2024).

El ensilaje es reconocido como un método eficiente para la conservación de forrajes, gracias a la capacidad de mantener la palatabilidad y el valor nutritivo. Además, puede aplicarse a una gran variedad de productos, siempre que se cumplan condiciones de humedad, compactación y sellado (INTA, 2016). En regiones áridas y semiáridas de México, se tiene la necesidad de explorar alternativas innovadoras en la producción de alimentos para animales rumiantes dirigidas a recursos vegetales de zonas áridas con potencial para usarse como alimentos forrajeros. Entre estas alternativas innovadoras, se encuentran el nopal, el maguey y la vaina de mezquite.

La vaina de mezquite se considera un superalimento; es rico en proteínas (12-36.5 %), carbohidratos (30-75 %) antioxidantes, vitaminas, minerales y probióticos, grasas (2.8-4.8 %), y fibra dietética (16.9-26.6 %) (Luna-Almaraz, 2022).

El maguey también representa una alternativa viable como alimento para el ganado, aunque se debe considerar la etapa fenológica, edad, especie, procesamiento y la parte de la planta a utilizar (Castro-Riveral *et al*., 2016).

El nopal (*Opuntia* spp.) es un recurso importante en México, esta planta que pertenece a la familia de las cactáceas, se ha adaptado a las temperaturas extremas y la sequía prolongada, es fuente importante de energía digestible, agua y vitaminas en muchos de los entornos del mundo y se considera un alimento valioso en regiones donde otras plantas no pueden sobrevivir (Veleta-Cruz *et al*.,2024).

Por lo anterior, este trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la factibilidad de elaborar ensilados a base de nopal y maguey combinados con vainas de mezquite.

Materiales y Métodos

Lugar del estudio. El estudio se realizó en el Rancho ¨El Carmen¨, perteneciente a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México. La región se ubica entre las coordenadas geográficas 25° 53' 54.02'' N y -103° 35' 59.7' O y una altitud media de 1,100 m. El área presenta una superficie plana donde se localiza el área agrícola, la cual tiene un clima seco desértico (Medina *et al*., 2005). El clima es tipo árido caliente desértico, seco, con régimen de lluvias en verano e inviernos fríos, clasificado como BW (h) HW (e). La precipitación pluvial media anual es 258 mm y la evaporación media anual de 2,000 mm, la temperatura media anual de 21 °C con máxima de 33.7 °C y mínima 7.5 °C (García, 1973).

Insumos para la elaboración de los ensilados. Maguey (*Agave aspérrima* J.); en el Ejido Roma, Texas, se ubicó al azar una magueyera natural considerando que hubiera magueyes en estado adulto; luego se seleccionaron individuos que estuvieran próximos a emitir el escapo floral, para lo cual se auxilió de información empírica proporcionada por los productores del lugar. Una vez seleccionados los individuos, fueron cortados utilizando una barra jimadora, cortando penca por penca, comenzando desde la base del maguey hasta llegar al cogollo. Las pencas y el cogollo se pesaron en una báscula Torino® para determinar el peso total. Se retiraron las espinas y las púas de las pencas manualmente utilizando un machete. Las pencas y cogollo sin espinas se trasladaron al campo agrícola experimental de la URUZA; ahí se molieron con un molino para forrajes, quedando listas para su utilización posterior. Nopal (*Opuntia* spp); las pencas fueron obtenidas de una nopalera establecida en el campo agrícola experimental de la URUZA. Se cortaron y se picaron para después molerse con el uso de una licuadora con aspas para triturar hielo, ya molidas quedaron listas para su mezclado y elaboración de los ensilados. Vainas de mezquite (*Neltuma* spp); en el área que ocupa el campus universitario de URUZA se recolectaron vainas de mezquite que estuvieran en un estado maduro y deshidratadas. Esto se hizo de forma manual en varios individuos; las vainas fueron recolectadas del suelo y luego limpiadas eliminando todo material extraño y las que estaban dañadas por insectos. Luego fueron molidas en un molino de martillos quedando expuesto el embrión contenido en las semillas, ya molidas quedaron listas para su inclusión en los ensilados.

Elaboración de los mini-ensilados. Del material cortado, picado y molido que se obtuvo de las recolectas de maguey, nopal y mezquite, se tomaron muestras directamente para elaborar 12 mini-ensilados. Estos mini-silos fueron hechos de material plástico PVC con las siguientes dimensiones: 10.16 cm de diámetro y 18 cm de longitud. Los mini-silos fueron llenados con el material molido y se compactaron de forma manual. Una vez que se llenaron los contenedores fueron cerrados a presión e identificados, posteriormente se colocaron en un lugar fresco y seco para que se llevara a cabo la fermentación de forma natural.

Tratamientos. Se diseñaron 2 tratamientos (mezclas Nopal: Maguey: Mezquite) con 6 repeticiones (mini-ensilados) con diferente inclusión de mezquite (Cuadro 1). La Unidad Experimental correspondió a cada uno de los mini-ensilados elaborados.

Cuadro 1. Tratamientos para evaluar la calidad del forraje conservado en mini-ensilados elaborados con diferentes proporciones de nopal, maguey y mezquite.

Tratamiento	Inclusión de forraje, % base húmeda (p/p)			Total
	Nopal	Maguey	Mezquite	
1	70	0	30	100
2	0	70	30	100

Procesamiento de los ensilados. A los 60 días después de haber sido elaborados los mini-ensilados, fueron abiertos. De cada contenedor se pesó la materia húmeda total; asimismo, se les determinó el pH con ayuda de un potenciómetro Conductronic pH 120®. Del material fermentado de cada contenedor, se tomó una submuestra de 300 g aproximadamente para determinar el contenido de materia seca (MS) en una estufa de circulación forzada de aire Thermo Scientific® a una temperatura de 65 °C, durante un lapso de 24 a 72 horas; por diferencia de peso se obtuvo el contenido de MS. La MS obtenida se molió en un molino Thomas Wiley® con un diámetro de criba de 2 mm. Los análisis bromatológicos se realizaron en el laboratorio de planta, agua y suelo de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA). Empleando para su determinación de nutrientes el análisis proximal de Weende, la composición de los forrajes en cuanto a cenizas totales (Ce) y materia orgánica (MO) se refiere. La determinación de proteína cruda (PC) se llevó a cabo en el laboratorio SIAGRO DRL S.C. empleando la metodología de AOAC 2001.11.

La Digestibilidad de Materia Orgánica (DMO) fue determinada utilizando la ecuación recomendada por Vicente *et al*. (2015):

DMO = 53.37 + 0.17* PC (Tatli y Çerç, 2006)

Para el cálculo de Energía Bruta (EB), Energía Metabolizable (EM) y Energía Neta (EN) se realizó mediante las ecuaciones recomendadas por Vicente *et al*. (2015).
Las ecuaciones se enlistan a continuación:

EM= 3.75*PC + 8.09* EE – 6.95*FC + 3.94* NIFEX Moir *et al.* (1980)
R^2=94.4 NIFEX= ELN
ELN= 100 – (EE+ PC+ FC+CT) Moir *et al.* (1980)
CT=Ce
EN = 3.6777– 0.05021*EM + 0.00029*EM^2 Guillaume (1980)
Nota: Se ajusta al % de MS
R^2 = 94.7

ENm = 1.37 x EM – 0.14EM^2 + 0.01EM^3 – 1.12 NRC, 1985; EM en Mcal kg^{-1} MS
ENg = 1.42 x EM – 0.17EM^2 + 0.012EM^3 – 1.65 NRC, 1985; EM en Mcal kg^{-1} MS

En consecuencia la falta de datos en la determinación de Extracto Etéreo (EE), Fibra Cruda (FC) y Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) se emplearon ecuaciones propuestas por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay (1994), para la determinación de Energía Neta de lactancia (ENl) en donde se sustituye el valor de Nutrientes Digestibles Totales (NDT), que resulta de la suma de las distintas fracciones que componen a los alimentos, multiplicados por su coeficiente de digestibilidad, por la Digestibilidad de Materia Orgánica (DMO) obtenida con la ecuación de Tatli y Çerç (2006) y así mismo asumiendo que la eficiencia en la utilización de EM para lactancia es de 60%, entonces EM*0.60= ENl y por lo tanto EM= ENl / 0.60. Entonces ENl **(**Mcal/kg MS**)** = - 0.12 + 0.0245 * (% DMO * % MO /100).

Análisis estadístico. Los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico con el uso del paquete estadístico SAS® (2014), utilizando un diseño completamente al azar con 2 tratamientos y 6 repeticiones; los tratamientos fueron las proporciones de forraje ensilado y las unidades experimentales fueron los mini-ensilados elaborados. Para determinar la diferencia entre la media de los tratamientos evaluados, se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de α=0.05 (Steel y Torrie, 1980).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan los valores encontrados para las variables MS, densidad (MV y MS), pérdidas y pH en los ensilados evaluados. El contenido de MS de los ensilados fue diferente ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados. El ensilado a base de nopal fue el que resultó con mayor cantidad de MS con 43.31 % comparado con 40.02 % de los ensilados a base de maguey. Los valores encontrados en esta investigación son superiores a los que se recomiendan para llevar a cabo una buena fermentación y que son del orden de 30 a 35 % (Améndola-Massioti *et al*., 2018), o cercanos a un 30% (Ribeiro *et al*., 2007). En ensilados elaborados con maguey y proporciones diferentes de vaina de mezquite, el contenido de MS fue de 30.66% (Vázquez, 2019) con un 30 % de inclusión de vainas; y Acosta (2016) informa de una cantidad de 29.27 % con la inclusión de 10% de rastrojo de maíz molido en ensilados a base de maguey. Debido a la cantidad alta de agua que contiene el maguey (±90 %) el contenido de humedad de los ensilados resultará en una concentración también alta, si el objetivo es usar el maguey como ingrediente de inclusión mayor en las mezclas a ensilar.

Cuadro 2. Variables físicas y químicas en ensilados elaborados a base de nopal o maguey, mezclados con vainas de mezquite molidas.

Variable	Tratamientos		CV
	Nopal/Mezquite ± EE*	Maguey/Mezquite ± EE*	
Materia Seca de ensilados (%)	43.31± 0.45[a]	40.02 ± 0.45[b]	2.67
Densidad de MV (kg m^{-3})	1,019.06 ± 9.44[b]	1,050.12 ± 9.44[a]	2.23
Densidad de MS (kg m^{-3})	441.38 ± 7.32[a]	420.44 ± 7.32[a]	4.16
pH	4.00 ± 0.06[a]	3.90 ± 0.06[a]	3.91
Pérdidas (%)	8.76 ± 0.90[a]	7.51 ± 0.90[a]	27.19

*EE: Error Estándar; CV: Coeficiente de variación (%). Diferente literal por línea, indica diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos evaluados (Tukey; α = 0.05). T1:Nopal/Mezquite; 70%/30% p/p. T2:Maguey/Mezquite; 70%/30% p/p.

La cantidad de materia seca contenida (kg m^{-3}) en un ensilado es un reflejo de la densidad (peso/volumen) de los mismos, tanto en materia verde (MV) como en materia seca (MS). Según Udina (2018), en ensilados el objetivo es siempre estar por encima de 210 kg MS m^{-3}, si los valores son inferiores, será propenso a la entrada de oxígeno y a la inestabilidad anaerobia. En este sentido, la densidad de MV encontrada en el presente estudio fue diferente entre tratamientos; sin embargo, el resultado para densidad de MS fue similar ($p > 0.05$); lo anterior estuvo relacionado con la cantidad de humedad de los insumos usados (nopal y maguey) y la concentración de materia seca del ensilado. Para el presente estudio, los ensilados a base de maguey tuvieron densidad de MV y contenido de MS mayor, comparados con los que incluyeron nopal como insumo principal. En general, los dos tratamientos estuvieron por encima de 210 kg m^{-3} de MS que indica Udina (2018) para un buen ensilado. Para ensilados bien conservados, se considera un pH entre 3.8 a 4.2 como adecuado (Ribeiro *et al*., 2007). En el presente estudio, el intervalo encontrado fue de 3.90 a 4.00 que corresponde a lo recomendado, y el tratamiento que presentó el valor más alto fue el que incluyó nopal y mezquite.

Los resultados que encontraron Acosta (2016) y Vázquez (2019) estuvieron en un intervalo de 4.41 a 4.49 y 3.65 a 3.59, respectivamente; valores similares a los encontrados en este estudio. Las pérdidas en la biomasa ensilada no mostraron diferencia estadística significativa, pero con los ensilados a base de nopal se presentó el valor más alto (8.76 %). Este comportamiento pudo deberse a que, en los ensilados a base de maguey, este no fue molido completamente, quedando fibras íntegras de un tamaño aproximado de 2.5 cm, lo cual pudo haber influido en una retención de agua mayor. Para ensilados de maíz, se han encontrado pérdidas del 10 % producidas a lo largo de 180 días de fermentación.

Los tratamientos evaluados en el presente estudio tuvieron un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la cantidad de proteína (PC) en el material ensilado (Cuadro 2). Los valores obtenidos estuvieron en un intervalo de 9.33 a 10.96 %. La cantidad de PC encontrada aumentó al incorporar las vainas de mezquite en ambos tratamientos; este aumento fue del orden de por lo menos un 100 % al compararlo con lo que obtuvo Acosta (2016) al ensilar solamente el mismo tipo de maguey (5.29 % PC). En otro estudio similar, la cantidad de PC obtenida fue de 10.21 % al incluir un 30 % de vainas de mezquite en el ensilado (Vázquez, 2018). El contenido de cenizas en el maguey es de 12.95 % (Acosta, 2016), con la inclusión de 30 % de vainas de mezquite, lo disminuyó a 7.16 %; estos resultados indican un efecto de dilución del contenido de cenizas cuando se mezcla con las vainas de mezquite. En el presente experimento, la inclusión tanto de nopal como de maguey causó un efecto similar, con un resultado de 7.2 % en ambos tratamientos. En este mismo sentido, la cantidad de MO fue similar al 92.7 %, resultado de la inclusión de las vainas de mezquite. La digestibilidad de la MO si presentó diferencias entre los tratamientos evaluados, la MO de los ensilados hechos a base de nopal fueron más digestibles (55.23 %) que los de maguey (54.96 %); no obstante, esta diferencia resulta ser mínima (0.27 %). Cuando se evaluó la DIVMO para nopal y maguey solos, los resultados fueron: 58.98 % y 51.55 %, respectivamente (Quiñones, 2017). Si comparamos los valores de ambos estudios, se evidencia que, al incorporar las vainas de mezquite a los ensilados de nopal y maguey, se mejora la digestibilidad de la MO en aproximadamente un 3.58 %.

Cuadro 3. Variables químicas y digestibilidad de la materia orgánica en ensilados hechos a base de nopal y maguey, mezclados con vainas de mezquite molidas.

Variable	Tratamientos		CV
	Nopal/Mezquite ± EE*	Maguey/Mezquite ± EE*	
PC (%)	10.96± 0.18[a]	9.33 ± 0.18[b]	4.25
MO (%)	92.79 ± 0.1[a]	92.73 ± 0.1[a]	0.26
Dig. MO (%)	55.23 ± 0.03[a]	54.96 ± 0.03[b]	0.13
Cenizas (%)	7.27 ± 0.10[a]	7.21± 0.10[a]	3.35

*EE: Error Estándar; CV: Coeficiente de variación (%); PC: Proteína Cruda; MO: Materia Orgánica; Dig. MO: Digestibilidad de la Materia Orgánica. Diferente literal por línea, indica diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos evaluados (Tukey; $\alpha = 0.05$). T1:Nopal/Mezquite; 70%/30% p/p. T2:Maguey/Mezquite; 70%/30% p/p.

El contenido energético de los ensilados se muestra en el Cuadro 3; se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados; fueron mejores los ensilados a base de nopal con un contenido energético mayor. Según Acosta (2016) el contenido energético para maguey solo es de: EM (2.31 Mcal kg^{-1} MS), ENm (1.50 Mcal kg^{-1} MS), ENg (0.91 Mcal kg^{-1} MS), ENl (1.43 Mcal kg^{-1}MS); en otra investigación con la inclusión del 30 % de vainas de mezquite (Vázquez, 2019) los valores fueron los siguientes: EM (2.39 Mcal kg^{-1} MS), ENm (1.55 Mcal kg^{-1} MS), ENg (0.99 Mcal kg^{-1} MS), ENl (1.49 Mcal kg^{-1} MS).

Los resultados que informan estos autores son consistentes entre ellos, pero comparados con el presente estudio son más altos en general; solamente para Eng los tratamientos evaluados tuvieron un buen contenido energético. El NRC (2001) considera que el ensilado de maíz, con un contenido de MS menor al 25 %, presenta valores de EM, ENm, ENl y ENg de 2.21, 1.48, 1.36 y 0.89 Mcal kg^{-1} MS respectivamente.

Cuadro 4. Contenido energético de ensilados hechos a base de nopal y maguey, mezclados con vainas de mezquite molidas.

	Tratamientos		
Variable	Nopal/Mezquite ± EE*	Maguey/Mezquite ± EE*	CV
EM, Mcal kg^{-1} MS	1.89± 0.001[a]	1.88 ± 0.001[b]	0.25
ENm, Mcal kg^{-1} MS	1.04 ± 0.001[a]	1.03 ± 0.001[b]	0.39
ENg, Mcal kg^{-1} MS	1.24 ± 0.003[a]	1.22 ± 0.003[b]	0.63
ENl, Mcal kg^{-1} MS	1.14 ± 0.001[a]	1.13 ± 0.001[b]	0.34

*EE: Error Estándar; CV: Coeficiente de variación (%); PC: Proteína Cruda; MO: Materia Orgánica; Dig. MO: Digestibilidad de la Materia Orgánica. Diferente literal por línea, indica diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos evaluados (Tukey; α = 0.05). T1:Nopal/Mezquite; 70%/30% p/p. T2:Maguey/Mezquite; 70%/30% p/p.

Conclusiones

Las variables físicas (densidad de MV y MS) y fermentativas (pH) de los ensilados elaborados estuvieron dentro de los intervalos recomendados para un ensilado convencional. La inclusión de vainas de mezquite ya sea con nopal o maguey, favoreció el contenido de proteína cruda, materia orgánica y la digestibilidad del ensilado. También se favoreció la dilución del contenido de cenizas en ambos tratamientos, lo que bajó su concentración. En general, es factible la elaboración de ensilados utilizando como base al nopal o maguey en combinación con vainas de mezquite. De las dos propuestas estudiadas, la que destacó con base en las variables evaluadas fue la combinación de nopal con vainas de mezquite. Es necesario hacer estudios complementarios con variables de estudio relacionadas con la fermentación, como nitrógeno amoniacal, ácidos grasos volátiles y también el análisis de fibras, extracto etéreo, lignina, así como determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Referencias

Acosta R. F. M., Vázquez C. D. (2016). *Evaluación nutritiva de ensilados de maguey (Agave asperrima* J.*) en Roma, Texas, Mapimi, Durango.* Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México.

Améndola-Massiotti R.D., González-Ortiz R., Topete-Pelayo P. (2018). Bases del ensilaje de maíz y alfalfa. *Avances de la Investigación sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México.* 117-131. https://www.researchgate.net/profile/Luis-Cruz-Bacab/publication/326679463_Efecto_del_uso_de_castana_Artocarpus_camansi_como_suplemento_preiniciador_en_lechones/links/5ba51626a6fdccd3cb69c885/Efecto-del-uso-de-castana-Artocarpus-camansi-como-suplemento-preiniciador-en-lechones.pdf#page=125

Garcés Molina, A. M., Berrio Roa, L., Ruíz Alzate, S., Serna De León, J. G., & Builes Arango, A. F. (2004). *Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado*. Revista Lasallista de Investigación, 1(1), 66-71.

INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). (2016). *Cómo ensilar bien: Ensilaje, la mejor manera de conservar forrajes en época de abundancia para suplementar al ganado en época de escasez* (2ª ed.). Costa Rica: Proyecto Plantón-Pacayas.

Cruz-Benítez, M.M., Hernández-Perea, F.E., Aguirre-von Wobeser, E., (2024). Un paso hacia la ganadería sostenible: cambiando la dieta de los rumiantes. Bioagrociencias, Vol. 17 (8), 38-45. http://doi.org/10.56369/BAC.5672

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república mexicana). Universidad Autónoma de México. Recuperado de: https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf

Luna-Almaraz, A.G., Martínez-Herrera, R.E., Alemán-Huerta, M, E. (2022). El mezquite: un "superalimento ancestral". Opinión, ciencia UANL. No. 115.

Castro-Riveral, R., Aguilar-Benítez, G., Solís-Oba, M. (2016). Ensilado de maguey, una alternativa para la alimentación animal en zonas áridas. Frontera Biotecnológica, Vol 1(4), 12-20.

Moir, K. W., Yule, W. J. & Connor, J. K. 1980. Energy losses in the excreta of poultry: a model for predicting dietary metabolizable energy. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 20:151.

NRC. 2001. Nutrient Requirement of Dairy Cattle (7º Ed). Washington D.C., U.S.A.: National Academy Press.

Quiñones, M. C. M. (2017). *Composición química y digestibilidad in vitro de recursos forrajeros de zonas áridas.* Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México.

Ribeiro, L. G. P., Gonçalves, L. C., Rodriguez, N. M., & Tomich, T. R. (2007). Ensilaje de girasol como opción forrajera. In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: JORNADA SOBRE PRODUCCIÒN Y UTILIZACIÒN DE ENSILAJES, Bahía Blanca, Argentina. Conferencias. Bahía Blanca: Universidad Nacional Del Sur.

SAS Institute Inc. (2014). SAS/STAT, Ver 9.3 User Guide. Cary, NC.

Steel, R., & Torrie, J. (1980). *Principles and procedures of statistics a biometrical approach*. Michigan, E.U.A.: McGraw-Hill.

Tatli, P.S y Çerç, I. (2006). Relationship between nutrient composition and feed digestibility determined with enzyme and nylon bag (in situ) techniques in feed sources. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*. 9(9). 107-113.

Udina Bonet, A. (2018). Control de la fermentación en los ensilados de hierba. *Vaca Pinta*. Vol 2. (03). 54-60.

Vázquez C., D. (2019). *Evaluación nutritiva de ensilados de maguey (Agave asperrima* J.*) con vaina de mezquite (Prosopis glandulosa* Torr.*) en Roma, Texas, Mapimi, Durango.* Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México.

Veleta-Cruz, J. Enríquez-Murillo, W., Ordóñez-García, M., Villanueva-Romero. G., Bustillos-Rodríguez, J. C. (2024). Elaboración de ensilaje a base de nopal (*Opuntia* spp.), alternativa forrajera para la alimentación de ganado. AvaCient, vol. 3 (1), 10-17.

Vicente-Pérez, R., Avendaño-Reyes, L., Álvarez, F. D., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., Quintero-Elisea, J. A. y Macias-Cruz, U. (2015). Productive performance, nutrient intake and productivity at lambing of hair breed ewes supplemented with energy in the pre-partum during summer and winter. Arch. Med. Vet. 47(3). 301-309.

XXI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Carteles

RESPUESTA DEL FORRAJE VERDE Y SECO DEL MAÍZ FORRAJERO AL ESTRÉS HÍDRICO EN EL SUELO

Marco Antonio Inzunza-Ibarra[1]*, Sergio Iván Jiménez-Jiménez, Ignacio Sánchez-Cohen, Mariana de Jesús Marcial-Pablo y Ernesto Sifuentes-Ibarra[2]

[1]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmosfera CENID RASPA del INIFAP, Gómez Palacio, Dgo. [2]Campo Experimental Valle del Fuerte. Juan José Ríos, Gve, Sin. *Autor para correspondencia: inzunza.marco@inifap.gob.mx

Introducción

La optimización del aprovechamiento del agua de riego es una acción indispensable para disminuir el gran problema de la escasez de este recurso para uso agrícola en la Comarca Lagunera y en más del 50% del territorio nacional. Para esto se necesita conocer el requerimiento de los cultivos explotados actuales y los de nueva introducción, que sean más eficientes en la conversión del agua de riego a materia seca.

El preservar en forma sustentable este recurso, es un importante reto que obliga al manejo cada vez más eficiente del agua, especialmente en el sector agrícola por ser el mayor demandante de este recurso, al consumir alrededor del 70% del agua fresca disponible a nivel global (Singh, 2010). Por lo anterior, el sector tiene la responsabilidad de incrementar la eficiencia de uso del agua y generar tecnología para aprovechar otras fuentes de abastecimiento como podrían ser las aguas residuales o el agua de mar.

El maíz forrajero es un cultivo relevante en la dieta animal, esto se refleja por el área que se destina a su explotación de 553,227 ha en México bajo riego y temporal, con rendimientos significativamente bajos de 34.5 t ha^{-1} con respecto a su potencial (SIAP, 2025). Por lo tanto, es fundamental generar información de la respuesta del maíz forrajero en rendimiento de materia fresca y seca para diferentes niveles de estrés hídrico en el suelo y diferentes consumos de agua para incrementar su producción y así incrementar su eficiencia de uso del agua, lo cual sería un muy significativo ahorro de agua por la importancia del área irrigada de 193,698 ha a nivel nacional (SIAP, 2025).

Los objetivos de la presente actividad fue determinar la respuesta del maíz forrajero a diferentes déficits hídricos en el suelo, así como obtener su evapotranspiración actual o consumo de agua.

Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolló en el Campo Experimental del CENID-RASPA, ubicado en Gómez Palacio, Dgo. Geográficamente se localiza a 25° 35' LN, 103° 27' LW y a una altitud de 1135 msnm. El clima de la región se clasifica como BW(h') h w(e); que corresponde a muy árido, cálido con temperatura media anual de 22°C y temperatura media del mes más frío de 18°C; es extremoso con una oscilación anual en las temperaturas medias mensuales de entre 7 y 14 °C, precipitación media anual de 230 mm, períodos libres de heladas de abril a octubre y pueden presentarse granizadas durante mayo. Las lluvias son en verano, con un porcentaje de lluvias invernales que va de 5 a 10.2 % (García, 2004). El suelo del lote experimental es clasificado como Xerosol Háplico de acuerdo a la FAO/UNESCO modificada por INEGI y pertenece a la serie Coyote, de gran representatividad regional con suelos profundos, con poca variabilidad de textura (migajón arcilloso). El agua utilizada en el estudio es clasificada como: C1S1, bajo en contenido de sales y sodio.

Con el propósito de caracterizar el suelo del lote experimental, se realizó un muestreo de cuatro repeticiones, a tres profundidades o estratos del suelo (0-30, 30-60 y 60-90). Las principales características químicas que se determinaron se muestran en el Cuadro 1, estos fueron: la disponibilidad de nitratos (método de Kjeldahl), de fósforo (método de Duval) y potasio (espectrofotometría); los carbonatos totales (volumetría), la conductividad eléctrica (conductimetría), la capacidad de intercambio catiónico (con extracción de yeso) y el pH (pasta de saturación). Las características físicas del suelo que se evaluaron se muestran en el Cuadro 2 y fueron: contenido de materia orgánica (método de Walkley y Black); arena, limo y arcilla en la textura (método de la pipeta de Robinson); capacidad de campo y punto de marchitez permanente (método de la olla y membrana de presión); y densidad aparente (Método del cilindro) (Flores-Delgadillo y Alcalá-Martínez, 2010).

El suelo del sitio experimental contenía baja disponibilidad de nitratos, moderadamente baja de fósforo y alta de potasio, bajos contenidos de sales solubles, de sodio y de materia orgánica.

Cuadro 1. Características químicas del suelo del sitio experimental

Prof. (cm)	NO_3 (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	CO_3 (g kg^{-1})	Ce (dS m^{-1})	CIC (cmol kg^{-1})	pH
0-30	23.18	9.20	1045.83	53.0	0.79	24.4	8.47
30-60	37.27	8.23	912.50	68.0	1.07	23.5	8.30
60-90	43.42	9.67	833.30	86.6	1.03	23.4	8.15

NO_3 = Nitrato disponibles P = Fósforo disponible; K = Potasio disponible; CO_3 = Carbonatos totales; Ce = Conductividad eléctrica; CIC = Capacidad de intercambio catiónico.

El trabajo se estableció en un experimento con un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. Se establecieron en el campo cuatro tratamientos de humedad aprovechable consumida por el cultivo (HAC), estos tratamientos fueron: 40, 60, 80 y 100 % de la HAC del suelo.

Cuadro 2. Características físicas del suelo del sitio experimental.

Prof. (cm)	MO (%)	Arena (%)	Limo (%)	arcilla (%)	Textura	CC (%)	PMP (%)	Da (g cm^{-3})
0-30	1.21	20.0	38.0	24.0	Franco arcillo limoso	27.9	15.9	1.3
30-60	0.88	19.6	47.4	33.0	Franco arcillo Limoso	27.7	15.5	1.2
60-90	0.82	17.0	50.0	33.0	Franco	27.9	15.2	1.3

MO = Materia orgánica; CC = Capacidad de campo; PMP = Punto de marchitez permanente; Da = Densidad aparente.

Las dimensiones de la parcela experimental fueron de 10 m de largo por 8.5 m de ancho con el fin de ser compatibles con el tamaño de pixel de las imágenes de satélite y facilitar su detección y análisis.

Se midió en forma continua el contenido de humedad del suelo para cada tratamiento usando el método de reflectometría. Para determinar y monitorear el contenido de agua del suelo y su variación a través el ciclo del cultivo en cada tratamiento, se utilizaron los métodos de reflectometría en el dominio temporal (TDR) previamente calibrado con el gravimétrico como método estándar para su calibración, basado en la toma de muestras del suelo con barrenas tipo Vehimeyer.

Para la aplicación del riego a las parcelas experimentales cuando alcanzaban el nivel de HAC prefijado, mediante el entubamiento del agua de riego hasta las parcelas experimentales, se aplicó el volumen suficiente y requerido para llevar el perfil de suelo explorado por las raíces hasta capacidad de campo. Asimismo, se aplicó en forma volumétrica el agua requerido por el maíz forrajero para generar condiciones favorables de humedad durante su desarrollo.

La siembra se efectuó en suelo húmedo el 27 de junio del 2024, con una densidad de siembra de 9 plantas por metro lineal y una separación de hileras de 0.76 m. Para una densidad aproximada de 106 mil plantas por ha.

Para la fertilización se aplicó la fórmula 160-50-00. Las variables a evaluar fueron, el rendimiento de forraje verde (FV) en t ha^{-1}, el rendimiento de materia seca (MS) en t ha^{-1}) y la eficiencia de uso del agua (kg m^{-3}), la lámina de agua consumida. El análisis de la información se realizó con base en el análisis de varianza, de comparación de medias (Tukey 5%) y análisis de regresión.

Resultados y discusión

En el Cuadro 3 se presentan los valores del régimen de humedad a los que fueron sometidos los cuatro tratamientos en el cultivo del maíz forrajero. El rango del contenido de la humedad aprovechable consumida fluctúo de 43 % en el tratamiento más favorable de contenido de humedad en el suelo al 100 % de la HAC de condiciones hídricas extremadamente restrictivas. Para el caso de la evapotranspiración actual o lámina consumida por el cultivo, el mayor consumo fue de 69.8 cm de agua, y se presentó en el tratamiento 40 HAC, de condiciones más húmedas que el resto, el menor consumo de 28.5 cm, se mostró en el tratamiento 100 HAC de muy bajo contenido de humedad en el suelo.

El comportamiento del rendimiento de materia verde (t ha^{-1}) del maíz, como respuesta a las condiciones diferentes de humedad del suelo en cada tratamiento ensayado en el campo, se muestra en el citado Cuadro 3. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0.01$). El tratamiento 40 de HAC tuvo el rendimiento promedio más alto, de 61.9 t ha^{-1}. Este valor de producción, de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey (Cuadro 3), resultó estadísticamente igual al tratamiento 60 HAC pero significativamente diferente y de más producción que los tratamientos 80 y 100. Con respecto a la respuesta de materia seca del maíz forrajero a estos tratamientos de humedad, el mismo cuadro muestra que el tratamiento más húmedo, 43 % de HAC, produjo 18.4 t ha^{-1} y fue significativamente más alto que los restantes 3 tratamientos ensayados.

Cuadro 3. Rendimientos del maíz forrajero de acuerdo al régimen de humedad en el suelo

Tratamiento	HAC (%)	ET (cm)	RMV (tha^{-1})	RMS (tha^{-1})
40	43	69.8	61.9 a*	18.4 a*
60	62	52.1	51.2 ab	13.9 b
80	80	41.4	40.6 b	8.8 c
100	100	28.5	37.7 b	8.2 c

HAC = Humedad aprovechable consumida; ET= Evapotranspiración; * = Valores con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia.

Modelo de producción del rendimiento (RMV) al régimen de humedad del suelo (HAC,%). Por medio del procedimiento del análisis de regresión, se ajustaron los datos observados del rendimiento de materia verde del maíz forrajero como variable dependiente y la humedad aprovechable consumida al momento del riego (HAC) como variable independiente, la función obtenida es la siguiente:

$$RMV=79.11275-0.43901*HAC;\ R^2 = 0.78$$

Donde los coeficientes de la regresión, fueron altamente significativos por lo que contribuyen en el modelo a explicar la respuesta del maíz forrajero. De acuerdo a sus parámetros estadísticos del coeficiente de determinación (R^2), el modelo obtenido explica en forma satisfactoria el fenómeno representado.

Modelo de rendimiento del maíz forrajero y de evapotranspiración (ET). Al relacionar estas variables para cada tratamiento ensayado en campo, se encontró que entre ellas existió una relación de tipo lineal. Dicha función obtenida, después de realizar el análisis de regresión entre ambas variables resultó:

$$RMV= 18.165 +0.61873 * ET;\ R^2= 0.80$$

Donde los coeficientes de regresión estimados, fueron significativos y contribuyeron a explicar la relación de las variables bajo estudio. De acuerdo a sus parámetros estadísticos encontrados el modelo ajustado en este estudio tiene una capacidad de predicción que resulta satisfactoria para este tipo de relaciones biológicas complejas donde intervienen diversos factores de la planta, del suelo y ambientales (Allen *et al*., 2006).

Rendimiento de materia seca (MS) de los tratamientos de riego. El rendimiento de materia seca en los diferentes tratamientos de HAC, fue de una tendencia similar, a la producción del RMV, ya citado. La respuesta del maíz forrajero a las condiciones hídricas en el suelo fue del tipo lineal ya que bajo condiciones hídricas favorables se produjo mayor cantidad de MS por unidad de superficie y a mayor restricción de agua en el suelo el rendimiento de materia seca tiende a disminuir. Esto se muestra en el Cuadro 3, donde se presentan los resultados de MS para cada uno de los cuatro tratamientos de HAC en el suelo.

Cuadro 4. Análisis de Varianza de rendimiento de materia seca (kg ha^{-i})

Fuente de variación	Grados de libertad	SC	CM	F	Pr>F
Bloque	2	2.705	1.352	0.67	NS
Tratamiento	3	207.737	69.245	34.52	**
Error	6	12.034			
CV %	11.5				

**: P ≤ 0.001. gl: grados de libertad; CV: coeficiente de variación

Sobresale la producción de MS en el tratamiento 40 % de la HAC de 18.4 tha^{-1} y que de acuerdo al análisis de comparación de medias (Tukey 5%) resultó significativamente superior en producción de MS y diferente al resto de los tratamientos.

Modelo de producción del rendimiento (RMS) al régimen de humedad del suelo (HAC, %). El modelo obtenido al relacionar la variable respuesta Materia Seca (t ha^{-1}) y el contenido de humedad en el suelo durante el desarrollo del cultivo fue también de tendencia lineal como puede observarse en la ecuación siguiente:

$$RMS= 25.7625 – 0.1885*HAC;\ R^2= 0.86$$

Donde los coeficientes obtenidos fueron significativos estadísticamente (< del 5%) por lo que contribuyen en forma significativa al modelo.

Modelo de rendimiento del maíz forrajero de Materia Seca y evapotranspiración (ET). El modelo obtenido al relacionar la variable respuesta Materia Seca (t ha^{-1}) y la lámina consumida durante el desarrollo del cultivo, fue de tendencia lineal como puede observarse en la función siguiente:

$$RMS= -0.4128 + 0.2658*LC;\ R^2= 0.88$$

Donde los coeficientes obtenidos fueron significativos estadísticamente (< del 5%) por lo que contribuyen en forma significativa al modelo.

Conclusiones

De acuerdo al rango de los niveles de humedad del estudio en campo, el maíz forrajero presentó un comportamiento lineal en su rendimiento de materia verde, a las condiciones hídricas del suelo y a su consumo de agua.

El maíz forrajero obtuvo su mayor rendimiento de materia verde al ser irrigado con el 40 % de la humedad aprovechable consumida del suelo, sin embargo, estadísticamente fue igual al irrigar el cultivo con el 60 de la humedad aprovechable consumida, esto resulta importante porque resulta en un ahorro del recurso hídrico.

Los modelos generados estiman con precisión el rendimiento de forraje verde en base al régimen de humedad al cual se desarrolla el maíz forrajero y a su consumo de agua o su evapotranspiración. La estimación es congruente dentro de los límites de los niveles de estudio ensayados en el experimento.

Se recomienda la repetición del estudio considerando fechas de primavera ya que este fue realizado a finales de junio cuando el recurso monetario estuvo disponible, y así evitar temperaturas extremas en floración y frías al final del desarrollo.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento del estudio al CONAHCYT como parte del proyecto de Ciencia Básica y de Frontera: “Huella hídrica de cultivos usando sensores remotos y datos de reanálisis, una aproximación a escala parcelaria” (CBF2023-2024-1092).

Referencias

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56*. https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s00.htm.

Flores-Delgadillo, L. & Alcalá-Martínez, J. R. (2010). Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de física de suelos. Instituto de Geología. Departamento de edafología. *Universidad Nacional Autónoma de México*.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Serie Libros Núm. 6. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.

SIAP, Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2025) SADER. Disponible en: http:/siap.gob.mx (septiembre 2025).

Singh, Y., Rao, S. S. & Regar, P. L. (2010) Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment Agric. Water Manage. 97: 965-970. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.01.028

MODELADO ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO EN UNA ZONA AGRÍCOLA SEMIÁRIDA

Osvaldo Galván-Cano[1], Martín Alejando Bolaños-González[1*], Jorge Víctor Prado-Hernández[2], José Alberto Urrieta-Velázquez[3], Nuria Aidé López-Hernández[3]

[1]Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Hidrociencias. Carretera México-Texcoco, Km. 36.5 Montecillo, Texcoco, México, 56264. [2]Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. Texcoco, México, 56230. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Km 6.5 Margen Derecha Canal de Sacramento, Gómez Palacio, Durango, 35079. *Autor para correspondencia: bolanos@colpos.mx

Introducción

El conocimiento de la variabilidad espacial de las propiedades físico-químicas del suelo constituye un aspecto fundamental en el estudio y manejo de los recursos naturales, particularmente en zonas semiáridas de México. En este contexto se localiza el Distrito de Riego 001 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes (DR 001), cuya producción agrícola enfrenta limitaciones climáticas y edáficas que restringen el aprovechamiento sostenible del suelo. Generar información técnica y espacial precisa es esencial para optimizar el uso del agua y los insumos agronómicos, sobre todo en unidades de producción sometidas a condiciones edafoclimáticas restrictivas. Las propiedades físico-químicas del suelo — como el pH, la textura, la materia orgánica, la capacidad de retención de humedad y los indicadores de fertilidad — condicionan la disponibilidad de agua y nutrientes en el perfil edáfico, así como la respuesta fisiológica de los cultivos. En este marco, el mapeo digital de suelos se ha consolidado como una herramienta eficaz para modelar propiedades edáficas a partir de covariables ambientales y datos de campo (Krasilnikov et al., 2013). El presente estudio plantea una comparación de tres enfoques de modelado espacial: Kriging Ordinario (*Ordinary Kriging*, OK), Modelos Aditivos Generalizados (*Generalized Additive Models*, GAM) y Bosques aleatorios (*Random Forest*, RF), aplicados a datos edáficos recolectados en campo en el DR 001. El objetivo es generar productos cartográficos de alta resolución que describan con precisión la distribución espacial de propiedades físico-químicas del suelo y apoyen la toma de decisiones en el manejo de cultivos y la gestión del riego a escala parcelaria. Los resultados de esta investigación contribuirán a fortalecer el conocimiento sobre la aplicabilidad de enfoques multivariantes y de aprendizaje automático en contextos edafológicamente complejos.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en el DR 001, ubicado en la región norte del estado de Aguascalientes, México, con una superficie aproximada de 11,800 ha. De acuerdo con la carta edafológica F13-6 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Serie II, escala 1:250 000), el DR 001 presenta alta variabilidad edáfica que condiciona la producción agrícola. Se efectuó un muestreo de suelos en 97 sitios distribuidos sistemáticamente en las parcelas del DR 001, recolectando muestras a dos profundidades: 0–30 cm y 30–60 cm. Además, se incluyeron cuatro sitios adicionales en áreas con vegetación natural para fines comparativos (Figura 1).

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados–Campus Montecillo, siguiendo procedimientos estandarizados de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 para determinar propiedades físico-químicas.

A partir de los resultados de laboratorio y de las coordenadas geográficas de cada sitio, se generaron modelos predictivos espaciales mediante tres enfoques: OK, GAM y RF, siguiendo el procedimiento descrito en la Figura 2.

El desempeño predictivo de los modelos fue evaluado mediante métricas estadísticas: error absoluto medio (MAE), error cuadrático medio (RMSE) y error porcentual absoluto medio (MAPE), lo que permitió comparar la precisión de las predicciones y seleccionar el mejor modelo para cada propiedad del suelo en función de su capacidad de generalización y exactitud.

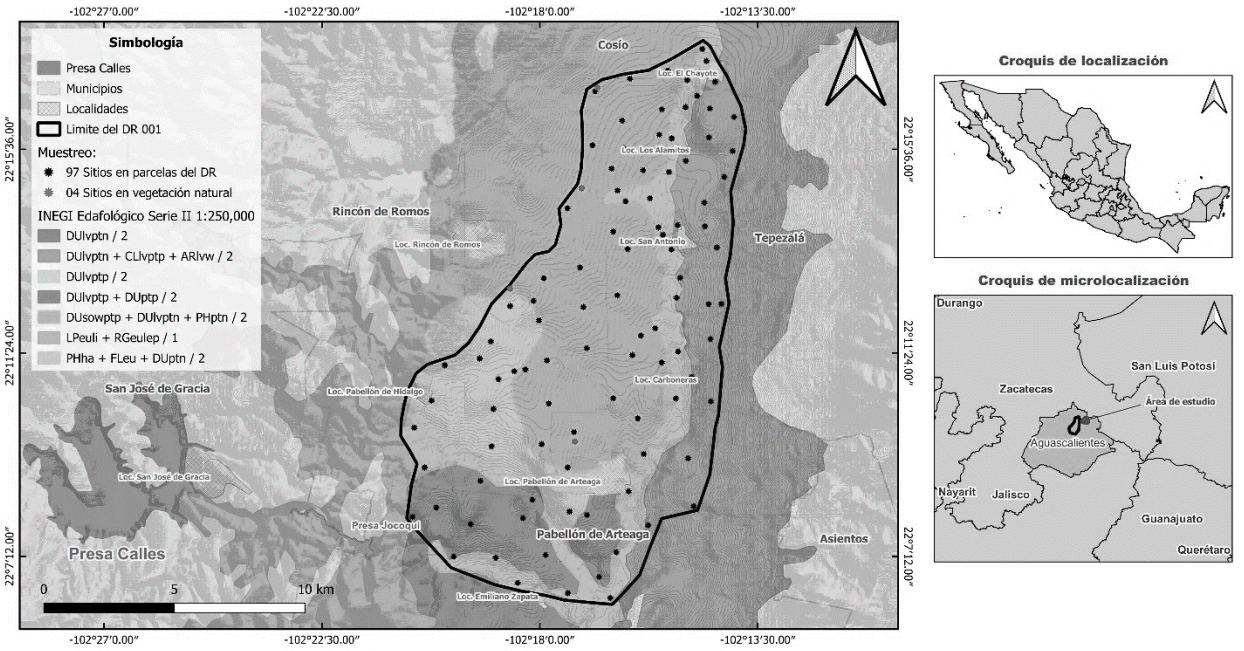


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo de suelo.

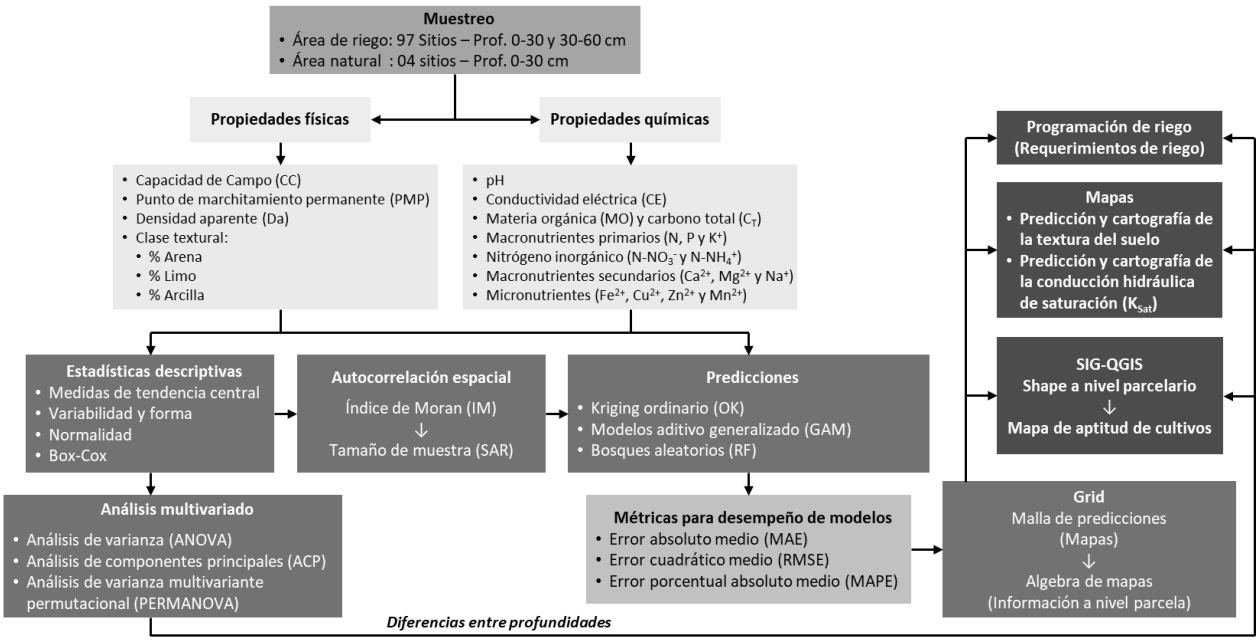


Figura 2. Diagrama de flujo de la caracterización y modelado geoestadístico.

Resultados y discusión

En general, los métodos RF y OK registraron los menores errores de predicción para la mayoría de las variables, con valores de MAPE de 3.5–298.5%, RMSE de 0.1–13.3 y MAE de 0.03–9.9 en RF, y de MAPE de 3.1–456.9%, RMSE de 0.1–12.5 y MAE de 0.1–9.8 en OK. Estos resultados confirman la eficacia de ambos enfoques en el modelado espacial y multivariado de propiedades edáficas complejas, en concordancia con lo señalado en estudios previos (Brungard et al., 2015; Hengl et al., 2017).

Los resultados mostraron que RF obtuvo los errores de predicción más bajos, con valores de MAPE de 3.5–29.2%, RMSE de 0.1–3.8 y MAE de 0.03–2.9, en variables como CE, C_T, K^+, Mg^{2+}, Na^+, Zn^{2+}, % Arena, % Arcilla, CC, Da y para $N\text{-}NH_4^+$ en la capa de 30-60 cm. No obstante, en variables como pH, % Limo y PMP, OK fue el mejor predictor, aunque las diferencias en las métricas respecto a RF fueron mínimas. De manera complementaria, OK representó con mayor precisión la distribución espacial de pH, N_T, P, Ca^{2+}, $N\text{-}NO_3^-$, Fe^{2+}, Mn^{2+}, % Limo, PMP y $N\text{-}NH_4^+$ en la capa de 0–30 cm, con valores de MAPE de 3.1–31.6%, RMSE de 0.1–1.9 y MAE de 0.1–1.6. Esto se atribuye a la estructura espacial más definida y continua de estas variables, que se ajusta mejor a los supuestos geoestadísticos de OK.

Por su parte, GAM mostró un mejor desempeño únicamente en la predicción de Cu^{2+}, lo que confirma su utilidad para capturar tendencias suaves en datos espaciales. Sin embargo, su rendimiento limitado en comparación con RF y OK podría deberse a su menor capacidad para modelar estructuras espaciales altamente no lineales (Lima et al., 2025; Meyer et al., 2018). Como ejemplo representativo de la comparación entre enfoques, en la Figura 3 se presentan los mapas generados para pH.

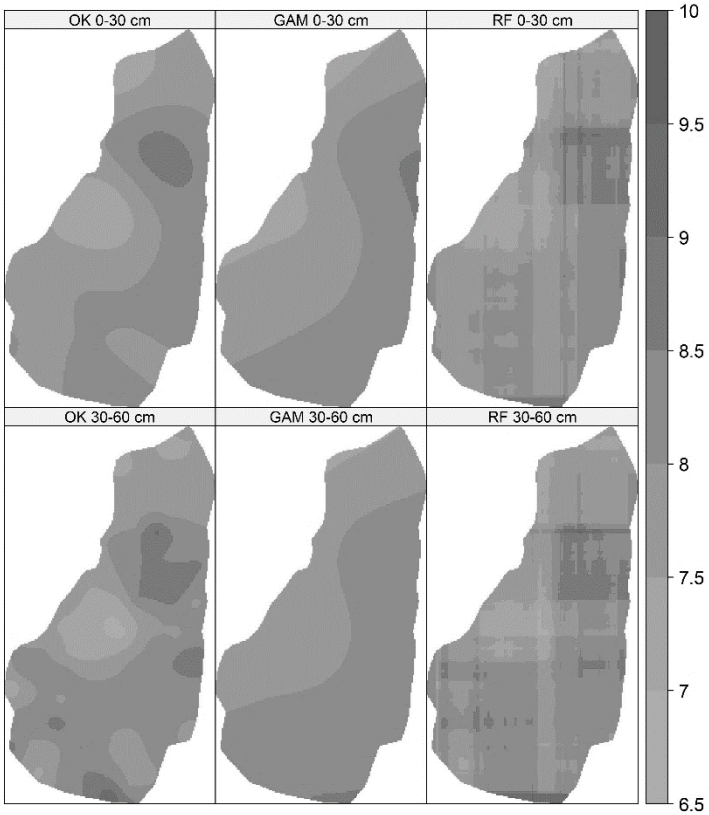


Figura 3. Comparativo de predicciones por OK, GAM y RF para pH.

Para la elaboración del mapa de texturas del suelo en el DR 001 (Figura 4), se integraron las predicciones de RF para % Arena y % Arcilla con las obtenidas mediante OK para % Limo, lo que permitió una clasificación textural más precisa mediante el triángulo textural. La clase textural predominante fue Franco arenoso arcilloso, con una cobertura del 70.3% (0-30 cm) y 56.6% (30-60 cm); seguida de Franco arcilloso con 24.64% y 32.12%; y Arcilloso con 2.9% y 10.4%, respectivamente.

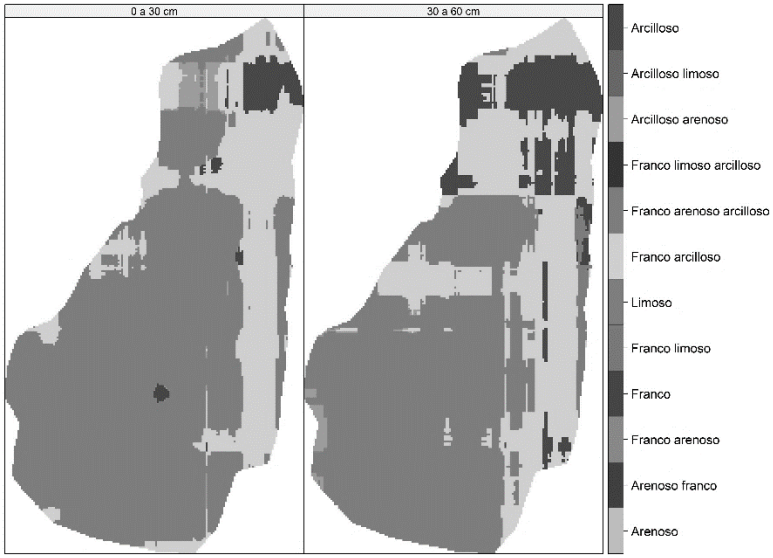


Figura 4. Predicciones y cartografía para texturas del suelo.

En el mapa de tasa de infiltración (Figura 5) se integraron las predicciones obtenidas con RF para MO, % Arena, % Arcilla y Da, junto con las ecuaciones de pedotransferencia propuestas por Saxton & Rawls (2006) ampliamente validadas en la literatura, para estimar la conductividad hidráulica de saturación (K_{Sat}). Los resultados mostraron zonas con baja infiltración (<4 mm h^{-1}) en los estratos superficiales, lo cual representa un aspecto crítico para la planificación y manejo del riego.

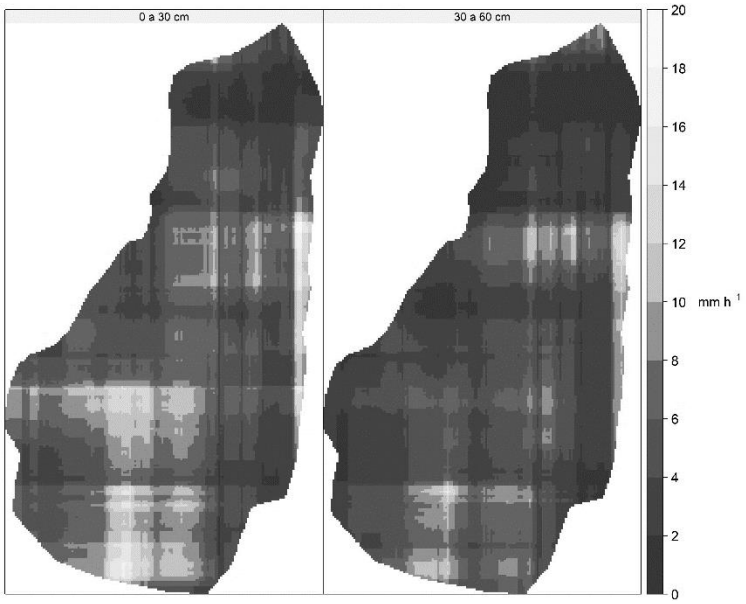


Figura 5. Predicciones y cartografía para infiltración del suelo.

Finalmente, se generaron dos capas vectoriales (*shapefiles*) por profundidad (0–30 cm y 30–60 cm), integradas en el sistema de información geográfica QGIS. Estas capas contienen valores edáficos ponderados por parcela, ofreciendo una caracterización detallada y espacialmente explícita del estado físico y nutricional del suelo en el DR 001.

Conclusiones

El DR 001 presentó una marcada heterogeneidad en las propiedades físico-químicas del suelo, con alta variabilidad en nutrientes como nitrato y en micronutrientes (Cu^{2+} y Zn^{2+}). El análisis estadístico confirmó diferencias significativas entre profundidades, mientras que no se detectaron contrastes multivariados entre sitios agrícolas y de vegetación natural, lo que indica un impacto agrícola limitado sobre la composición edáfica evaluada.

Desde el enfoque predictivo, la combinación de Kriging Ordinario (OK) y Bosques Aleatorios (RF) se consolidó como la estrategia más eficaz, al integrar la estructura espacial captada por OK con la flexibilidad de RF, logrando mayor precisión y adaptabilidad en la predicción de propiedades del suelo.

Los mapas generados a partir de ambos modelos constituyen herramientas prácticas para la gestión agrícola, con aplicaciones en la planificación del riego, la fertilización diferenciada y la selección de cultivos, contribuyendo así a una agricultura más eficiente y sostenible en zonas semiáridas.

Referencias

Brungard, C. W., Boettinger, J. L., Duniway, M. C., Wills, S. A., & Edwards, T. C. (2015). Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. *Geoderma*, *239–240*, 68–83. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.019

Hengl, T., Jesus, J. M. de, Heuvelink, G. B. M., Gonzalez, M. R., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M. N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M. A., Vargas, R., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Leenaars, J. G. B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S., & Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLOS ONE*, *12*(2), e0169748. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748

Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M. del C., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (2013). Soil Research and Soil Mapping History. En P. Krasilnikov, Ma. del C. Gutiérrez-Castorena, R. J. Ahrens, C. O. Cruz-Gaistardo, S. Sedov, & E. Solleiro-Rebolledo (Eds.), *The Soils of Mexico* (pp. 5–23). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5660-1_2

Lima, A. A. J., Lopes, J. C., Lopes, R. P., de Figueiredo, T., Vidal-Vázquez, E., & Hernández, Z. (2025). Soil Organic Carbon Assessment Using Remote-Sensing Data and Machine Learning: A Systematic Literature Review. *Remote Sensing*, *17*(5), Article 5. https://doi.org/10.3390/rs17050882

Meyer, H., Reudenbach, C., Hengl, T., Katurji, M., & Nauss, T. (2018). Improving performance of spatio-temporal machine learning models using forward feature selection and target-oriented validation. *Environmental Modelling & Software*, *101*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.001

Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*, *70*(5), 1569–1578. https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN UNA ZONA AGRÍCOLA SEMIÁRIDA

Osvaldo Galván-Cano[1], Martín Alejando Bolaños-González[1*], Adolfo Antenor Exebio-García[1], Adolfo López-Pérez[1], Gerardo Colín-García[2], Nuria Aidé López-Hernández[3]

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Hidrociencias. Carretera México-Texcoco, Km. 36.5 Montecillo, Texcoco, México, 56264. [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental del Centro Regional de Investigaciones del Pacífico Sur, Carretera Internacional Ocozocoautla-Cintalapa Km 3.0, Ocozocoautla de Espinosa, México, 29140. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Km 6.5 Margen Derecha Canal de Sacramento, Gómez Palacio, Durango, 35079. *Autor para correspondencia: bolanos@colpos.mx

Introducción

El cambio climático (CC) es una alteración persistente en las condiciones promedio del clima terrestre, con impactos generalizados que afectan de manera transversal a sectores como la salud, los recursos hídricos, la economía y, de forma crítica, la agricultura (Arnell et al., 2016; Hicke et al., 2022). La agricultura es un sector doblemente expuesto: contribuye de forma significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero y es altamente vulnerable a cambios en la precipitación, la frecuencia de eventos extremos y la dinámica del agua en el suelo (FAO et al., 2022; Tao et al., 2011). Un componente principal para la planeación y gestión agrícola en escenarios de CC es la evapotranspiración de referencia (ET_0), que representa la demanda evaporativa de la atmósfera sobre una superficie de cultivo y es determinante en el cálculo de los requerimientos de riego (Allen et al., 1998). En México, y particularmente en regiones semiáridas del centro-norte, donde se ubica Aguascalientes, los sistemas agrícolas dependen en gran medida del riego. Se han observado tendencias de incremento en la temperatura media anual y en las tasas de evapotranspiración, así como reducciones en la precipitación estacional (Escalante-Sandoval, 2020; Ruiz-Alvarez et al., 2019, 2020). En este contexto, el Distrito de Riego 001 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes (DR 001), ejemplifica los desafíos que enfrentan los sistemas agrícolas semiáridos ante el CC. Este estudio evalúa el impacto del CC sobre la ET_0 en el DR 001, a partir de datos históricos (2002–2023) y proyecciones futuras (2026–2100) de 22 Modelos Climáticos Globales (MCG) corregidos por sesgo mediante mapeo de cuantiles (MQ) bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Para ello se aplicaron técnicas de corrección estadística y análisis de sensibilidad, con el fin de generar proyecciones más precisas, identificar las variables climáticas más influyentes y aportar evidencia técnica para una gestión sostenible del recurso hídrico a nivel local.

Materiales y métodos

El DR 001 Pabellón de Arteaga se localiza en el estado de Aguascalientes, México, colindando al norte con el estado de Zacatecas y al sur con la capital estatal, con una superficie aproximada de 11,800 ha. Presenta un clima semiárido cálido, caracterizado por lluvias de verano y una estación seca en invierno, con temperatura media anual de 18 °C y precipitación promedio de 400 mm. Se emplearon datos históricos (2002–2023) de 22 estaciones climatológicas (Figura 1), obtenidos del Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos (LNMYSR) del INIFAP. Los registros fueron sometidos a homogenización y relleno de datos faltantes, y se aplicó corrección por sesgo mediante mapeo de cuantiles (MQ) a las proyecciones futuras de 22 Modelos Climáticos Globales (MCG). La ET_0 se estimó mediante los métodos de FAO Penman-Monteith (FAO-56), Priestley-Taylor (P-T) y Hargreaves-Samani (H-S) siguiendo el procedimiento resumido en la Figura 2.

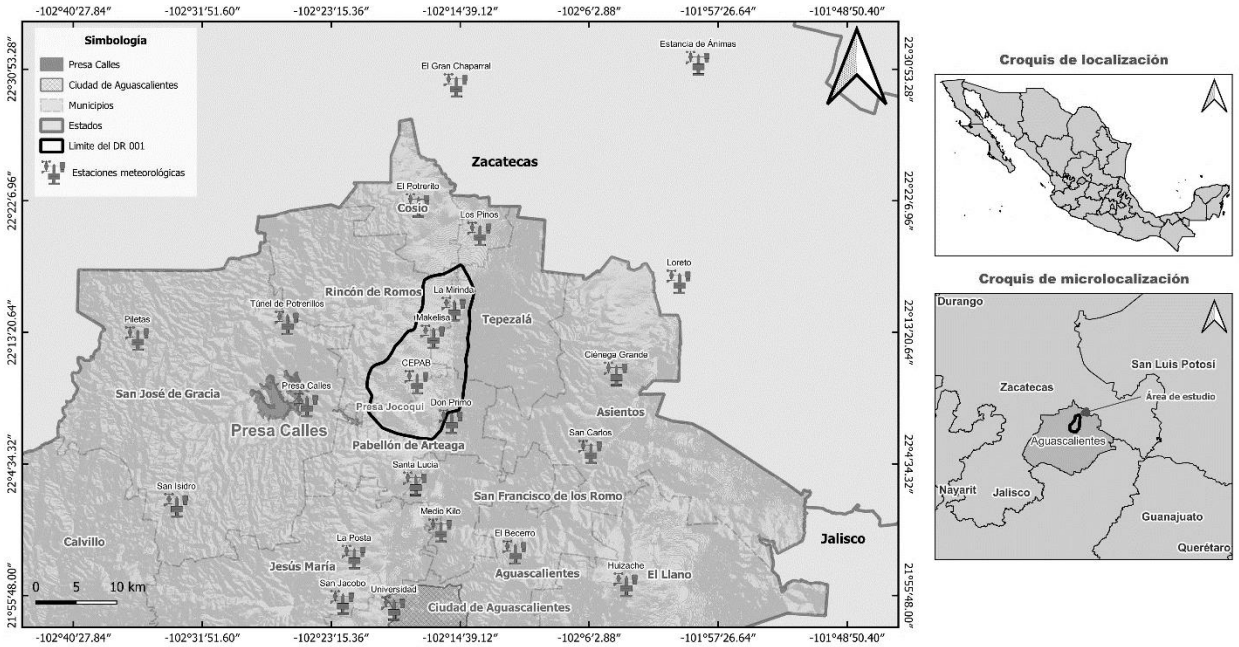


Figura 1. Ubicación de las estaciones climatológicas en el área de estudio.

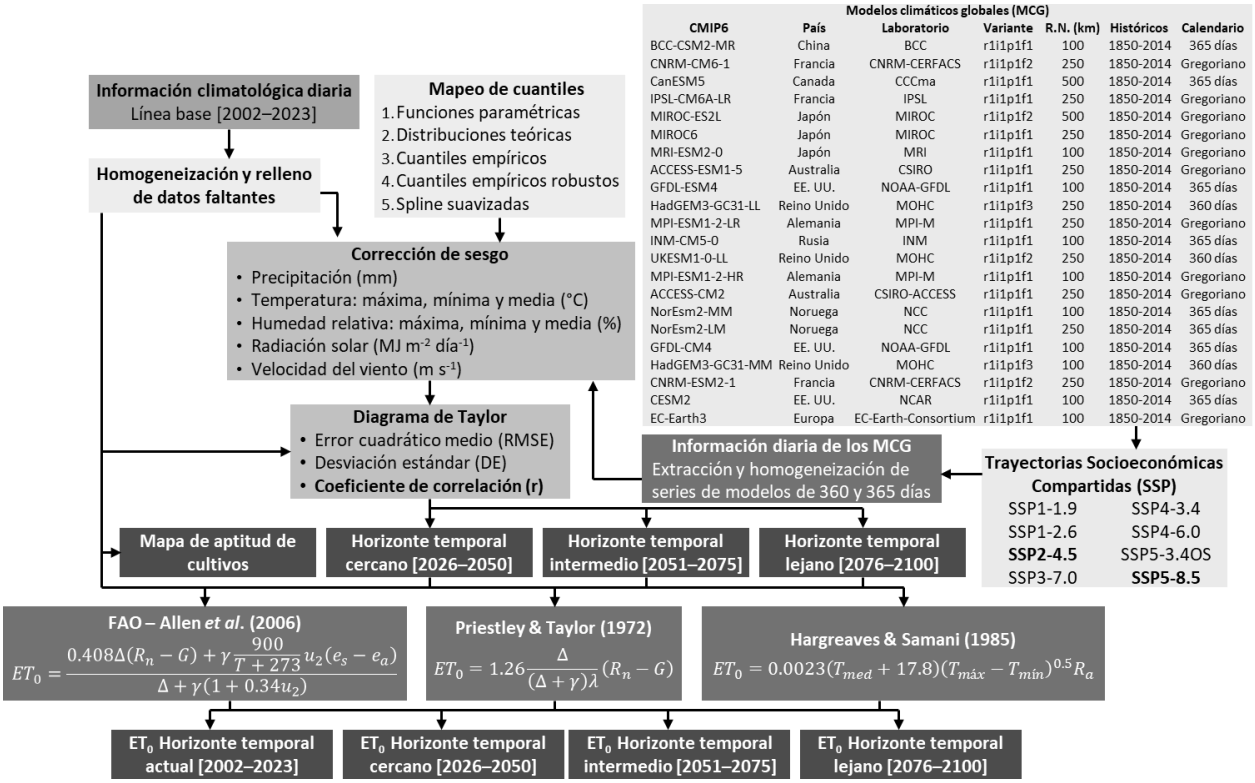


Figura 2. Diagrama de flujo de la corrección por sesgo a MCG y estimación de ET_0 mediante FAO-56, P-T y H-S.

Resultados y discusión

Tras la corrección por sesgo aplicada a las ocho variables climáticas empleadas en el cálculo de la ET_0, el modelo ACCESS-ESM1-5 presentó el mejor desempeño en seis de ellas — T_{MED}, $T_{MÁX}$, $T_{MÍN}$, H_{RMED}, $HR_{MÁX}$ y $HR_{MÍN}$ — en las cuatro estaciones evaluadas, con altos coeficientes de correlación ($r > 0.72–0.95$). En cuanto a la R_S y la V_V, el modelo se ubicó en la segunda y cuarta posición, respectivamente, mientras que para Pr alcanzó nuevamente la primera posición

La incertidumbre interna de los métodos de ET_0 se evaluó para cuatro estaciones del DR 001 (Don Primo, CEPAB, Makelisa y Los Pinos) (Cuadro 1). El método FAO-56 presentó la menor incertidumbre en todas las estaciones, con un coeficiente de variación (CV) de 8.99–10.32% y un intervalo de confianza (IC) de 0.94–1.05 mm día^{-1}. Estos resultados evidencian su mayor robustez frente a la variabilidad climática simulada, ya que la integración de múltiples variables permite que los errores de un MCG se compensen con otros.

En comparación, el método P-T mostró un CV de 13.09–13.43%, lo que refleja su dependencia de la radiación neta, la temperatura y un coeficiente empírico (α), captando mayor variabilidad asociada a los MCG de radiación solar (R_S). El método H-S presentó la mayor incertidumbre (CV de 16.80–16.99%), debido a su fuerte dependencia de la amplitud térmica diaria y la radiación extraterrestre (Ra), lo que lo hace altamente sensible a errores en los MCG.

La menor incertidumbre de FAO-56 respalda su mayor solidez física, ya que incorpora el balance de energía y la resistencia aerodinámica y estomática, lo que lo hace menos sensible a fluctuaciones aleatorias en las variables climáticas.

Cuadro 1. Incertidumbre en la estimación de ET_0 en cuatro estaciones del DR 001.

Estación	Método	$\bar{X}$	σ	IC (2.5%)	IC (97.5%)	IC (Rango)	CV
				mm día^{-1}			%
Don Primo	FAO–56	3.65	0.35	3.00	4.02	1.02	9.73
	P–T	3.60	0.48	2.73	4.10	1.37	13.32
	H–S	4.69	0.79	3.42	5.60	2.18	16.80
CEPAB	FAO–56	3.57	0.37	2.90	3.95	1.05	10.32
	P–T	3.63	0.49	2.74	4.13	1.39	13.43
	H–S	4.74	0.80	3.46	5.67	2.21	16.84
Makelisa	FAO–56	3.88	0.35	3.25	4.24	0.99	8.99
	P–T	3.59	0.48	2.72	4.09	1.37	13.40
	H–S	4.78	0.81	3.48	5.72	2.24	16.89
Los Pinos	FAO–56	3.44	0.33	2.84	3.78	0.94	9.66
	P–T	3.43	0.45	2.61	3.89	1.28	13.09
	H–S	4.72	0.80	3.43	5.65	2.22	16.99

La Figura 3 muestra el sesgo en las simulaciones de ET_0 en comparación con las estimaciones obtenidas por los distintos métodos. El método H–S presentó el menor error y un sesgo levemente positivo, probablemente porque las condiciones locales favorecen la relación empírica entre temperatura y evapotranspiración. Aunque FAO-56 suele considerarse el estándar de referencia, en estas simulaciones H–S se desempeñó mejor en todas las estaciones.

El método P–T mostró un sesgo bajo, pero con mayor dispersión que H–S, lo que limita su confiabilidad. En contraste, FAO-56, aunque más complejo, asegura mayor consistencia y confiabilidad en escenarios de cambio climático, al incorporar un marco físico más robusto pese a presentar un sesgo algo mayor.

El análisis de sensibilidad de Sobol mostró que, para el método FAO-56, la variable con mayor influencia en la estimación de la ET_0 fue la R_S, que explica entre 43–56% (S1) de la variabilidad, y entre el 42–55% (ST) de la varianza total. Le siguió el día juliano (D_J), del cual depende la Ra, con una contribución de 22–33% (S1) y 21–32% (ST), y finalmente la velocidad del viento (V_V), con aportes de 12–19% (S1) y 13–19% (ST). En el método P–T, las variables más influyentes fueron la R_S y el D_J, con una contribución del 53–68% y del 27–41% en S1, respectivamente. En contraste, en el método H-S las variables con mayor impacto fueron el D_J y la $T_{MÍN}$, que fueron las principales determinantes de la estimación de la ET_0.

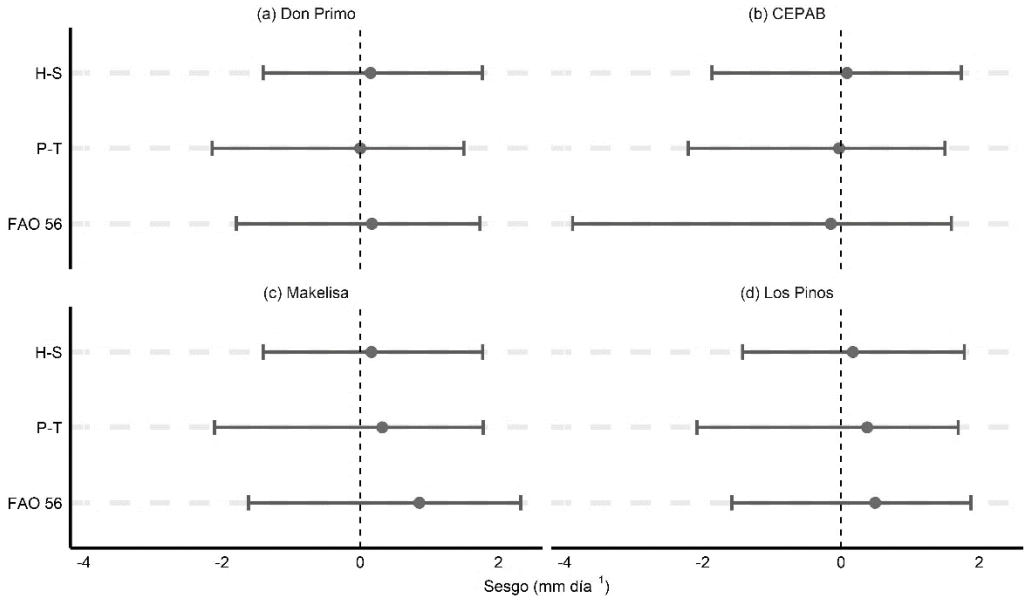


Figura 3. Comparación de sesgo en la estimación de ET_0 (IC del 95%) por FAO-56, P-T y H-S en cuatro estaciones del DR 001.

Las estimaciones de ET_0 mediante el método FAO-56 (Figura 4) mostraron los mayores incrementos en otoño-invierno (O-I), con rangos de 16.5% a 24.1%. En contraste, el método P-T registró su mayor aumento en primavera-verano (P-V), entre 8.7% y 15.6%. El método H-S presentó valores absolutos más altos que FAO-56 y P-T, aunque con incrementos más moderados (1.4–10.7%) bajo ambos escenarios, debido a su menor sensibilidad a las variaciones climáticas. Este comportamiento coincide con lo reportado por Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz (2021), quienes concluyeron que la ET_0 tenderá a incrementarse en todo México como consecuencia del aumento de la temperatura del aire y la reducción de la humedad relativa.

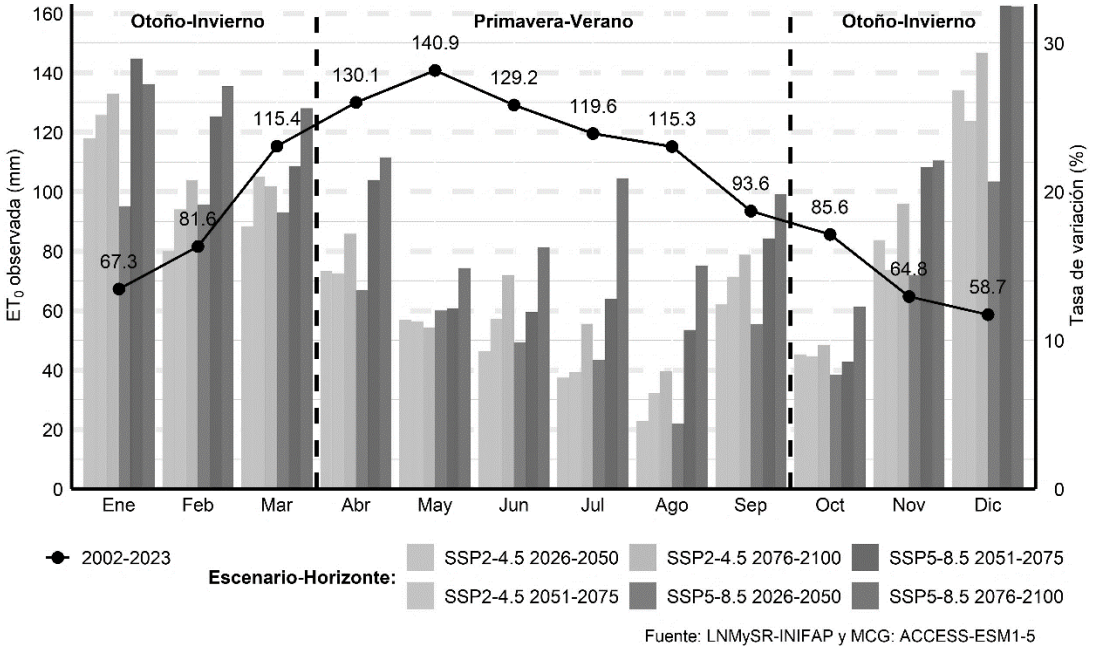


Figura 4. Tasa de variación proyectada de la ET_0 estimada por FAO-56 bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Conclusiones

Este estudio evaluó el impacto del cambio climático en la ET_0 del DR 001, mostrando que los escenarios futuros proyectan incrementos significativos que intensificarán la demanda de agua de los cultivos y ejercerán presión adicional sobre la disponibilidad hídrica.

Bajo el escenario SSP2-4.5, se estima un aumento progresivo de 17.7–20.3% hacia finales del siglo (2081–2100), mientras que en el SSP5-8.5 los incrementos son más severos (16.5–24.1%) en todos los horizontes temporales, con mayor intensidad en el periodo otoño–invierno (O–I).

Estos resultados resaltan la necesidad urgente de implementar estrategias locales de adaptación hídrica y ofrecen una base técnica sólida para la gestión eficiente y resiliente del recurso hídrico, así como para el diseño de políticas públicas adaptativas en regiones agrícolas vulnerables.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements*. FAO. https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm

Arnell, N. W., Brown, S., Gosling, S. N., Gottschalk, P., Hinkel, J., Huntingford, C., Lloyd-Hughes, B., Lowe, J. A., Nicholls, R. J., Osborn, T. J., Osborne, T. M., Rose, G. A., Smith, P., Wheeler, T. R., & Zelazowski, P. (2016). The impacts of climate change across the globe: A multi-sectoral assessment. *Climatic Change*, *134*(3), 457–474. https://doi.org/10.1007/s10584-014-1281-2

Escalante-Sandoval, C. (2020). Expected Impacts on Agriculture Due to Climate Change in Northern Mexico. En J. A. Raynal-Villasenor (Ed.), *Water Resources of Mexico* (pp. 197–217). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40686-8_11

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2022). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc0639en

Hicke, J. A., Lucatello, S., Mortsch, L. D., Dawson, J., Domínguez Aguilar, M., Enquist, C. A. F., Gilmore, E. A., Gutzler, D. S., Harper, S., Holsman, K., Jewett, E. B., Kohler, T. A., & Miller, K. (2022). North America. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. M. B. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate Change*

2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Monterroso-Rivas, A. I., & Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México: Cambio climático y ETP en México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, *39*. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774

Ruiz-Alvarez, O., Singh, V. P., Enciso-Medina, J., Munster, C., Kaiser, R., Ontiveros-Capurata, R. E., Diaz-Garcia, L. A., & Costa dos Santos, C. A. (2019). Spatio-temporal trends in monthly pan evaporation in Aguascalientes, Mexico. *Theoretical and Applied Climatology*, *136*(1), 775–789. https://doi.org/10.1007/s00704-018-2491-8

Ruiz-Alvarez, O., Singh, V. P., Enciso-Medina, J., Ontiveros-Capurata, R. E., & dos Santos, C. A. C. (2020). Observed trends in daily temperature extreme indices in Aguascalientes, Mexico. *Theoretical and Applied Climatology*, *142*(3), 1425–1445. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03391-1

Tao, S., Xu, Y., Liu, K., Pan, J., & Gou, S. (2011). Research Progress in Agricultural Vulnerability to Climate Change. *Advances in Climate Change Research*, *2*(4), 203–210. https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2011.00203

RELACIÓN DEL DESARROLLO VEGETAL DEL MAÍZ FORRAJERO Y EL ÍNDICE SAVI OBTENIDO MEDIANTE TELEDETECCIÓN

Nuria Aide López-Hernández[1], Eva Aurora Bautista-Calderón[1], Gerardo Delgado-Ramírez[1], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Ramón Trucíos-Caciano[1], Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[1]*

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango *Autor para correspondencia: martinez.aldo@inifap.gob.mx

Introducción

El maíz forrajero es una variedad de maíz seleccionada en busca de: un porte alto, la mayor cantidad de follaje, la mejor capacidad creadora de materia seca y rendimiento de grano, porque estos aspectos impactan en la productividad y la calidad de los productos derivados del maíz forrajero; pienso, pacas, heno y ensilajes (Velasco Macias et al., 2022). En el año 2023, la producción de maíz forrajero en México alcanzó las 15,431,671.36 toneladas, en 459,080.83 hectáreas cosechadas; y un rendimiento promedio nacional de 33.61 toneladas por hectárea (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023). En la Comarca Lagunera, el maíz forrajero es esencial para la industria de alimentos balanceados para el ganado, por lo que, es imprescindible comprender los factores que pueden afectar la producción del cultivo, especialmente en relación con la disponibilidad de los recursos hídricos en la región, dado que la relación entre la disponibilidad de agua y la producción de biomasa es directa, afectando la calidad y cantidad del maíz forrajero. La teledetección permite un monitoreo efectivo de los cultivos. Se define a la teledetección como un conjunto de técnicas mediante las cuales se obtiene información sobre objetos terrestres a través de la toma y análisis de datos a distancia, y un ejemplo claro de su utilidad son los Índices de Vegetación (IV). Los IV, son imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales: densidad, índice de área foliar y actividad clorofílica. En este trabajo de investigación se utilizaron imágenes del satélite Sentinel-2 como instrumento de teledetección para obtener el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI). El índice de vegetación SAVI es una alternativa al convencional índice NDVI, destinado a corregir la influencia ejercida por el suelo durante los estudios de vegetación a través de bandas del espectro electromagnético, lo que permite trabajar en escenarios donde el desarrollo vegetal sea incipiente. El objetivo de este trabajo de investigación fue relacionar el índice SAVI con parámetros del desarrollo vegetal del maíz forrajero para generar modelos y analizar su precisión en la determinación de dichos parámetros a través del índice de vegetación.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en un predio del municipio Francisco I. Madero, al suroeste del estado de Coahuila de Zaragoza, México (25°37'57'' latitud N y 103°20'30'' longitud O, a una altitud de 1,118 msnm), donde se cultivó maíz forrajero de doble propósito (Híbrido N83N5®, Syngenta México, Suiza). El periodo del estudio fue del 01 de agosto al 24 de octubre de 2023, correspondiente al ciclo agrícola de verano. El diseño de siembra fue de 8 plantas por metro lineal y 75 cm entre hileras.

El sistema de riego fue por goteo subterráneo mediante cintilla (TORO®, The Toro Company, USA), calibre 8000, diámetro interno de 16 mm (7/8”), gasto de 0.5 L h^{-1} a 15 PSI, con goteros a cada 10 cm, enterrada a 30 cm de profundidad. El diseño de riego considera 14 secciones de 300 x 125 m, cada una. La textura del suelo es franco-arcillosa, con una capacidad de campo (CC) de 36 %, un punto de marchitamiento permanente (PMP) de 22 % y una densidad aparente de 1.35 g cm^{-3}.

Los puntos de muestreo se realizaron donde el índice SAVI mostró los valores máximos y mínimos en las imágenes de satélite; con tres repeticiones de cada uno. Cada unidad experimental estuvo conformada por 4 plantas representativas, elegidas al azar en 1 m^2. Las variables respuesta evaluadas fueron número de hojas (NH), diámetro de tallo (DT) y altura de planta (AP). Las mediciones del diámetro de tallo se realizaron mediante un calibrador vernier con una precisión de 0.02 mm. La altura de planta se obtuvo desde la base del tallo hasta el ápice utilizando para esto un estadal metálico de 2 metros, graduado en milímetros. Para el análisis de datos se realizaron modelos de regresión lineal, y análisis de t de Student para dos muestras.

Las imágenes satelitales fueron obtenidas del satélite Sentinel-2 A y B con una resolución espacial de 10 metros. Estas imágenes fueron descargadas en formato GeoTIFF desde la página oficial de Copernicus Open Access Hub de la Agencia Espacial Europea (https://scihub.copernicus.eu/dhus), en proyección UTM/WGS84. Las imágenes utilizadas fueron aquellas que presentaban un porcentaje de nubosidad menor al 30 %, y corresponden a las siguientes fechas: 25 de agosto, 08, 25 y 29 de septiembre, y 24 de octubre de 2023. Para calcular el índice SAVI, se utilizó el software libre QGIS versión 3.32.2 Lima para aplicar la ecuación 1.

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+0.5} * 1.5 = \frac{B8-B4}{B8+B4+0.5} * 1.5 \qquad (1)$$

Donde: NIR es el rango de espectro electromagnético de infrarrojo cercano, RED es el rango de espectro electromagnético de rojo, B4 es el valor de reflectancia en la banda de rojo, B8 es el valor de reflectancia en la banda de infrarrojo cercano (NIR).

Resultados y discusión

En el cuadro 1, se muestran los valores máximos (SAVI alto) y mínimos (SAVI bajo), del índice SAVI obtenido para este estudio. SAVI alto tiene correspondencia a las áreas del predio con mayor follaje debido a la mayor vigorosidad mostrada por las plantas de maíz forrajero. Por el contrario, los puntos de muestreo correspondientes a SAVI bajo mostraron corresponder a las zonas con plantas con menor vigorosidad e incluso una menor densidad de plantas por metro cuadrado.

Cuadro 1. Valores máximos y mínimos del índice SAVI durante el periodo de estudio.

Fecha	SAVI alto	SAVI bajo
25-08-2023	0.31934	0.17697
	0.33763	0.21153
	0.42132	0.22871
08-09-2023	0.69900	0.33756
	0.71039	0.34766
	0.71049	0.37420
25-09-2023	0.61365	0.10759
	0.61655	0.10759
	0.67080	0.36116
29-09-2023	0.59441	0.49855
	0.59676	0.56634
	0.61419	0.57651
24-10-2023	0.48040	0.31648
	0.49673	0.38830
	0.51799	0.43512

En la Figura 1 se muestra la relación lineal que existe entre el número de hojas del maíz forrajero y el índice SAVI, tanto con sus valores máximos como con los mínimos. El modelo de regresión lineal simple obtenido fue el siguiente: NH = 10.2*SAVI+7.7017, R^2 = 0.4546. El coeficiente de determinación (R^2) se considera bajo, por lo que, los resultados de este estudio indican que el modelo obtenido es poco eficiente para estimar el número de hojas del maíz forrajero mediante los valores del índice SAVI obtenidos a partir de las imágenes de Sentinel-2, ya que el ajuste de los datos medidos respecto al modelo es de apenas el 45 %.

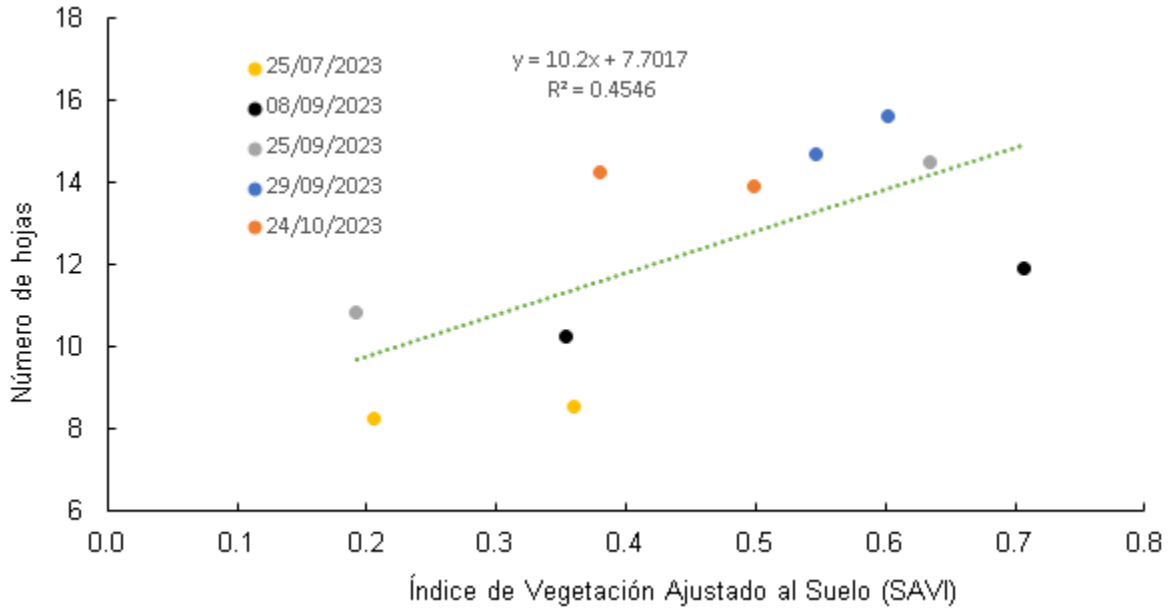


Figura 1. Relación lineal entre el número de hojas y el índice SAVI.

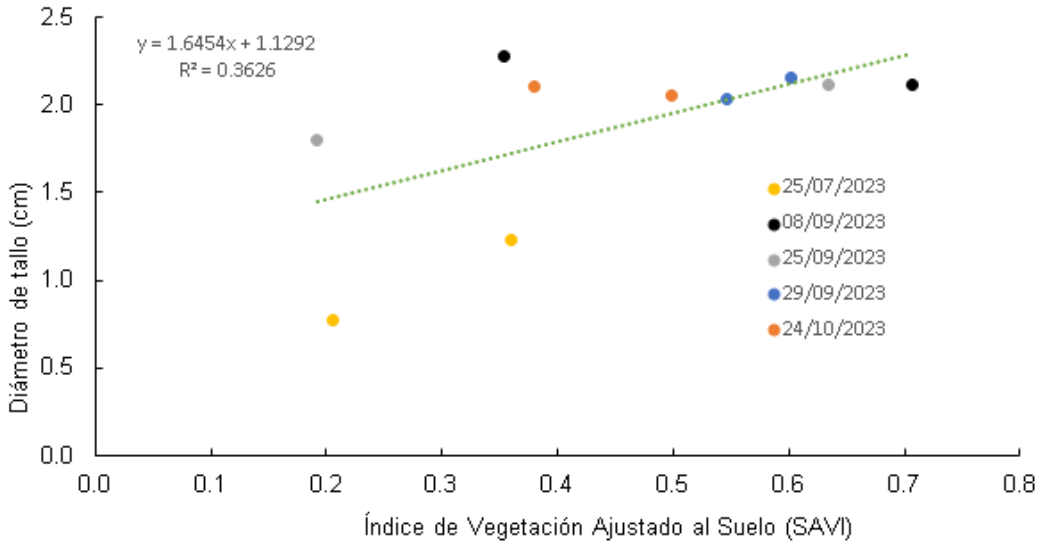


Figura 2. Relación lineal entre el diámetro de tallo y los valores mínimos y máximos del índice SAVI.

En la Figura 2 se muestra el modelo obtenido para relacionar el índice SAVI con el diámetro de tallo, el cual es el siguiente: DT = 1.6454*SAVI + 1.1292, R^2 = 0.3626. En este caso, nuevamente el coeficiente de determinación indica poca relación entre el DT y el índice SAVI, teniendo un ajusto ligeramente superior al 36 %, por lo que, no es un modelo útil para estimar dicha variable. La Figura 3 muestra la relación entre la altura de la planta y el índice SAVI, evidenciándose en el siguiente modelo de regresión lineal: AP = 2.8698*SAVI + 0.1984, R^2 = 0.471. Este modelo es el que presenta un mayor ajuste (47 %), de los tres modelos generados en este estudio, sin embargo, continúa siendo bajo para considerarlo adecuado para la estimación de la AP a partir del índice SAVI. Se recomienda ampliar este tipo de estudios, ya que es importante obtener mayor información y mejorar los modelos de predicción obtenidos en este trabajo.

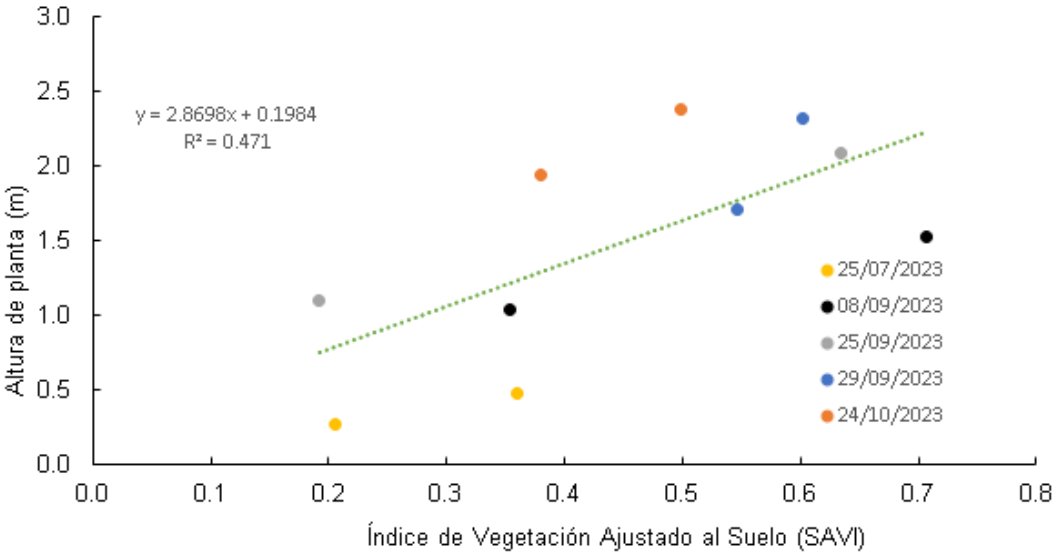


Figura 3. Relación lineal entre el número de hojas y los valores mínimos y máximos del índice SAVI.

Conclusiones

La teledetección, a partir de índices de vegetación, es una herramienta útil para monitorear en tiempo casi real a los cultivos; sin embargo, aún se requiere mayor trabajo para calibrar los métodos. En este trabajo se concluyó que los coeficientes de determinación de los modelos generales fueron bajos, R^2= 0.454 para número de hojas, R^2= 0.41 para altura de planta y R^2= 0.362 para diámetro de tallo, es decir en menos del 50% de los casos se acertaría en la predicción de alguna de estas tres variables morfológicas mediante el uso SAVI, empleando estos modelos, en cultivo de maíz forrajero bajo riego por goteo, en la región de la Comarca Lagunera.

Referencias

Velasco Macias, S., Tadeo Robledo, M., Espinosa Calderón, A., Zaragoza Esparza, J., Canales Islas, E. y Coutiño Estrada, B. (2022). Rendimiento de grano, forraje y calidad forrajera de nuevos híbridos de maíz de Valles Altos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 13(1), 77-86.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (22 de marzo de 2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, cierre de la producción agrícola. SIAP. nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES FENOLÓGICAS DEL MAÍZ FORRAJERO Y DE LA HUMEDAD DEL SUELO A DIFERENTES NIVELES DEL ÍNDICE SAVI

Nuria Aide López-Hernández[1], Eva Aurora Bautista-Calderón[1*], Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[1], Osvaldo Galván-Cano[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. [2]Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Hidrociencias. Carr.México-Texcoco, Km. 36.5 Montecillo, Texcoco, México, 56264 *Autor para correspondencia: bautista.eva@inifap.gob.mx

Introducción

El maíz es el cultivo más importante de México, además de alimento la planta es también un excelente forraje para el ganado, especialmente para las vacas lecheras y los animales de tiro. El maíz forrajero se aprovecha como alimento ganadero en varias etapas del crecimiento de la planta, principalmente a partir del momento en que aparece la panoja. Los principales estados productores de maíz forrajero son: Jalisco con más de cinco millones de toneladas, Durango con más de un millón 942 mil toneladas y Zacatecas con más de un millón 721 mil toneladas. En la Comarca Lagunera (región de Durango y Coahuila) el maíz forrajero es la base de la alimentación de ganado lechero (SADER, 2020). SAVI es un índice de vegetación que representa el vigor y la estructura del dosel de las plantas, aspectos que cambian con la edad del cultivo y el grado de desarrollo vegetal obtenido, además, el parámetro crítico para un desarrollo adecuado es la humedad de agua en el suelo, que a su vez está ligada a otros factores como temperatura, precipitación, propiedades del suelo, entre otros. La fenología de la vegetación se define como el desarrollo, la diferenciación y la iniciación de los órganos vegetales. La obtención precisa de información sobre la fenología de los cultivos es fundamental para evaluar su adaptación al cambio climático, modelar el intercambio de carbono en los ecosistemas agrícolas y predecir la producción agrícola futura (Yang et al., 2021). Hace falta profundizar en el estudio de la relación que existe entre las variables fenológicas y la humedad del suelo, como indicadores de la salud y vigorosidad de los cultivos. El objetivo de este estudio fue analizar si existe correlación entre variables fenológicas del maíz forrajero y la humedad del suelo bajo dos niveles de vigorosidad de las plantas indicados mediante el índice de vegetación SAVI.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un predio agrícola ubicado en Francisco I. Madero, Coahuila, México, entre las coordenadas 25°37'57" latitud N y 103°20'30" longitud O, a una altitud de 1,118 msnm. La toma de datos se llevó a cabo del 01 de agosto al 24 de octubre de 2023, correspondiendo al ciclo agrícola de verano. El maíz cultivado fue maíz forrajero amarillo, de ciclo precoz (Híbrido N83N5®, Syngenta México, Suiza). El diseño de siembra fue de 8 plantas por metro lineal y 75 cm entre hileras. El sistema de riego fue por goteo subterráneo mediante cintilla (TORO®, The Toro Company, USA), calibre 8000, diámetro interno de 16 mm (7/8”), gasto de 0.5 L h^{-1} a 15 PSI, con goteros a cada 10 cm, enterrada a 30 cm de profundidad.

Para seleccionar los puntos de muestreo se descargaron imágenes del satélite Sentinel-2, el cual cuenta con una resolución espacial de 10 m x 10 m por pixel, y se pueden obtener imágenes gratuitas cada 5 días desde el sitio web oficial del programa Copernicus de la Unión Europea (https://browser.dataspace.copernicus.eu/).

Las imágenes que se emplearon corresponden al nivel 2A, las cuales son de alta calidad y excluyen los efectos de la atmósfera sobre la luz que se refleja en la superficie terrestre y llega al sensor. Las imágenes utilizadas fueron aquellas que presentaban un porcentaje de nubosidad menor al 30 %, y corresponden a las siguientes fechas: 25 de agosto, 08, 25 y 29 de septiembre, y 24 de octubre de 2023. Para calcular el índice SAVI, se utilizó el software libre QGIS versión 3.32.2 Lima para aplicar la ecuación 1.

$$SAVI = \frac{IRC - R}{IRC + R + 0.5} * (1 + 0.5) \quad (1)$$

Donde: IRC es el rango de espectro electromagnético de infrarrojo cercano, R es el rango de espectro electromagnético de rojo.

Una vez procesadas las imágenes para obtener el índice SAVI se seleccionaron tres puntos por imagen donde los valores del índice eran máximos y tres puntos donde eran mínimos. Para evitar tomar áreas con maleza o en su defecto suelo desnudo, se realizó un recorrido en campo antes de la toma de datos para descartar esos puntos, y no considerarlos en el muestreo. En cada punto de muestreo se obtuvo el promedio por m2 del número de hojas por planta (NH), el grosor de tallo (GT) medido con un vernier, la altura de la planta (AP) mediante un estadal, unidades SPAD, NDVI con Greenseeker, materia seca y humedad del suelo hasta 60 cm de profundidad, obtenidos mediante el método gravimétrico.

Los datos se analizaron mediante el coeficiente de correlación de Pearson, con el objetivo de obtener información sobre la fuerza y la dirección de la relación entre las variables y los niveles del índice SAVI, para lo cual se aplicó la ecuación 2.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2 (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

Donde r es el coeficiente de correlación, x el valor de la variable para un punto de datos, $\bar{X}$ la media de la variable “x”, y el valor de otra variable para un punto de datos, y $\bar{Y}$ la media de la variable y”.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 y 2 se muestran los valores del índice SAVI bajo y alto, respectivamente, durante el periodo de muestreo, y se observa que a excepción del muestreo realizado el 29 de septiembre de 2023, en el resto de las fechas si existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores de SAVI máximos y mínimos, lo que indica que las plantas presentan un diferente nivel de vigorosidad, la cual puede deberse al control de malezas, plagas o enfermedades y al manejo del riego, principalmente, es decir, el índice de vegetación SAVI, puede ser una herramienta para detectar áreas donde el cultivo se encuentre bajo algún tipo de estrés tanto biótico como abiótico.

También se observa que el índice SAVI en puntos máximos (SAVI alto) mantiene una diferencia importante frente al índice SAVI en puntos mínimos (SAVI bajo) hasta la mitad del desarrollo del cultivo (las tres primeras fechas), abarcando el estado vegetativo tardío. Es importante mencionar que el valor de la humedad del suelo (%) en cada una de las tres repeticiones para los dos niveles SAVI fue obtenido con el promedio de la medición de humedad a 0-30 cm y 30-60 cm de profundidad.

Tabla 1. Promedios de los valores del índice SAVI bajo y las variables respuesta.

Fecha	SAVI	Número de hojas/planta	Diámetro de tallo (cm)	Altura de planta (m)	Unidades SPAD	NDVI Greenseeker	Materia seca (%)	Humedad del suelo (%)
25-08-2023	0.20574	8	0.77	0.27	38.84	0.34	14.47	22.3
09-09-2023	0.35314	10	2.28	1.04	40.44	0.66	11.81	23.3
24-09-2023	0.19211	11	1.80	1.10	24.53	0.54	14.67	22.2
29-09-2023	0.54713	15	2.03	1.70	32.49	0.66	17.97	27.8
24-10-2023	0.37997	14	2.11	1.94	31.84	0.42	27.20	24.9

Tabla 2. Promedios de los valores del índice SAVI alto y las variables respuesta.

Fecha	SAVI	Número de hojas/planta	Diámetro de tallo (cm)	Altura de planta (m)	Unidades SPAD	NDVI Greenseeker	Materia seca (%)	Humedad del suelo (%)
25-08-2023	0.35943	9	1.23	0.48	44.41	0.60	18.66	25.3
09-09-2023	0.70663	12	2.12	1.53	50.38	0.81	14.32	26.2
24-09-2023	0.63367	15	2.12	2.09	44.45	0.77	18.84	29.6
29-09-2023	0.60179	16	2.16	2.32	50.84	0.77	24.70	30.3
24-10-2023	0.49837	14	2.06	2.38	42.93	0.60	29.65	27.9

En la Figura1 se presenta las correlaciones entre las variables tomadas en los puntos de muestreo con SAVI alto y las correlaciones entre las variables tomadas en los puntos de muestreo con SAVI bajo. El valor de r = 0.847 indica que la correlación que existe entre SAVI y el contenido de humedad en el suelo (%) fue fuerte, sin embargo, su fuerza se debilitó conforme el nivel de SAVI aumenta, lo cual se muestra con el r = 0.427 en SAVI alto, mientras para SAVI bajo es 0.965.

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN A

	SAVI alto	No. Hojas	Diámetro	Altura	SPAD	GreenSeeker	Mat seca	Humedad
SAVI alto	x	0.599	0.858 ✸	0.544	0.618	0.919 ✸	-0.325	0.427
No. Hojas		x	0.889	0.965	0.244	0.440	0.483	0.934 ✚
Diámetro			x	0.894	0.398	0.648	0.203	0.696
Altura				x	0.110	0.295	0.596	0.831 ✚
SPAD					x	0.767 ▲	-0.355	0.174
GreenSeeker						x	-0.544	0.378
Mat seca							x	0.447
Humedad								x

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN B

	SAVI bajo	No. Hojas	Diámetro	Altura	SPAD	GreenSeeker	Mat seca	Humedad
SAVI bajo	x	0.808 ✸	0.587	0.718	0.116	0.574	0.353	0.965 ✸
No. Hojas		x	0.661	0.967 ▲	-0.402	0.348	0.718	0.862 ✚
Diámetro			x	0.785 ▲	-0.193	0.738	0.243	0.465
Altura				x	-0.418	0.364	0.731	0.734
SPAD					x	-0.026	-0.307	-0.062
GreenSeeker						x	-0.362	0.455
Mat seca							x	0.443
Humedad								x

Figura 1. Coeficientes de correlación entre los niveles de SAVI- variables respuesta.

Nota. El icono ***** señala las correlaciones fuertes (r >0.75) entre el tratamiento SAVI y variables respuesta, ▲indica correlaciones fuertes en las relaciones secundarias que involucra humedad con el resto de las variables respuesta. Por último, ┼ señala los r >0.75 en relaciones terciarias que involucran relaciones entre las variables morfológicas y fisiológicas. Coeficientes de correlación A: son los efectuados con el nivel alto del tratamiento SAVI, coeficientes de correlación B: son los efectuados con el nivel bajo del tratamiento SAVI.

Conclusiones

En este trabajo el índice SAVI representó el vigor y estructura del dosel del cultivo de maíz forrajero, permitiendo identificar diferencias significativas en las variables fenológicas de las plantas y del contenido de humedad del suelo, entre los valores máximos y mínimos del índice. Se encontró que hay una fuerte correlación entre el índice SAVI alto y el diámetro de tallo y el NDVI obtenido con Greenseeker. También hay una fuerte correlación entre el índice SAVI bajo y el número de hojas por planta y el contenido de humedad del suelo.

Referencias

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2020. Maíz forrajero, también es maíz https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-forrajero-tambien-es-maiz

Yang, Y.; Tao, B.; Liang, L.; Huang, Y.; Matocha, C.; Lee, C.D.; Sama, M.; Masri, B.E.; Ren, W. Detecting Recent Crop Phenology Dynamics in Corn and Soybean Cropping Systems of Kentucky. Remote Sens. 2021, 13, 1615. https://doi.org/10.3390/rs13091615

SENSORES REMOTOS PARA LA EVALUACIÓN DEL USO DEL AGUA EN CULTIVOS

Mariana de J. Marcial-Pablo[1*], Sergio Iván Jiménez- Jiménez[1], Marco Antonio Inzunza-Ibarra[1], Ignacio Sánchez-Cohen[1], Ernesto Sifuentes-Ibarra[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Km. 6.5 Canal Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango, México. [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Fuerte. Juan Jose Rios, Sinaloa, México. * Autor de correspondencia: marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx

Introducción

El estrés hídrico de los cultivos y la sequía son factores clave que reducen la producción de alimentos, especialmente en regiones áridas y semiáridas (Verschuur et al., 2021). Aproximadamente el 70 % del agua dulce mundial se destina a la agricultura (Gheewala et al., 2014). La productividad hídrica de los cultivos (PAC) es un indicador que describe la relación entre los recursos hídricos y los alimentos, por lo tanto, mejorar la productividad y equilibrar los recursos hídricos y la producción de alimentos es crucial para la seguridad alimentaria.

Comúnmente, la productividad hídrica se evalúa a nivel de parcela o campo, o se determina a partir de estadísticas secundarias de cultivos y datos de suministro o uso de agua, pero el uso real del agua (evapotranspiración) puede ser desconocido (Bastiaanssen et al., 1999). Se debe de realizar un análisis de los niveles de PAC considerando diferentes sistemas agrícolas y las observaciones completas de una temporada del cultivo para comprender los problemas que conllevan a una baja productividad. Dado que los agricultores tienen diferentes prácticas, la productividad puede variar considerablemente en los distintos sistemas; los distintos resultados de los agricultores en un sistema pueden ser el primer signo de diferentes prácticas de gestión del agua.

Los sensores remotos ofrecen la posibilidad de una mayor superficie y un mayor detalle espacial en el mapeo de la productividad hídrica, mediante el uso de técnicas emergentes para modelar el crecimiento de los cultivos y el uso del agua, mediante cobertura sinóptica en grandes áreas a intervalos regulares. Actualmente, los datos de sensores remotos son recopilados principalmente por satélites, drones y aviones, además de estar disponibles en múltiples resoluciones espaciales, radiométricas y espaciales.

El objetivo de esta investigación presentar una metodología que utilice los sensores remotos y los datos de reanálisis para estimar evapotranspiración real o actual y la productividad del agua en este caso en el cultivo de maíz forrajero.

Materiales y métodos

Sitio de estudio. El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano en el Racho ubicado en el ejido San Juan de Ulúa, en el Municipio de Francisco I. Madero, Coahuila (Figura 1). El maíz de la variedad 31Y43 para forraje se sembró el 06 de marzo en un área de 12.0 hectáreas y se cosechó el 28 de junio. El sitio cuenta con un suelo de textura franco, con una densidad aparente de 1.18 g/cm^3 y con un pH de 8.61.

El maíz forrajero es de los principales cultivos en la Comarca Lagunera por su importancia en la alimentación animal de los productores de leche, en el año agrícola 2023 en el ciclo primavera – verano se sembraron alrededor de 12,585 ha.

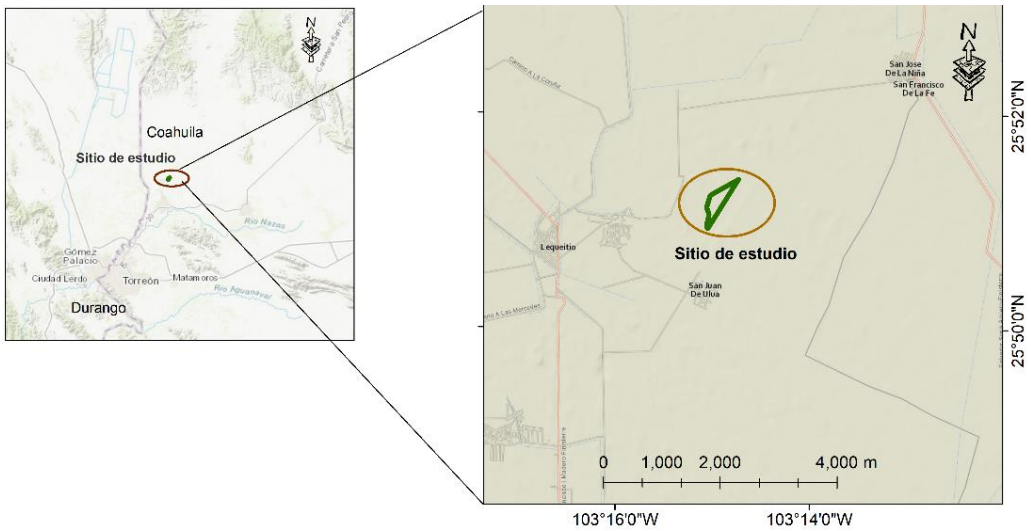


Figura 1. Mapa de ubicación del sitio de estudio.

Evapotranspiración real (ETa) del cultivo. La ETa observada se determinó mediante el modelo AquaCrop propuesto por la FAO en 2009 (Raes et al., 2009), considerando los datos climáticos, del cultivo, del suelo y del manejo agronómico realizados en el sitio. Se llevó a cabo el balance hídrico diario en el AquaCrop, el cual separa la evapotranspiración en componentes de evaporación y transpiración.

$$ETr = Ec + Tr \quad (1)$$

$$Ec = Kr \times Ke \times ETo \quad (2)$$

$$Tr = Ks \times Kc_{Tr} \times ETo \quad (3)$$

Donde: Kr es el coeficiente de reducción de la evaporación, que fluctúa entre 0 y 1; Ke es el coeficiente de evaporación del suelo, que es proporcional a la fracción de la superficie del suelo no cubierta por el dosel, con un valor 0 cuando un campo está completamente cubierto por el dosel y 1 cuando no hay cobertura del dosel en absoluto; Ks es el coeficiente de estrés hídrico del suelo, que es igual a 1 cuando el suelo está en capacidad de campo y 0 en el punto de marchitez permanente; Kc_{Tr} es el coeficiente de transpiración del cultivo y ETo es la evapotranspiración de referencia.

La ETa estimada se obtuvo utilizando el modelo de balance de energía SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) a partir de imágenes satelitales landsat 8 y 9 y datos meteorológicos, utilizando el balance energético superficial (Bastiaanssen et al., 1998).

$$\lambda\, ETa = Rn - G - H \quad (4)$$

Donde Rn es la radiación neta (W/m²), G es el flujo de calor del suelo (W/m²) y H es el flujo de calor sensible (W/m²).

El GeeSEBAL es una versión del algoritmo SEBAL implementada en Google Earth Engine (GEE) por Laipelt et al. (2021). Para realizar el análisis y obtener la ETa a partir de sensores remotos, se adaptó el código GEESEBAL en Google Earth Engine, incorporando datos de reanálisis recomendados por Jiménez-Jiménez et al. (2025) para la zona de estudio. La metodología se aplicó a las imágenes satelitales distribuidas a lo largo del ciclo del cultivo (<30% de nubosidad), después se realizó una interpolación lineal entre fechas utilizando como referencia la ETo diaria descargada de EVAPOGEE (http://etocalculator.com/).

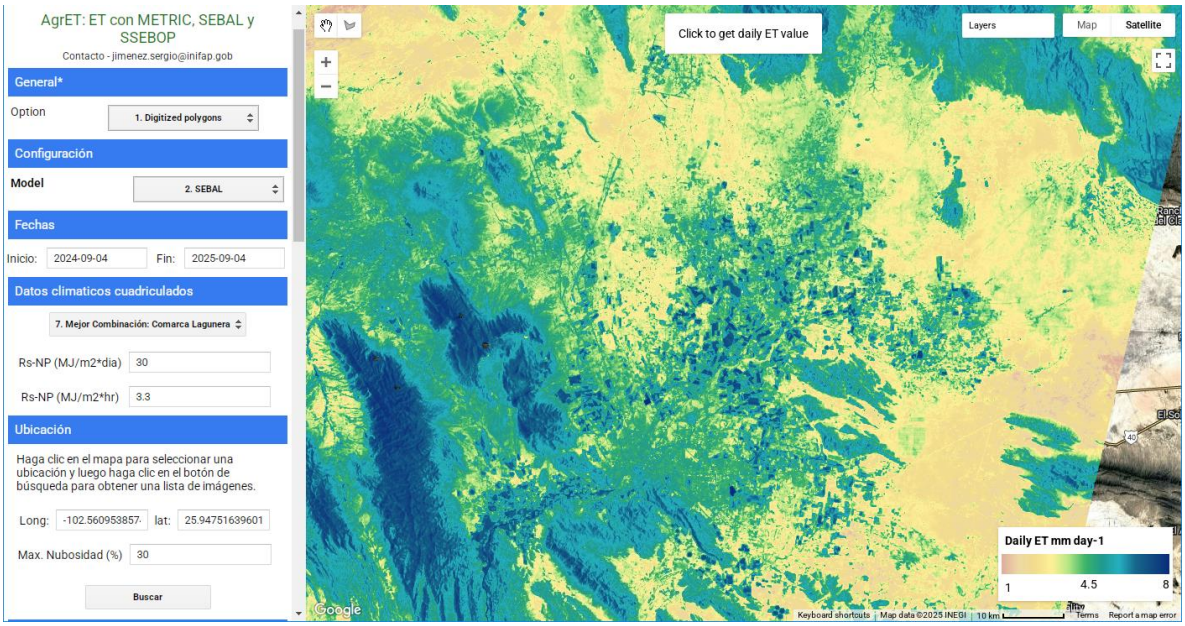


Figura 2. Vista principal de AgrET para la descarga automática de valores de Evapotranspiración real (ETa).

Productividad hídrica del cultivo. La productividad es la relación entre una unidad de producto y una unidad de insumo. En este contexto, el término productividad hídrica se utiliza exclusivamente para denotar la cantidad o el valor del producto sobre el volumen o el valor del agua agotada o desviada. Es el indicador final del uso eficiente del agua en la agricultura:

$$\text{PAC}\ (kg/m^3) = \frac{\text{R}\ (\text{kg/ha})}{10 \times \sum \text{ET}\ \ (\text{mm})} \tag{5}$$

Donde R es el rendimiento real del cultivo y ∑ET representa la evapotranspiración real acumulada del cultivo durante todo el periodo de crecimiento. En las últimas décadas, la PAC se ha utilizado cada vez más como indicador para evaluar el rendimiento agrícola.

La mejora de la productividad del agua debe ir de la mano con la mejora de la productividad del suelo(rendimiento), ya que este es un objetivo clave para los agricultores. La mejora de la productividad del agua se puede lograr influyendo en los dos factores de la ecuación, mediante el aumento del rendimiento y/o la reducción de la ET.

Para evaluar el desempeño de los datos observados y los obtenidos con sensores remotos de la ET, se emplearon métricas estadísticas; el análisis incluyó el coefiente de determinación (R^2), el error absoluto medio (MAE) y la raíz del cuadrado medio del error (RMSE). El R^2 describe el grado de colinealidad que existe entre datos simulados y observados, e indica, en el gráfico de dispersión, qué tan bien se ajustan a la línea 1:1.

Resultados y discusión

Evapotranspiración real con sensores remotos y productividad. En la Figura 3 se muestran los valores de la ET diaria observada y estimada a partir de sensores remotos durante todo el ciclo del cultivo. Las diferencias más notorias entre la ET observada y estimada se presentan al inicio del desarrollo del cultivo, alcanzando valores mayores a 3.0 mm. Posteriormente estas diferencias se reducen progresivamente, llegando a ser inferiores a 1.0 mm.

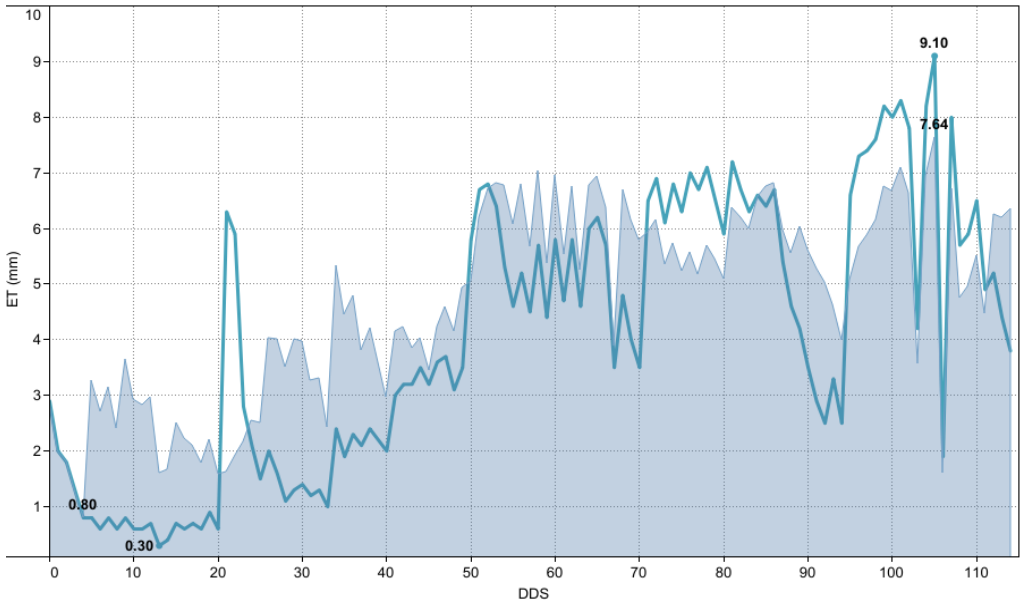


Figura 3. Datos observados (línea azul) y estimados (área sombreada en azul) de la evapotranspiración real diaria.

El valor de la ET máxima observada en un día fue de 9.10 mm con respecto al estimado de 7.64.mm, sin embargo, la ET acumulada observada durante el ciclo del cultivo es menor que la estimada, donde la ET observada fue de 468 mm mientras que la estimada fue de 535 mm. En este caso existe una sobrestimación de la ET acumulada con sensores remotos con una diferencia de 67 mm y un porcentaje de error promedio de 14.4%. La sobrestimación de la ET es frecuente en diversos estudios donde se usan modelos de balance de energía (Bispo et al., 2022).

Comparando los valores observados y estimados de la ET diaria, se obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.74, lo que indica una fuerte correlación entre los valores. El RMSE fue de 1.46 mm/día y el MAE de 1.27 mm/día, siendo relativamente bajo y señalando una buena precisión en las estimaciones de acuerdo al manual de la determinación de la evapotranspiración por sensores remotos de la FAO. El rendimiento del cultivo fue de 14.9 ton/ha de materia seca, para el sitio analizado. Usando los valores de ET observada con modelo AquaCrop se obtuvo una PAC de 3.19 kg/m³, mientras que la PAC estimada con sensores remotos fue de 2.79 kg/m³ de con una diferencia de 0.40 kg/m^3 y un porcentaje de error de 12.6%.

Conclusiones

La investigación demostró que los métodos presentados son necesarios para evaluar el uso de agua en el cultivo a escala de campo, específicamente para conocer la evapotranspiración real diaria y la acumulada durante su ciclo de desarrollo del cultivo mediante datos obtenidos de sensores remotos con balance de energía, además que nos permite conocer el volumen de agua utilizada para la producción, es decir la PAC.

La PAC no se estima directamente, sino que se calcula mediante la relación de la ET y rendimiento, por lo tanto, la estimación precisa de la ET es fundamental. En este caso ET se obtuvo utilizando GEESEBAL incorporando los datos de reanálisis de mejor ajuste en el sitio de estudio, obtenido valores de error y correlación aceptables.

Agradecimiento

Este trabajo se financio con el proyecto CONACYT ahora SECIHTI: "*Huella Hídrica de cultivos usando Sensores Remotos y datos de reanálisis, una aproximación a escala parcelaria"*.

Referencias

Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, *212*, 198-212.

Bastiaanssen, W. G., Thiruvengadachari, S., Sakthivadivel, R., & Molden, D. J. (1999). Satellite remote sensing for estimating productivities of land and water. *International Journal of Water Resources Development*, *15*(1-2), 181-194.

Bispo, R. C., Hernandez, F. B. T., Gonçalves, I. Z., Neale, C. M. U., & Teixeira, A. H. C. (2022). Remote sensing based evapotranspiration modeling for sugarcane in Brazil using a hybrid approach. *Agricultural Water Management*, *271*, 107763.

Gheewala, S. H., Silalertruksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S. R., & Chaiyawannakarn, N. (2014). Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. *Water*, *6*(6), 1698-1718.

Jiménez-Jiménez, S. I., de Jesús Marcial-Pablo, M., Sánchez-Cohen, I., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Ibarra, M. A., & Urrieta-Velazquez, J. A. (2025). Estimating Reference Evapotranspiration Using Reanalysis Data from the Google Earth Engine: A Case Study From an Arid Hydrological Region in Mexico. *Irrigation and Drainage*.

Laipelt, L., Kayser, R. H. B., Fleischmann, A. S., Ruhoff, A., Bastiaanssen, W., Erickson, T. A., & Melton, F. (2021). Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *178*, 81-96.

Verschuur, J., Li, S., Wolski, P., & Otto, F. E. (2021). Climate change as a driver of food insecurity in the 2007 Lesotho-South Africa drought. *Scientific reports*, *11*(1), 3852.

Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural water management, 69(2), 115-133.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ARSÉNICO EN AGUA SUBTERRÁNEA Y EVALUACIÓN DE SU APTITUD PARA CONSUMO HUMANO EN LA COMARCA LAGUNERA

Diana Fernanda Bravo-García[1], Ignacio Sánchez-Cohen[2*], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Erika Nava-Reyna E.[2], RicardoTrejo-Calzada[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Km. 40 Carr. Gómez Palacio – Chihuahua. C.P. 35230, Bermejillo, Durango. México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. México. *Autor para correspondencia: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

Introducción

En México la contaminación de los acuíferos es dado por causas naturales como actividades humanas. Sin embargo, en años recientes esta situación se ha intensificado debido al crecimiento de las actividades mineras y metalúrgicas, las cuales han contribuido a la acumulación progresiva de metales pesados en el agua subterránea (Lindig-Cisneros, et al., 2021). Una de las zonas más afectadas por esta problemática es la Comarca Lagunera, donde múltiples factores han propiciado la presencia elevada de estos elementos tóxicos en los acuíferos. La elevada concentración de arsénico en la región se debe a la actividad minera y metalúrgica, cuyas emisiones y residuos han impactado de manera persistente el subsuelo (Octavio-Aguilar & Olmos-Palma, 2022). Aunado esto, la sobreexplotación del recurso hídrico, a través de la perforación de pozos profundos, y la elevada demanda de agua para riego agrícola ha provocado una disminución en los niveles freáticos. Esta condición favorece la liberación de metales como el arsénico desde los minerales hospedantes hacia el agua subterránea, dando lugar a concentraciones que frecuentemente exceden los límites máximos permisibles establecidos para el consumo humano (Valenzuela-Noriega, 2021).

Diversos estudios han documentado concentraciones de arsénico por encima de los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-2021 (0.025 mg L^{-1}) y del límite recomendado por la OMS (0.010 mg L^{-1}), lo cual representa un riesgo significativo para la salud de las poblaciones expuestas (Cantú et al., 2025). Ante este panorama, resulta fundamental generar conocimiento actualizado sobre la distribución espacial del arsénico y su relación con los criterios de calidad del agua subterránea en la Comarca Lagunera mediante el uso de técnicas de análisis del agua para consumo humano. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la distribución geoespacial e interpolación, con el fin de identificar áreas de riesgo sanitario y aportar información relevante para la toma de decisiones en salud ambiental y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló en la Comarca Lagunera, una región ubicada en el norte de México, comprendida entre los 24° 22' N y 26° 23' N, y los 102° 22' W y 104° 47' W, que concentra 16 municipios entre los estados de Coahuila de Zaragoza y Durango (Ortiz-Rodríguez, et al., 2024) Para el estado de Coahuila se incluyen los municipios de Viesca, Torreón, Francisco I. Madero, San Pedro y Matamoros. Mientras que en el estado de Durango se contemplan San Juan de Guadalupe, Cuencamé, General Simón Bolívar, Mapimí, Gómez Palacio, Nazas, Lerdo, Tlahualilo, San Pedro del Gallo, Rodeo y San Luis del Cordero. Esta región se distingue por su clima árido, caracterizado por altas temperaturas, escasa precipitación y una elevada tasa de evapotranspiración.

Los datos de concentraciones de arsénico en agua fueron obtenidos de la plataforma de Datos Abiertos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para el periodo 2012–2022. La clasificación de los niveles de contaminación siguió las categorías propuestas por la propia CONAGUA y se comparó con los valores máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, que establece un límite de 0.025 mgL^{-1} para uso y consumo humano (Secretaría de Salud, 2021), así como con el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de 0.010 mg L^{-1} (WHO, 2017).

La calidad del agua se clasificó mediante un sistema de tres categorías, representadas por los siguientes colores:

- Verde (Potable-Excelente): ≤ 0.010 mg L^{-1}, en concordancia con el valor guía de la OMS.
- Amarillo (Apta como Fuente de Abastecimiento de Agua Potable, FAAP): entre 0.010 y 0.025 mg L^{-1}.
- Rojo (No apta como FAAP): > 0.025 mg L^{-1}, superando el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021.

Para el análisis y procesamiento de la información se utilizó el software QGIS para la interpolación espacial mediante IDW (Inverse Distance Weighting), lo que permitió visualizar zonas de mayor acumulación de pozos contaminados. Adicionalmente, el área urbana principal se delimitó para contextualizar la relación entre fuentes de contaminación y asentamientos humanos.

Resultados y discusión

Los niveles de arsénico en el agua subterránea de la Comarca Lagunera presentan una distribución heterogénea. En la zona de análisis se identifican zonas con altos niveles de arsénico, al igual que niveles bajos de este elemento. A partir del análisis realizado en QGIS mediante el método de interpolación IDW, fue posible identificar zonas críticas con altas concentraciones. Estas se encontraron principalmente en los municipios de Gómez Palacio, Lerdo, San Pedro y Viesca. En estas áreas, los valores registrados superan los límites establecidos tanto por la NOM-127-SSA1-2021 (0.025 mgL^{-1}) como por la Organización Mundial de la Salud (0.010 mgL^{-1}), sobrepasando con un contenido de hasta 0.178 mgL^{-1}. Esta situación representa un serio problema debido a que son zonas densamente pobladas.

De acuerdo con la calidad para el consumo humano de los pozos, se encontró que una proporción importante de ellos fue categorizada como “No apta como fuente de abastecimiento de agua potable” (FAAP). Esto corresponde al color rojo en el mapa generado (Figura 1). La mayor proporción de estos pozos se ubican en áreas donde la presión sobre el recurso hídrico es alta, ya sea por uso doméstico o agrícola. Una condición recurrente es que las comunidades no cuentan con otra fuente de abastecimiento de agua, lo que refleja un riesgo sanitario. La mayor incidencia de arsénico se encuentra en acuíferos sobreexplotados, Guevara Collor & Saavedra Vera (2025) y Alcocer Zuñiga, et al. (2024) advierten sobre las consecuencias en la salud pública derivadas de la exposición prolongada a este elemento.

En contraste, municipios periféricos como Nazas, San Juan de Guadalupe y General Simón Bolívar presentan menores concentraciones de arsénico. Los pozos localizados en estas zonas fueron clasificados dentro de la categoría de “Potable – Excelente” (verde), lo cual indica que aún conservan buena calidad del recurso hídrico subterráneo. Esto podría asociarse a una menor densidad poblacional. Un uso moderado del agua y la menor cercanía a zonas industriales o de actividad minera intensa está visiblemente incidiendo sobre los resultados observados además de representar zonas de recarga o conservación del acuífero que deben protegerse.

Los resultados mostrados representan un riesgo alarmarte para la salud pública, en especial para comunidades sin acceso a tratamiento del agua. La exposición continua al arsénico puede generar afectaciones en el sistema cardiovascular, neurológico y digestivo, así como aumentar el riesgo de ciertos tipos de cáncer, como lo han documentado estudios previos (Cantú et al., 2025).

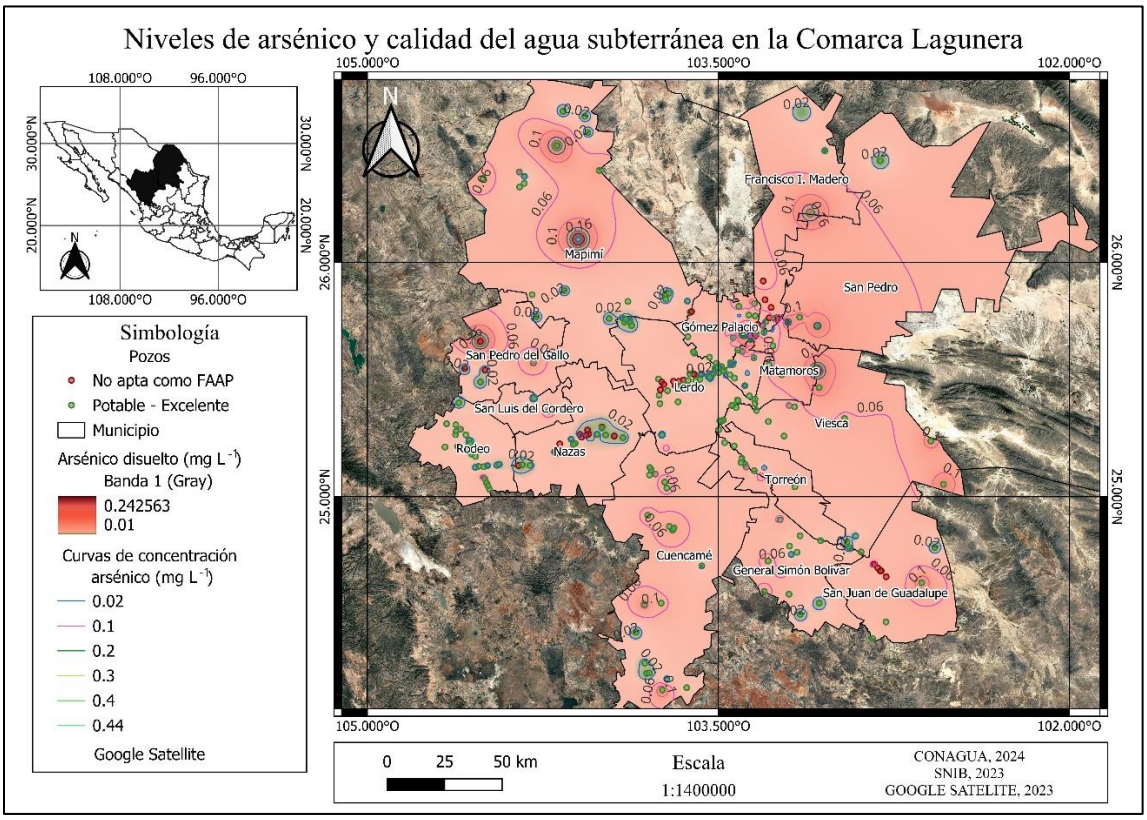


Figura 1. Distribución espacial del arsénico y clasificación de calidad del agua subterránea en la Comarca Lagunera.

Conclusiones

El presente estudio permitió identificar la distribución espacial de los niveles de arsénico en el agua subterránea de la Comarca Lagunera. A través del análisis realizado en QGIS mediante interpolación IDW, se detectaron zonas críticas en los municipios de Gómez Palacio, Lerdo, San Pedro y Viesca, donde las concentraciones de arsénico superaron los límites establecidos por la OMS y NOM-127-SSA1-2021. La clasificación de pozos mostró que una proporción considerable no es apta como fuente de abastecimiento de agua potable (FAAP). Por otro lado, los municipios que mostraron concentraciones bajas son los ubicados en la periferia de los márgenes de evaluación. Este trabajo muestra el valor del análisis geoespacial como una herramienta útil para identificar áreas de riesgo, apoyar la toma de decisiones y orientar acciones de remediación. La información generada puede ser útil como sustento para establecer prioridades de intervención, implementar sistemas de tratamiento del agua y proteger las zonas que aún conservan buena calidad del recurso.

Referencias

Alcocer Zuñiga, J. A., Córdova Alarcón, E. J., & Hernández-Zavala, A. (2024). Arsénico en agua y su impacto en la salud mexicana. *EPISTEMUS, 18*(37), e3701374. https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i37.374

Cantú, L. N. R., Cinco, M. A. M., & Lagunas, J. L. M. (2025). Contaminación de agua por arsénico: Una revisión sistemática. *Janaskakua, 7*(14), 68–80.

Guevara Collori, M. A., & Saavedra Vera, O. J. (2025). Eficiencia de sistemas de ósmosis inversa en remoción de arsénico de agua subterránea en Pacora, Región Lambayeque. *Revista Latinoamericana de Ciencias Ambientales, 7*(14), 68–80. https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i37.374

Lindig-Cisneros, R., Gómez-Orozco, S. Y., & Osuna-Vallejo, V. (2021). Arsénico y mercurio en el paisaje de una zona minera histórica en el oriente de Michoacán, México. *Tecnología y Ciencias del Agua, 12*(6), 480–501. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-08

Octavio-Aguilar, P., & Olmos-Palma, D. A. (2022). Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. *Herreriana, 4*(1), 43–47. https://doi.org/10.29057/h.v4i1.8630

Ortiz Rodríguez, M. O., Magadán Revelo, L., & Jiménez Moreno, M. J. (2024). Comarca Lagunera: Between the socioeconomic characterization and the availability of piped water. *Agro Productividad, 16*(12), 73–80. https://doi.org/10.22004/ag.econ.347777

Secretaría de Salud. (2021, 17 de diciembre). NOM-127-SSA1-2021: Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5613509&fecha=17/12/2021

Valenzuela-Noriega, L. (2021). Arsénico en agua ¿un problema? El caso de la Comarca Lagunera. *Archipiélago. Revista Cultural de Nuestra América, 29*(113).

World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950

ANÁLISIS ESPACIAL DE PLOMO Y DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMARCA LAGUNERA

Diana Fernanda Bravo-García[1], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], RicardoTrejo-Calzada[1], Erika Nava-Reyna[2], Ignacio Sánchez-Cohen[2*]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. C.P. 35230, Bermejillo, Dgo. México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta,Atmósfera. Canal Sacramento km 6.5, CP. 35140, Gómez Palacio, Durango. México. *****Autor para correspondencia: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

Introducción

El agua subterránea es una fuente vital para el uso doméstico y agrícola en regiones áridas y semiáridas como la Comarca Lagunera. Sin embargo, la calidad de este recurso presenta una preocupación por su presencia de elementos tóxicos (Jiménez-González & Macías-Jurado, 2024). La contaminación de los acuíferos en México ha sido atribuida a factores geogénicos, sin embargo, en estudios se ha demostrado que es una consecuencia del crecimiento de las actividades antropológicas, contribuyendo a la acumulación de metales pesados (Mendoza et al. 2025).

La minera y metalúrgica en esta región han afectado los mantos acuíferos. Además, la sobreexplotación del recurso mediante la perforación de pozos profundos ha facilitado la liberación de metales hacia el agua subterránea (Octavio-Aguilar & Olmos-Palma, 2022). Entre los contaminantes tóxicos presentes, el plomo uno de los más preocupantes debido a su toxicidad incluso en concentraciones baja y su capacidad de bioacumulación (Quimí et al., 2025). Diversas normativas internacionales como la Organización Mundial de la Salud y la regulación mexicana establecen límites máximos de plomo en agua para consumo humano y riego agrícola de 0.01 mg L^{-1} (WHO, 2017, Secretaría de Salud, 2021).

El presente trabajo tiene como propósito evaluar la concentración de plomo en pozos de agua subterránea en la Comarca Lagunera, utilizando datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) correspondientes al periodo 2012–2022. Mediante técnicas de interpolación espacial, donde se identificarán las zonas con mayor riesgo por presencia de plomo. A fin de proporcionar información de la distribución espacial que sirva de base para desarrollar estrategias para el vigilancia, gestión y prevención de la salud en la región.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Comarca Lagunera, ubicada en el norte de México comprendida entre las coordenadas 24° 22' N y 26° 23' N, y 102° 22' O y 104° 47' O. La región comprende 16 municipios, distribuidos entre los estados de Coahuila de Zaragoza y Durango (Ortiz-Rodríguez et al., 2024). En el estado de Coahuila se incluyen los municipios de Viesca, Torreón, Francisco I. Madero, San Pedro y Matamoros. Mientras que en Durango abarca los municipios de Gómez Palacio, Cuencamé, General Simón Bolívar, Lerdo, Mapimí, Nazas, Rodeo, San Juan de Guadalupe, San Luis del Cordero, San Pedro del Gallo y Tlahualilo. La región Lagunera se distingue por presentar un clima árido, con temperaturas elevadas durante buena parte del año, baja precipitación y una considerable tasa de evapotranspiración (Ramírez et al., 2025).

Para el análisis de la calidad del agua, se recurrió a los registros disponibles en la plataforma de Datos Abiertos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), correspondientes al periodo comprendido entre 2012 y 2022, enfocándose en las concentraciones de plomo reportadas en pozos subterráneos. Las cuales se evaluaron a partir de los criterios establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, que fija un límite máximo de 0.010 miligramos por litro (mg L^{-1}) para el consumo humano (Secretaría de Salud, 2021, WHO, 2017).

Posteriormente, se utilizó un esquema de clasificación para determinar la potabilidad del agua:

- Verde: Concentraciones de plomo iguales o menores a 0.010 mg L^{-1}.
- Rojo: Valores que superan los 0.010 mg L^{-1}.

Para el análisis de la distribución espacial de los niveles de contaminación, se utilizó el software QGIS, aplicando la técnica de interpolación por distancia inversa (IDW). Con el fin de generar un mapa con las áreas con mayor concentración de plomo en los pozos analizados. Además, se delimitaron las zonas urbanas principales con el objetivo de identificar posibles vínculos entre la contaminación y los asentamientos humanos, facilitando así la interpretación de los riesgos ambientales y de salud pública asociados.

Resultados y discusión

El análisis espacial de la concentración de plomo en agua subterránea mostró zonas que superan el límite máximo permisible establecido por la NOM-127-SSA1-2021 y por la Organización Mundial de la Salud (0.01 mg L^{-1}) para agua de uso doméstico (WHO, 2017, Secretaría de Salud, 2021). A partir de la interpolación espacial mediante el método IDW y el trazado de curvas de isoconcentración, se identificaron áreas críticas de acumulación en los municipios de San Juan de Guadalupe, Nazas, San Luis del Cordero, San Pedro del Gallo y Gómez Palacio. En dichas zonas, se registraron concentraciones de hasta 0.038 mg L^{-1}.

Los pozos ubicados en estas zonas críticas fueron clasificados como “No aptos para consumo humano”, en función de los valores registrados. Estas zonas representan un riesgo sanitario, sobre todo en comunidades rurales donde no existen alternativas de abastecimiento ni sistemas de tratamiento. La intoxicación por plomo afecta múltiples órganos, provocando daño neurológico, anemia, alteraciones hepáticas, renales y reproductivas. Incluso a niveles bajos, puede causar hipertensión y deterioro cognitivo. Su toxicidad es mayor en exposiciones prolongadas o agudas intensas (Donaire-Castaños et al., 2024).

Aguirre et al. (2021) señalaron que, en regiones con acuíferos sobreexplotados con altos niveles de salinidad o condiciones redox variables, se favorece la movilización del plomo desde los minerales hospedantes hacia el agua subterránea. Estos procesos son recurrentes en zonas donde el abatimiento de los niveles freáticos es severo, como ocurre en muchas partes de la Comarca Lagunera, especialmente aquellas con mayor densidad de pozos agrícolas (Valenzuela-Noriega et al., 2021).

En contraste, zonas como Mapimí o General Simón Bolívar presentaron concentraciones por debajo del límite normativo. En estas áreas, clasificadas como “Potable – Excelente”, se observa una menor presión sobre el acuífero, posiblemente debido a su baja densidad poblacional y escasa industrialización. También podría deberse a que estas zonas funcionan como áreas de recarga hídrica, con flujos subterráneos que diluyen o movilizan menos metales pesados.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten identificar con precisión geoespacial las zonas con mayor riesgo por contaminación con plomo en agua subterránea. Esta información resulta valiosa para la planeación de estrategias de remediación, monitoreo y protección del recurso.

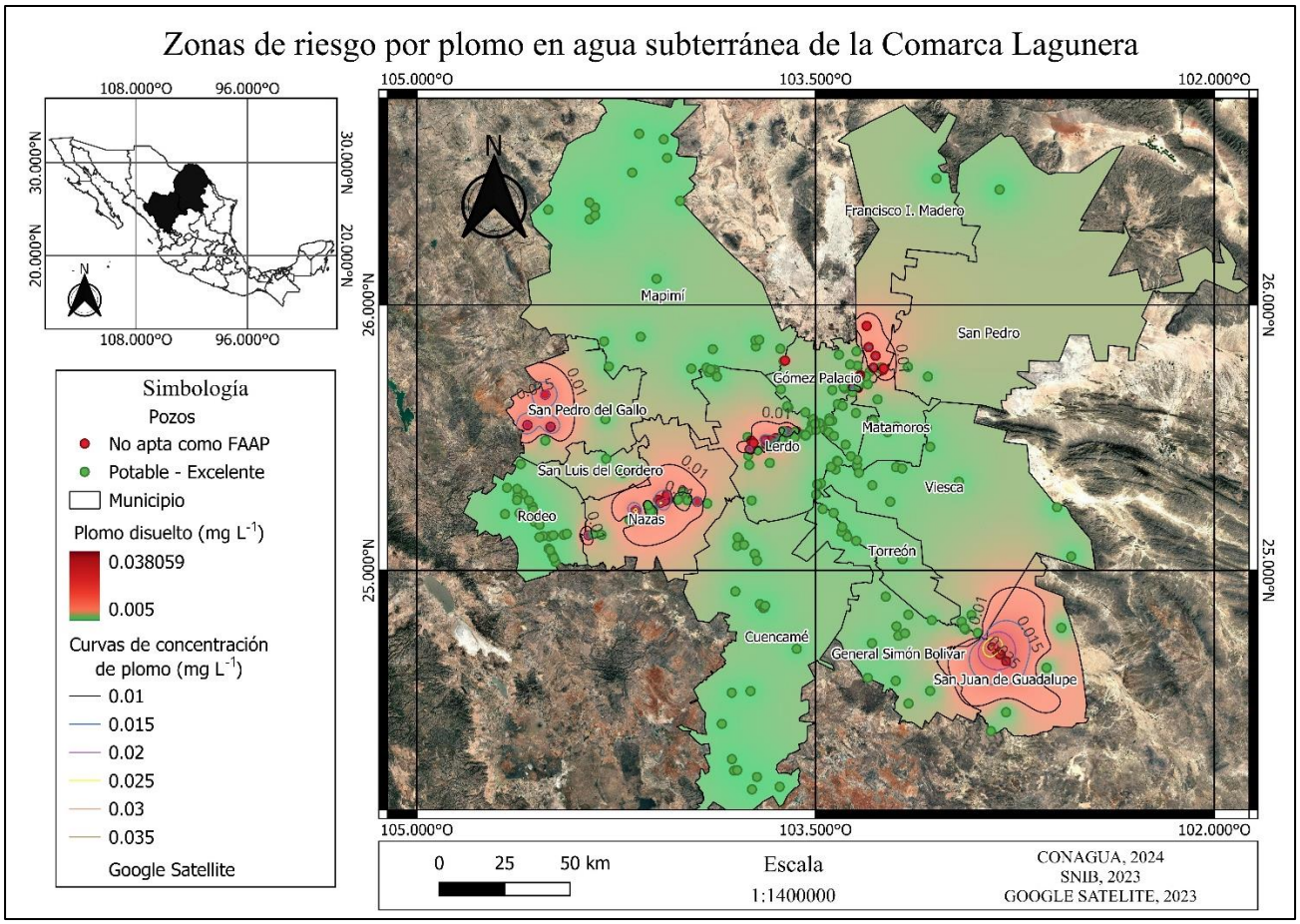


Figura 1. Niveles de plomo en pozos de agua en la Comarca Lagunera.

Conclusiones

El presente estudio permitió identificar zonas con niveles de plomo en agua subterránea que rebasan los límites establecidos para el consumo humano en la Comarca Lagunera. Estas áreas de riesgo reflejan una problemática ambiental y de salud pública que requiere atención prioritaria, especialmente en comunidades rurales sin acceso a tratamientos de potabilización. La liberación de este metal podría estar asociada a la sobreexplotación de los acuíferos, a las características geoquímicas del subsuelo y a fuentes de origen antrópico. La cartografía generada representa una herramienta útil para la toma de decisiones en materia de monitoreo, manejo del recurso hídrico y protección de la salud de la población expuesta.

Los resultados obtenidos respaldan la utilidad del análisis geoespacial como una herramienta fundamental para la identificación de zonas prioritarias, la orientación de estrategias de monitoreo y la formulación de políticas de remediación y gestión del recurso hídrico. Además, destacan la urgencia de implementar tecnologías de remoción de metales pesados en las comunidades afectadas, así como de proteger aquellas zonas que aún conservan buena calidad del agua subterránea.

Referencias

Aguirre, Sonia Esperanza, Piraneque, Nelson Virgilio, & Linero-Cueto, Jean. (2021). Concentración de metales pesados y calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *24*(1), e1313. Epub April 21, 2021.https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1313

Donaire-Castaños, J. C., Zurita-Etayo, M., & Ordieres-Ortega, L. (2024). *Intoxicación por plomo: Revisión narrativa Galicia Clínica, 85*(1), 17–21. https://doi.org/10.22546/85/1/1252

Jiménez González, G., & Macías Jurado, H. E. (2024). *Informe del estudio hidrosocial del agua de Comarca Lagunera, Coahuila-Durango*. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) & Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C. (ANIDE A.C.).

Mendoza Aguilar, O. A., Bustos Terrones, Y. A., Rangel-Peraza, J. G., & Gabriel Loaiza, J. (2025). Análisis de Calidad del Agua Subterránea de Sinaloa México. *Revista Veritas De Difusão Científica*, *6*(1), 2098–2116. https://doi.org/10.61616/rvdc.v6i1.501

Octavio-Aguilar, P., & Olmos-Palma, D. A. (2022). Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. *Herreriana*, *4*(1), 43-47.

Quimí López, Dennis Ignacio, Pérez Oyarvide, Enma Viviana, & Quimí Castro, Britany Denisse. (2025). Exposición al plomo y cambios en el ácido desoxirribonucleico: Revisión Sistemática. *Revista Eugenio Espejo* , *19*(2), 105-119. https://doi.org/10.37135/ee.04.23.08

Secretaría de Salud. (2021). NOM-127-SSA1-2021: Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación.

WHO (World Health Organization). (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950

PLATAFORMA ITERATIVA PARA ACCESO A INFORMACIÓN CLIMÁTICA EN CUENCAS DE MEXICO

Ignacio Sánchez-Cohen[1*], Sergio Iván Jiménez-Jiménez[1], Gerardo Esquivel-Arriaga[1], Marco Antonio Inzunza-Ibarra[1], Gabriel Díaz-Padilla[2].

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuaria, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuaria, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera, Centro de Investigación Regional Golfo Centro. *Autor para correspondencia: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

Introducción

El acceso oportuno y confiable a información climática es fundamental para la gestión sostenible del agua en las cuencas hidrológicas. En México, la variabilidad climática y los eventos extremos representan desafíos crecientes para la planificación hídrica y la toma de decisiones. En este contexto, se presenta una plataforma iterativa diseñada para facilitar el acceso, análisis y visualización de datos climáticos en cuencas del país. Este tipo de información es requisito indispensable en estudios de impacto (Colín et al., 2024, Velázquez, 2019). La aplicación (APP) ha sido programada en Google Earth Engine. Esta plataforma permite el acceso a bases de datos globales con procesamiento en la “nube” lo que no limita la capacidad de la computadora; el monitoreo es en tiempo cuasi-real lo que lo hace Ideal para seguir cambios climáticos y fenómenos como sequías, lluvias extremas, variabilidad de vegetación, etc., (Gorelick, et al., 2017). La herramienta busca poner a disposición información climática además de ofrecer un análisis preliminar de series de tiempo de variables como precipitación y temperaturas para mejorar la capacidad de respuesta ante riesgos climáticos. Además, la APP ofrece enlaces a fuentes de información como la Comisión Nacional del Agua de donde se podrá acceder a las bases de datos detalladas de las variables de interés (CONAGUA, 2024).

Materiales y métodos

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo general de la aplicación. La APP se diseñó teniendo como fundamento la estructura de la información, principalmente, los servidores computacionales de la Comisión Nacional del Agua. Los análisis hacen uso de colecciones de datos de la variable en cuestión (featureCollection, en Google Earth Engine). Para el presente caso se hizo uso de CHIRPS para precipitación y ERA5 – Land para temperaturas. CHIRPS es un conjunto de datos de precipitación de alta resolución espacial y temporal, desarrollado por el *Climate Hazards Group* de la Universidad de California, Santa Barbara (CHG). Combina datos de satélite (infrarrojo) con información de estaciones meteorológicas terrestres, (CHIRPS, 2025). ERA5 es un reanálisis climático global producido por el *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), (*Hersbach et al., 2020). Proporciona estimaciones coherentes de variables atmosféricas, terrestres y oceánicas, generadas a partir de modelos numéricos y datos observacionales. Dado que el área en las cuencas es considerable, el algoritmo hace uso de la posición geográfica de la estación climática de interés para generar los datos de las variables precipitación y temperatura usando CHIRPS para poder generar las series de tiempo promedio para el área de la cuenca. Sin embargo, al hacer “clic” en una estación climática, se despliega la información actual de esa estación. La información de las estaciones se obtiene con consultas directas a las bases de datos de la CONAGUA. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo general de la aplicación

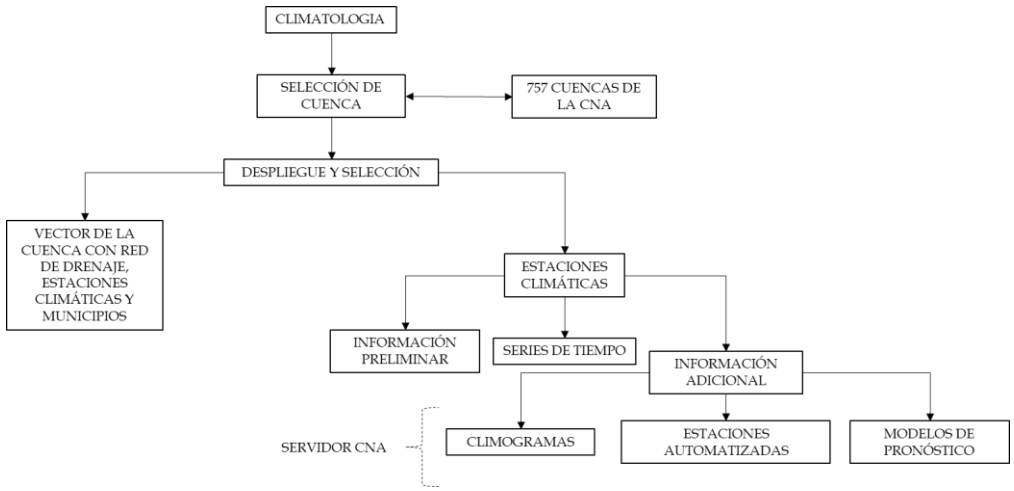


Figura 1. Flujo general de la aplicación computacional para consulta de bases de datos climáticas.

Resultados y discusión

La Figura 2, es un ensamble (resumen) de los resultados de los análisis climáticos realizados a través de las consultas del usuario. La primera imagen (A), muestra el polígono de la cuenca, la red de drenaje, los municipios que comprende y las estaciones climáticas en su geometría (marcadas con puntos amarillos). La imagen "B", son las series de tiempo para temperaturas y precipitación para el rango de fechas especificado por el usuario y muestra una media móvil de 5 años; la imagen "C", muestra las características generales de la estación elegida. La imagen "D", muestra los enlaces a bases de datos de la CONAGUA: datos diarios y mensuales de la estación climática elegida, climogramas de la estación, estaciones climatológicas automatizadas, y modelos de pronóstico numérico. La imagen "E", es una muestra del climograma para la estación elegida.

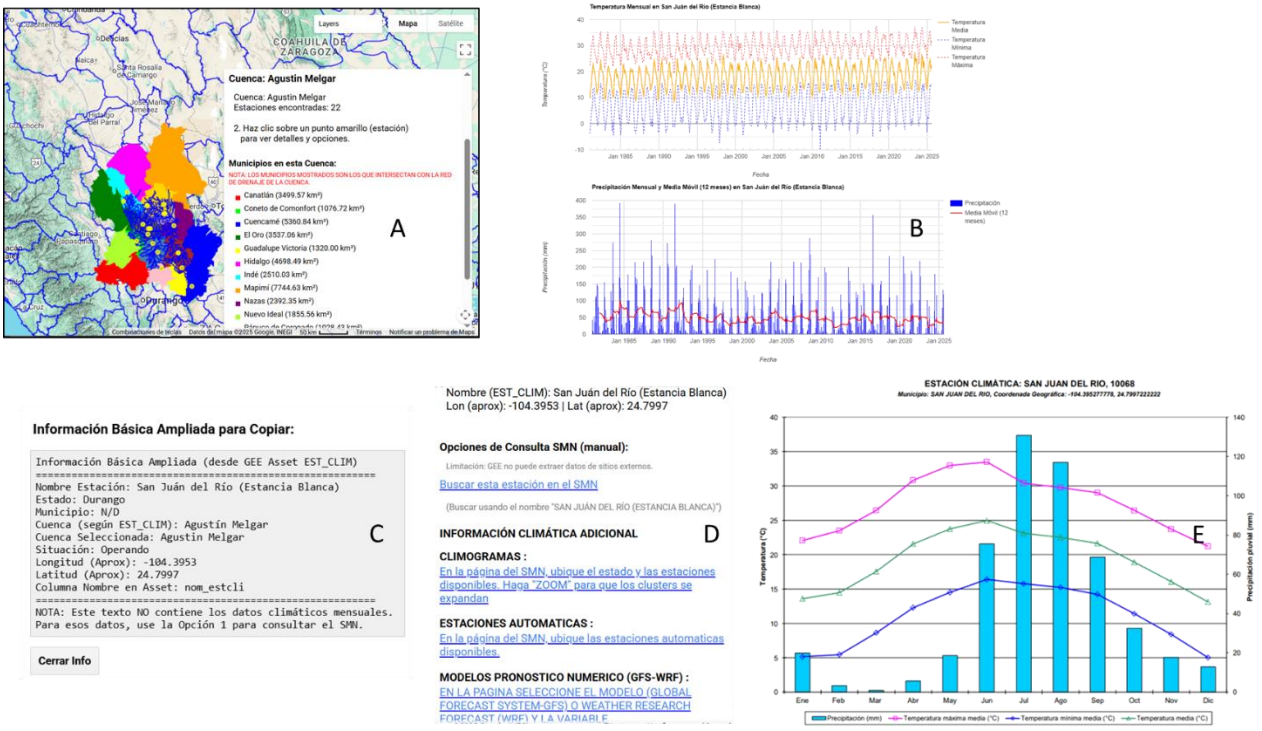


Figura 2. Ensamble de resultados de las consultas realizadas para la cuenca o sub cuenca elegida.

La aplicación computacional presentada facilita el acceso y visualización de bases de datos climáticas para cuencas hidrológicas en México, permitiendo una mejor gestión de los recursos hídricos y apoyando la toma de decisiones en estudios ambientales y de planificación hídrica. Su diseño intuitivo y la integración de datos confiables la convierten en una herramienta útil para investigadores, tomadores de decisiones y organismos gubernamentales. Además, contribuye a mejorar el entendimiento de fenómenos climáticos a escala regional, promoviendo estrategias más eficientes para enfrentar los retos del cambio climático y la variabilidad hidrológica.

Conclusiones

La aplicación presentada ofrece una interface amigable con el usuario. Con solo el uso del mouse de la computadora se puede acceder a información climática para cualquier estación del país. Las series de tiempo, los datos de estaciones automatizadas y los modelos numéricos de consulta, constituyen una plataforma sólida para el acopio de información y posterior análisis. Se considera que la aplicación es una herramienta que facilita la obtención de información climática expedita que de otra manera llevaría tiempo y sujeta a las capacidades de la computadora.

Referencias

Climate Hazards Group. (2025). *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Stations version 3 (CHIRPS3)*. https://doi.org/10.15780/G2JQ0P

Colín García, G., Palacios Vélez, E., López Pérez, A., Bolaños González, M. A., Flores Magdaleno, H., Ascencio Hernández, R., & Canales Islas, E. I. (2024). Evaluation of the impact of climate change on the water balance of the Mixteco River Basin with the SWAT model. *Hydrology, 11*(4), 45. https://doi.org/10.3390/hydrology11040045

CONAGUA. (2024). *Sistema de Información Hidrológica (SIH): Manejo de datos climáticos e hidrológicos de estaciones de la red nacional*. https://www.gob.mx/conagua/articulos/sistema-de-informacion-hidrologica-sih

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment, 202*, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., & Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146*(730), 1999–2049. https://doi.org/10.1002/qj.3803

Velázquez Zapata, J. A. (2019). Comparing meteorological data sets in the evaluation of climate change impact on hydrological indicators: A case study on a Mexican basin. *Water, 11*(10), 2110. https://doi.org/10.3390/w11102110

PRIORIZACIÓN HIDROLÓGICA DE SUBCUENCAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAYO CON ENFOQUE MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Madaí Sánchez-Galindo[1], Gerardo Colín-García[2], Blanca Estela Santiago-Mejía[3], Adolfo López Pérez[4], Demetrio Salvador Fernández Reynoso[4], Ángel Saul Cruz-Ramirez[5], Eva Aurora Bautista-Calderon[6*]

[1]CIRGOC – Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP; [2]CIRPAS - Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP; [3]CIRNE - Campo Experimental Río Bravo, INIFAP; [4]Posgrado en Hidrociencias, COLPOS, [5]CENID - COMED, INIFAP; [6]CENID – RASPA, INIFAP. *Autor para correspondencia: bautista.eva@inifap.gob.mx

Introducción

La Cuenca Alta del Río Mayo (CARM) enfrenta un proceso de degradación que pone en riesgo los recursos naturales de la región y, con ello, la sostenibilidad de los medios de vida de sus habitantes. Este fenómeno es consecuencia de una intensa actividad volcánica, cuyos materiales predominantes, principalmente tobas, presentan una alta susceptibilidad a la erosión. Como resultado, se han formado cañones y valles profundos que han dado lugar a una topografía abrupta y accidentada.

La degradación específica media de la cuenca se estima en 4.47 t ha^{-1}, superior en 1.58 veces la media nacional, lo que evidencia un proceso de deterioro en curso, situación que requiere medidas de conservación (Fernández Reynoso et al., 2018). Para implementar de manera efectiva programas de manejo integral en la cuenca analizada, es necesario identificar las subcuencas que requieren atención prioritaria, especialmente aquellas con alta vulnerabilidad ambiental. En este contexto, el análisis morfométrico resulta fundamental para definir criterios de priorización, promover la conservación del agua y guiar el uso sostenible de los recursos naturales (Shekar & Mathew, 2025).

En las últimas décadas, se han utilizado factores morfométricos y Modelos de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM) que combinan detalles geográficos espaciales y decisiones de valor para proporcionar a los responsables de la toma de decisiones mayor contexto de cierta situación (Assegide et al., 2025; Meshram et al., 2019; Sarkar et al., 2022). Uno de los modelos MCDM mayormente utilizados es el Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en ingles) el cual según De Steiguer et al (2003) es un método que permite evaluar y comparar múltiples alternativas (subcuencas) en función de sus parámetros morfométricos para elegir el mejor plan integrado de gestión hídrica y abordar los problemas de manejo de cuencas hidrográficas.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar la priorización de las subcuencas que integran la CARM mediante el análisis morfométrico y la aplicación del método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), que permita a los tomadores de decisiones identificar las unidades territoriales prioritarias para la gestión eficiente de los recursos naturales y la mitigación de procesos erosivos.

Materiales y métodos

Área de estudio. El presente estudio se llevó a cabo dentro de la CARM, localizada al norte de la República Mexicana entre las coordenadas geográficas 28° 20' 50.34" - 26° 57' 59.67" de Latitud Norte y 109°48' 46.18" - 108° 8' 50.78" de Longitud Oeste, entre los estados de Sonora y Chihuahua.

Delimitación de la cuenca y subcuencas. Se utilizó el modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para delimitar la red hidrográfica y subdividir la cuenca de estudio. La delimitación se realizó a partir de la estación hidrométrica San Bernardo (Clave CONAGUA: 9067), ubicada en las coordenadas 27° 24' 45.99" Latitud Norte y 108° 52' 57.15" Longitud Oeste, empleando un Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución espacial de 15 metros, proporcionado por el portal del INEGI. El MDE fue sometido a un preprocesamiento que incluyó el relleno de depresiones (*fill sinks*) para garantizar la continuidad del flujo. Posteriormente, se calcularon la dirección y acumulación del flujo, se definió el umbral de drenaje, se generó la red hidrográfica y se dividió la cuenca en subcuencas.

Análisis morfométrico. El Cuadro 1 presenta los parámetros morfométricos analizados mediante QGIS, enfocados en características de relieve, forma y red de drenaje, seleccionados por su capacidad para describir las condiciones geomorfológicas y dinámicas de las subcuencas evaluadas (Shekar et al., 2023; Shekar & Mathew, 2025). Estos parámetros son esenciales para comprender el comportamiento hidrológico y la susceptibilidad ambiental de cada unidad hidrográfica debido a que guardan una relación directa con los procesos de erosión del suelo.

Cuadro 1. Fórmulas utilizadas para el cálculo de los parámetros morfométricos.

Parámetro	Unidad	Descripción	Fórmula general
Relación de relieve (Rh) (SCHUMM, 1956)	Adimensional	Diferencia de elevación entre el punto más bajo y alto de la cuenca a lo largo de la dimensión más larga de la cuenca paralela a la línea de drenaje principal.	$R_h = \frac{H}{Lb}$
Densidad de drenaje (D_d) (Horton, 1945)	km/km²	Relación entre la longitud total de cauces y el área de la cuenca	$D_d = \frac{L_t}{A}$
Densidad de corrientes (F_s) (Horton, 1945)	número/km²	Número total de segmentos de cauce por unidad de área	$F_s = \frac{N_u}{A}$
Factor de forma (F_f)	Adimensional	Mide la forma de la cuenca en relación con una forma cuadrada o circular	$F_f = \frac{A}{Lb^2}$
Relación de elongación (R_e) (SCHUMM, 1956)	Adimensional	Indica el grado de elongación de la cuenca respecto a un círculo perfecto	$R_e = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{Lb^2}$
Relación de circularidad (R_c) (Miller, 1953)	Adimensional	Grado en que la forma de la cuenca se aproxima a un círculo	$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$
Relación de bifurcación (R_b) (SCHUMM, 1956)	Adimensional	Relación entre el número de cauces de un orden y el siguiente	$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$
Textura de drenaje (D_t) (Horton, 1945)	km^{-1}	Densidad de líneas de drenaje por perímetro de la cuenca	$D_t = \frac{N_u}{P}$

Nota: H= Relieve de la cuenca, distancia vertical entre el punto más bajo y alto de la cuenca., A = Área de la cuenca, Lt = Longitud total de cauces, L = Longitud máxima de la cuenca, P = Perímetro de la cuenca, N = Número total de cauces, Nu = Número de cauces en un orden específico.

Priorización de subcuencas. Para llevar a cabo la priorización de subcuencas, se aplicó el modelo AHP, una herramienta de decisión multicriterio que identifica el criterio más relevante mediante comparaciones por pares y la asignación de pesos cuantitativos. Inicialmente, se construyó una matriz de comparación por pares en la que se evaluaron los parámetros morfométricos, utilizando la escala de Saaty (Saaty, 1980) (valores del 1 al 9), según su relación directa o indirecta con el caudal máximo, el escurrimiento y el riesgo de erosión del suelo (Cuadro 3).

Los parámetros con mayor influencia recibieron una calificación más alta, y los menos relevantes una menor. Posteriormente, se normalizó la matriz dividiendo cada elemento entre la suma total de su columna, obteniendo así una matriz de comparación por pares normalizada; el peso de cada criterio se calculó promediando los valores normalizados por fila. Finalmente, se realizó la comprobación de consistencia mediante el índice de consistencia (*CR*), siguiendo la relación propuesta por (Saaty, 1980) a partir de la Ecuación 1 y Ecuación 2. Si el valor de *CR* es menor o igual a 0.10 se considera que la matriz *D* es consistente. En caso contrario, se requiere realizar nuevamente hasta aumentar la consistencia a un valor aceptable (Saaty & Vargas, 2012).

$$CR = \frac{CI}{RI} \times 100 \qquad \text{…Ecuación 1} \qquad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \qquad \text{…Ecuación 2}$$

Donde: *CI* es el índice de consistencia (adimensional), λ_{max} es el valor propio principal obtenido de la matriz de importancia (adimensional), *n* es el tamaño de la matriz de comparación (adimensional), *RI* es el índice de consistencia aleatoria (adimensional) y *CR* es la razón de consistencia (adimensional).

Resultados y discusión

La CARM abarca una superficie de 7,631.54 km² y está conformada por 27 subcuencas. Estas presentan una notable variación en su extensión, que va desde los 3.67 km² en la subcuenca más pequeña (Sc_25) hasta los 935.26 km² en la de mayor tamaño (Sc_21). De acuerdo con la clasificación de Strahler, esta cuenca corresponde a un sistema de drenaje de orden 6. Los parámetros morfométricos de cada subcuenca se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados del análisis morfométrico de las subcuencas.

Subcuenca	Área (km²)	R_h	D_d	F_s	F_f	R_e	R_c	R_b	D_t
Sc_1	181.51	1391.00	0.64	0.37	0.25	0.56	0.22	0.83	0.66
Sc_2	274.24	1892.00	0.74	0.46	0.44	0.75	0.18	1.98	0.91
Sc_3	549.26	2008.00	0.70	0.45	0.27	0.59	0.15	2.01	1.13
Sc_4	376.19	1459.00	0.73	0.46	0.55	0.83	0.18	2.01	1.06
Sc_5	158.13	2081.00	0.67	0.47	0.30	0.62	0.20	2.03	0.75
Sc_6	106.13	1198.00	0.72	0.58	0.55	0.84	0.24	2.14	0.83
Sc_7	28.16	817.00	0.79	0.39	0.42	0.73	0.24	2.20	0.28
Sc_8	388.75	1830.00	0.73	0.46	0.36	0.68	0.27	2.02	1.33
Sc_9	257.45	1667.00	0.71	0.54	0.43	0.74	0.26	2.01	1.25
Sc_10	741.78	0.00000	0.61	0.35	0.32	0.64	0.22	1.00	1.29
Sc_11	97.08	1288.00	0.64	0.53	0.75	0.98	0.33	2.04	0.83
Sc_12	51.27	1427.00	0.63	0.55	0.39	0.70	0.30	2.33	0.60
Sc_13	342.37	2086.00	0.68	0.50	0.25	0.56	0.14	2.00	0.98
Sc_14	70.00	1224.00	0.68	0.53	0.38	0.69	0.31	2.06	0.70
Sc_15	209.80	1773.00	0.73	0.54	0.39	0.70	0.29	2.09	1.18
Sc_16	131.23	1642.00	0.59	0.51	0.21	0.52	0.18	0.98	0.53
Sc_17	270.77	1984.00	0.64	0.47	0.29	0.61	0.21	2.00	1.01
Sc_18	323.02	1742.00	0.76	0.44	0.41	0.72	0.18	1.99	0.96
Sc_19	472.15	2025.00	0.70	0.44	0.37	0.68	0.21	2.05	1.23
Sc_20	467.46	2088.00	0.69	0.49	0.38	0.70	0.19	2.00	1.32
Sc_21	935.26	2000.00	0.84	0.46	0.34	0.66	0.22	2.00	1.86
Sc_22	207.00	1675.00	0.75	0.53	0.90	1.07	0.27	2.06	1.11
Sc_23	328.60	1767.00	0.66	0.28	1.07	1.17	0.23	0.99	0.70
Sc_24	179.74	1686.00	0.67	0.35	0.39	0.70	0.28	0.98	0.70
Sc_25	3.67	465.00	0.83	0.82	0.35	0.66	0.28	3.00	0.24
Sc_26	4.60	381.00	0.48	0.65	0.73	0.96	0.30	0.75	0.21
Sc_27	181.51	1118.00	0.72	0.81	0.28	0.64	0.14	1.25	1.45

Entre los resultados obtenidos, la subcuenca Sc_26 destaca por presentar el valor más elevado del factor de forma (1.07), lo cual indica una tendencia a generar caudales pico de menor duración y una posible menor susceptibilidad a procesos erosivos. Esta misma subcuenca, registra la menor relación de textura de drenaje (0.21 km^{-1}), que indica una alta capacidad de infiltración y, en consecuencia, una baja vulnerabilidad a la erosión. El cuadro 3 presenta la matriz de comparación por pares entre los ocho criterios morfométricos considerados. El AHP arrojó un índice de consistencia de 8.50 %, valor inferior al umbral de 10.0 %, lo que indica que la matriz de comparación es consistente y, por tanto, los pesos obtenidos son válidos para la toma de decisiones (Cuadro 4).

Cuadro 3. Matriz de comparación por pares para la priorización del AHP.

	Rh	**Dd**	**Fs**	**Ff**	**Re**	**Rc**	**Rb**	**Dt**
Rh	1	3	3	2	0.33	2	3	3
Dd	0.33	1	3	0.33	0.33	0.33	0.33	0.25
Fs	0.33	0.33	1	0.2	0.2	0.17	0.33	0.2
Ff	0.5	3	5	1	0.5	2	5	2
Re	3	3	5	2	1	2	5	3
Rc	0.5	3	6	0.5	0.5	1	5	3
Rb	0.33	3	3	0.2	0.2	0.2	1	0.5
Dt	0.33	4	5	0.5	0.33	0.33	2	1

Cuadro 4. Pesos ponderados de los parámetros morfométricos mediante el método del AHP.

Rh	**Dd**	**Fs**	**Ff**	**Re**	**Rc**	**Rb**	**Dt**
18.20 %	4.90 %	2.90 %	16.70 %	26.40 %	15.40 %	5.90 %	9.50 %

La priorización de las subcuencas resultantes se categorizó en cuatro clases de prioridad: muy alta, alta, moderada y baja. Posteriormente, se elaboró un marco de priorización final a partir del valor medio de la posición obtenida en cada método y ordenado de forma ascendente, con el propósito de definir de manera más completa y objetiva el nivel de prioridad de cada subcuenca. La distribución espacial de estas clases, basada en el modelo AHP y representada en la Figura 1, identificaron a las subcuencas Sc_20, Sc_13, Sc_5, Sc_19, Sc_3 y Sc_21 como las más vulnerables, con una superficie conjunta de 2,924.63 km^2 (38.32 %).

Estas áreas requieren atención inmediata mediante la implementación de prácticas adecuadas de conservación del suelo y del agua. Asimismo, se determinó que 2,570.6 km^2 (33.68 %) corresponden a subcuencas con alta vulnerabilidad, 882.18 km^2 (11.55 %) presentan vulnerabilidad moderada y 778.21 km^2 (10.19 %) se clasifican como de baja prioridad.

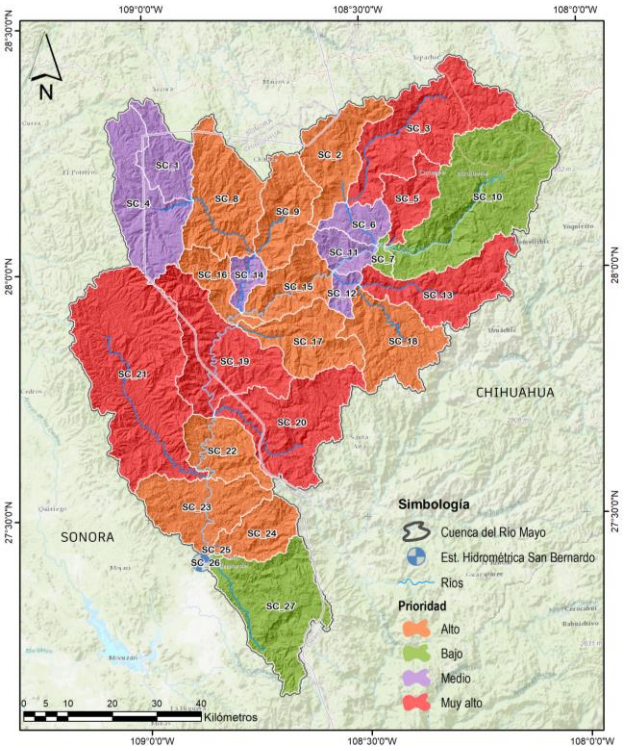


Figura 1. Mapa de nivel de prioridad de las subcuencas de la CARM.

Conclusiones

Estos hallazgos demuestran que la priorización de subcuencas basada principalmente en parámetros morfométricos, mediante la integración del método AHP con herramientas SIG, constituye una estrategia eficiente y de rápida aplicación para la gestión y planificación de cuencas hidrográficas. Esta metodología puede ser de gran utilidad para tomadores de decisiones, planificadores de recursos y proyectos de desarrollo territorial al identificar con mayor precisión aquellas subcuencas que demandan medidas urgentes de adaptación y conservación.

Referencias

Assegide, E., Alamirew, T., Walsh, C. L., & Zeleke, G. (2025). Prioritizing Watersheds for Intervention Design Using GIS and Remote Sensing. *Journal of Environmental and Earth Sciences*, *7*(1), 167–195. https://doi.org/10.30564/jees.v7i1.6887

De Steiguer, J. E., Duberstein, J., & Lopes, V. L. (2003). The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management. En K. G. Renard (Ed.), *First Interagency Conference on Research on the Watersheds.* (pp. 736–740). Department of Agriculture, Agricultural Research Service. https://www.researchgate.net/publication/238596737

Fernández Reynoso, D. S., Martínez Menez, M., Sánchez Galindo, M., Villa Montes, I., Rubio Granados, E., Palacios Espinosa, C., Ramos Mendoza, C., & Fernández González, C. (2018). *Priorización Hidrológica de las Principales Asociaciones Suelo-Vegetación Presentes en la*. https://www.files.tarahumarasustentable.mx/

Horton, R. E. (1945). *EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAIN-AGE BASINS; HYDROPHYSICAL APPROACH TO QUANTITATIVE MORPHOLOGY*. *56*, 275–370.

Meshram, S. G., Alvandi, E., Singh, V. P., & Meshram, C. (2019). Comparison of AHP and fuzzy AHP models for prioritization of watersheds. *Soft Computing*, *23*(24), 13615–13625. https://doi.org/10.1007/s00500-019-03900-z

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process* (McGraw Hill, Ed.).

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (Springer, Ed.; 2a ed., Vol. 175). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6

Sarkar, P., Kumar, P., Vishwakarma, D. K., Ashok, A., Elbeltagi, A., Gupta, S., & Kuriqi, A. (2022). Watershed prioritization using morphometric analysis by MCDM approaches. *Ecological Informatics*, *70*. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101763

SCHUMM, S. A. (1956). EVOLUTION OF DRAINAGE SYSTEMS AND SLOPES IN BADLANDS AT PERTH AMBOY, NEW JERSEY. *GSA Bulletin*, *67*(5), 597–646. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956) 67 [597: EODSAS]2.0.CO;2

Shekar, P. R., & Mathew, A. (2025). Ranking sub-watersheds for soil erosion management in the Bhaskel basin using morphometric analysis and MCDM techniques. Environmental Earth Sciences, 84(11). https://doi.org/10.1007/s12665-025-12299-w

Shekar, P. R., Mathew, A., Arun, P. S., & Gopi, V. P. (2023). Sub-watershed prioritization using morphometric analysis, principal component analysis, hypsometric analysis, land use/land cover analysis, and machine learning approaches in the Peddavagu River Basin, India. Journal of Water and Climate Change, 14(7), 2055–2084. https://doi.org/10.2166/wcc.2023.221

EFECTO DEL ESTRÉS SÓDICO SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA RAÍZ EN TRES CULTIVARES DE ALGODONERO - INIFAP

Florencia García-Campusano[1*], José Luis García Pérez[1], Claudia Meraz Martínez[1], Miguel Ángel Vallejo Reyna[2], José Luis Félix Fuentes[3], Ángel Emmanuel Cruz Estrada[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Campana (CIRNOC), Km. 33.5 Carretera Chihuahua-Ojinaga, Ciudad Aldama, Chih., México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, Ave. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Coyoacán, Ciudad de México, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Norman E. Borlaug (CIRNO), Calle Norman E. Borlaug S.N. Km 12, Valle del Yaqui, Sonora, México. *Autor de correspondencia: garcia.florencia@inifap.gob.mx

Introducción

La salinidad afecta a más del 20 % de los suelos agrícolas irrigados y contribuye a la pérdida anual entre el 1 y 2 % de la superficie cultivable en el mundo (Arzani, 2008). Es un problema que aumentará en las siguientes décadas con el cambio climático, particularmente en las regiones áridas y semiáridas, donde las altas tasas de evapotranspiración y baja precipitación intensifican sus efectos. En México, se estima que el 60 % de la superficie de riego y casi el 20 % de la superficie de temporal presentan problemas de salinidad (SADER, 2021). Frente a este escenario, el desarrollo de cultivares resistentes a la salinidad constituye una prioridad en los programas de mejoramiento genético de numerosas especies agrícolas (Arzani, 2008).

El algodón (*Gossypium hirsutum* L.) es la principal fuente de fibra vegetal para la industria textil, además de aportar semillas ricas en aceites y proteínas para la industria alimentaria y energética. Es reconocido como un cultivo moderadamente tolerante a la salinidad, alcanzando su umbral a los 7.7 dS/m (CE: conductividad eléctrica), sin presentar pérdidas en su rendimiento (Shelden y Munns, 2023). Sin embargo, a concentraciones crecientes de sales (>12 dS/m) se disminuye o se retrasa la germinación, el establecimiento de plántulas, la acumulación de biomasa y la calidad de la fibra y semilla. No obstante, se ha documentado variación entre cultivares y etapas de desarrollo, lo que abre oportunidades para la selección de materiales más resistentes (Gul et al., 2025).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) tiene una larga historia en el desarrollo de variedades vegetales en México y resguarda semillas de cinco cultivares convencionales de algodón, desarrolladas entre 1960 y 1995 —CIAN Precoz (CP), CIAN 95 (C95), Nazas 87 (N87), Laguna 89 (L89) y Juárez 91 (J91)— recococidos por su calidad de fibra y rendimiento (Pérez et al., 2011; Bonilla-Barrientos et al., 2020; Hernández-Leal et al., 2025). Sin embargo, su potencial de resiliencia frente a condiciones de estrés, como la salinidad, ha sido poco explorado.

Ante condiciones de desarrollo desfavorables, las plantas ajustan su morfología, para minimizar el estrés y maximizar la eficiencia en el uso de recursos como el agua, la luz y los nutrientes. Una caracterización detallada de los cambios en la estructura y los patrones de crecimiento en los distintos fondos genéticos puede proveer de información valiosa para reconocer estrategias adaptativas y orientar futuros esfuerzos de selección de germoplasma con fines específicos de mejoramiento.

La raíz constituye el primer órgano de la planta en contacto con el suelo y desempeña un papel central en la adquisición de agua y nutrientes, así como en la percepción y respuesta frente a condiciones adversas. En ambientes afectados por la salinidad y la sodicidad, el sistema radical es particularmente vulnerable, ya que experimenta alteraciones en su morfología, arquitectura y funcionalidad, lo que impacta directamente el crecimiento y rendimiento del cultivo (Gul et al., 2025). En el caso del algodón, la tolerancia a la sodicidad depende en gran medida de la capacidad de las raíces para sostener la absorción y el transporte de recursos bajo estrés. Por ello, para comprender mejor los mecanismos adaptativos y orientar la selección de materiales de los cultivares INIFAP más resilientes, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar el crecimiento radical bajo condiciones de estrés sódico inducido por NaCl bajo condiciones semi controladas.

Materiales y Métodos

Se utilizaron semillas de los cultivares Cian Precoz (CP), Cian 95 (C95) y Juárez 91 (J91). Para la germinación, la semilla se sembró en charolas de poliestireno expandido con microceldas de 46 cm^3, utilizando como sustrato una mezcla de turba:perlita:vermiculita (2:1:1), con riego cada tercer día. El ensayo se desarrolló durante los meses de julio y agosto de 2024 en el Campo Experimental La Campana del INIFAP, en Aldama, Chihuahua (28°51′4.29″N, 105°52′0.38″O; 1252 msnm).

El ensayo consistió en contrastar el desarrollo radical de plantas de los tres cultivares bajo tres condiciones de sodicidad: un control sin NaCl (1.2 dS/m), una concentración moderada (12 dS/m) y severa (19.6 dS/m) (Gul et al., 2025). Se utilizaron un total de 36 plántulas que hubieran alcanzado la etapa de dos hojas verdaderas (~dos semanas). Las plántulas se repartieron aleatoriamente en los tratamientos, bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, donde cada combinación se conformó por cuatro plántulas. El trasplante se realizó en tubos de PVC adaptados como maceta (60 x 10 cm, volumen de 4.71 L), rellenados con una mezcla de perlita:vermiculita (1:1) y solución nutritiva basada en Hoagland al 50 %.

Los tubos se colocaron en bandejas de plástico que se llenaron con la solución. Las plantas se mantuvieron en estas condiciones por una semana para asegurar su establecimiento postrasplante. Posteriormente, la concentración de NaCl se incrementó paulatinamente, a lo largo del transcurso de una semana, para evitar el choque osmótico, hasta alcanzar la conductividad eléctrica (CE) deseada, medida con un equipo portátil pH/EC/TDS HI98130 Hanna®. El experimento duró tres semanas y se realizó en condiciones semicontroladas de malla sombra, con una transmisividad lumínica del 65 %.

Transcurridos 21 días, se recuperaron los sistemas radicales de cada planta. Las raíces fueron digitalizadas con un escaner modelo CanonScan LiDE 700F (resolución 900 ppp) y analizadas con el programa WinRhizo versión 3.0, (Regent Instruments, Quebec, Canada), lo que permitió determinar parámetros morfológicos como la longitud radical (cm), superficie de absorción (cm2), diámetro medio (mm) y volumen radical (cm3). Finalmente, para calcular su biomasa seca, de cada planta se secaron las raíces, así como hojas y tallo, en estufa a 52 ºC durante 72 h. Esta información se usó para calcular la longitud radical específica, así como la relación biomasa aérea/raíz.

El análisis estadístico se realizó mediante un modelo mixto de dos vías, considerando como factores fijos los cultivares y los niveles de NaCl, y como efecto aleatorio la bandeja. Previamente, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilks y Levene, respectivamente. Cuando se detectaron diferencias significativas, la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Todos los análisis se efectuaron en el programa R (v. 4.4.1; R Core Team, 2024), utilizando la función "*lmer"* del paquete *lme4* (Bates et al., 2015) para los modelos mixtos, y el paquete *emmeans* (Lenth, 2016) para la comparación de medias.

Resultados y Discusión

Crecimiento radical. Para identificar posibles diferencias en el ajuste de la arquitectura radical ante distintos niveles de sodicidad, se evaluaron siete atributos que describen tanto el crecimiento de las raíces, como la distribución de su biomasa. No se detectó un efecto del cultivar sobre los distintos atributos de la raíz durante la etapa de desarrollo analizada ($\alpha < 0.05$). Sin embargo, se evidenciaron respuestas diferenciadas con relación al nivel de sodicidad: a 12 dS/m el desarrollo radical fue similar al control, o incluso se mostró una tendencia al alza para todos los atributos, si bien no fue significativa ($\alpha > 0.05$); mientras que a 19.6 dS/m se observaron reducciones significativas en comparación con el nivel intermedio (Figura 1). Es decir, las plantas de los distintos cultivares mantienen la tasa de crecimiento radical bajo condiciones de salinidad moderadas-altas, que decae bajo estrés severo.

Este patrón de respuesta a la sodicidad, es un fenómeno común que se ha reportado previamente para la especie (Gul et al., 2025). En estudios donde se midieron células corticales de la zona de elongación de plantas de algodón expuestas a concentraciones de NaCl entre 25 y 100 mM (aproximada entre 2 y 10 dS/m) se incrementa la tasa de crecimiento celular, sobre todo cuando el medio de crecimiento se suplementa con calcio (Husain et al., 2004) o boro (Lu et al., 2023).

El contraste más notorio entre las condiciones de sodicidad moderada y severa se manifestaron en rasgos asociados a la exploración del sustrato, como la longitud radical y la longitud radical específica; así como en aquellos vinculados en la absorción y la conducción, como la superficie de absorción, el diámetro medio y el volúmen radical (Figura 1). La densidad del tejido radical tuvo una respuesta marginal pero no significativa para J91 cómo cultivar, así como a 19.6 dS/m respecto a las otras condiciones. Estos resultados sugieren que a niveles de sodicidad severos, además de reducirse el crecimiento, hay una tendencia hacia el aumento del grosor estructural de los tejidos.

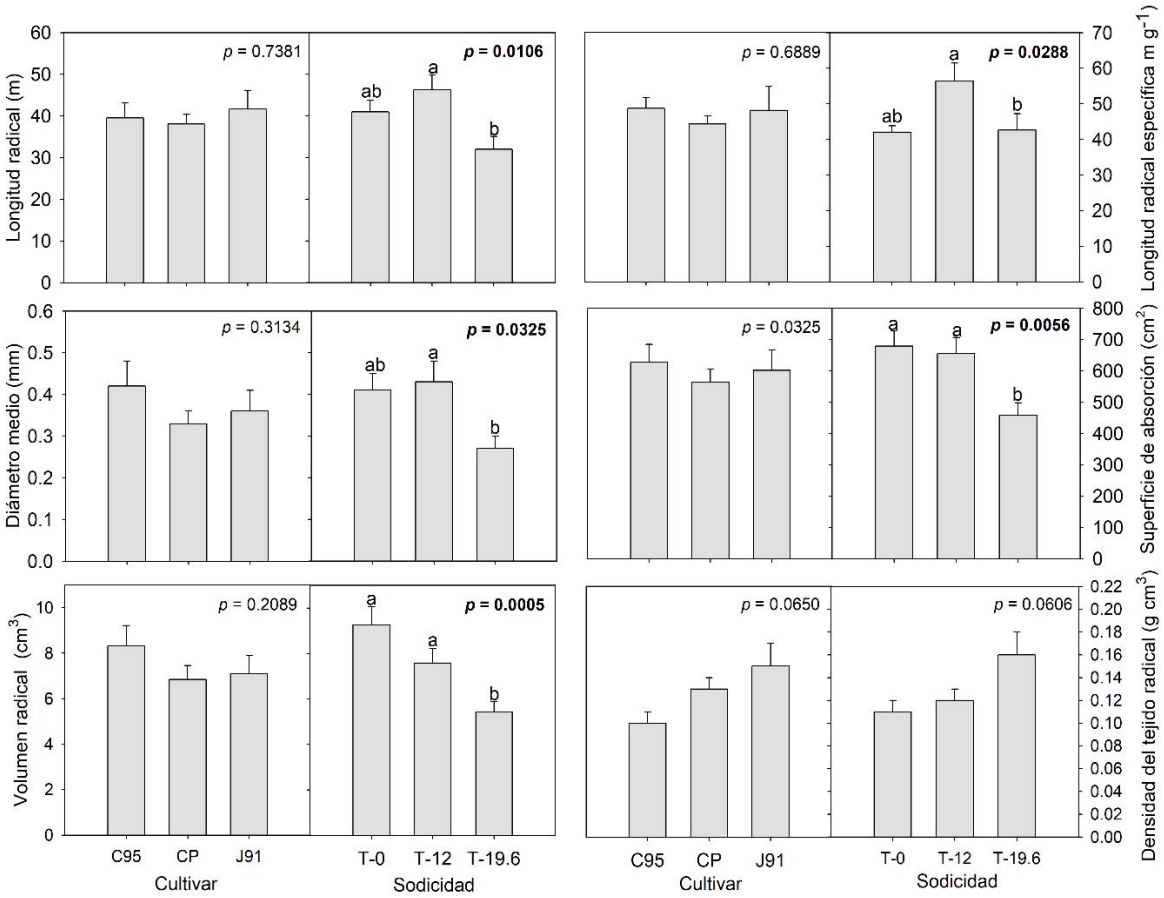


Figura 1. Características morfológicas de la raíz en tres cultivares de algodón sometidos a tres niveles de sodicidad, durante su establecimiento. Medias ± Error Estándar, Valores de probabilidad están representados en cada gráfica para cada variable. Letras diferentes dentro de cada factor indican diferencias significativas (Tukey, α =0.05).

El engrosamiento de los tejidos radicales ha sido señalado como un mecanismo adaptativo relevante frente al estrés (Kramer-Walter et al., 2016), ya que incrementa la resistencia celular, reduce el riesgo de colapso por deshidratación y preserva la función de conducción, aunque implica una menor velocidad de crecimiento y eficiencia en la absorción.

Acumulación de biomasa. En la mayoría de las especies agrícolas, la salinidad afecta con mayor severidad el crecimiento de la parte aérea que el de la raíz (Gul et al., 2025), y los resultados de este estudio confirman dicho patrón en algodón. Aunque no se observaron diferencias significativas entre cultivares, la biomasa aérea (tallo y hojas sin pecíolo) disminuyó de manera marcada, entre 25 y 60 %, con respecto al control en los niveles de 12 y 19.6 dS/m, respectivamente (p = 0.0001; Figura 2). Esta reducción puede estar vinculada tanto a la limitación del área foliar y, por ende, de la fotosíntesis, como a la acumulación de iones tóxicos, particularmente Cl^-, en los tejidos (Peng et al., 2016). En contraste, la biomasa radical se mantuvo similar entre el control y 12 dS/m, aunque con una tendencia a la baja; únicamente a 19.6 dS/m se registró una reducción significativa cercana al 20 % (p <0001), consistente con la disminución observada en la longitud y el volumen radical (Figura 2).

Estos resultados se reflejaron en una reducción significativa de la relación biomasa aérea/radical conforme aumentó la sodicidad ($p < 0.0001$). Bajo condiciones control, la mayor proporción de biomasa se destinó a la parte aérea; sin embargo, esta fue la más afectada incluso desde niveles moderados de sodicidad, mientras que la raíz mostró mayor resistencia inicial y solo se vio comprometida en condiciones severas. Esta ajuste en el patrón de crecimiento sugiere una estrategia adaptativa basada en la moderación del crecimiento aéreo, para reducir la pérdida de agua por transpiración, y favorecer la distribución de fotosintatos hacia la raíz para sostener funciones como la absorción y otros mecanismos de tolerancia frente al estrés (Shelden y Munns, 2023).

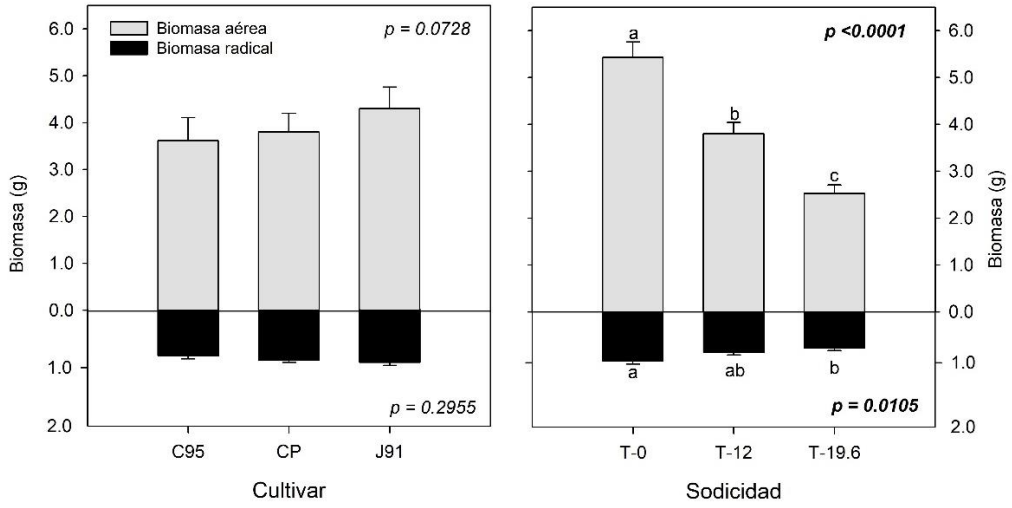


Figura 2. Relación biomasa aérea/raíz. Medias ± Error Estándar, Valores de probabilidad están representados en cada gráfica para cada variable. Letras diferentes dentro de cada factor indican diferencias significativas (Tukey, α =0.05).

Conclusiones

En este estudio se comparó el crecimiento radical de plantas jóvenes de tres cultivares de algodón desarrollados por el INIFAP (Cian 95, Cian Precoz y Juárez 91) bajo condiciones de sodicidad moderada (12 dS/m) y severa (19.6 dS/m). Los resultados mostraron una respuesta bimodal, donde a niveles de sodicidad moderados mantiene su crecimiento, mientras que a niveles severos disminuye, evidenciando un efecto inhibitorio. Con el aumento de la sodicidad se obtuvo la disminución en la relación biomasa aérea/radical, lo que refleja una estrategia adaptativa basada en restringir el crecimiento del follaje y redistribuir recursos hacia el sistema radical. Tales ajustes en la asignación de biomasa constituyen un criterio clave para la identificación de genotipos resilientes en programas de mejoramiento genético orientados a la tolerancia a la salinidad.

Referencias

Arzani, A. (2008). Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, *44*, 373-383. https://doi.org/10.1007/s11627-008-9157-7

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S., 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*, 1–48. https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01

Bonilla-Barrientos, O., Hernández-Leal, E., Verastegui-Chávez, J., Maltos-Buendía, J., Bautista-Ramírez, E., Hernández-Bautista, A., & Isidro-Requejo, L. M. (2020). Productividad y calidad de fibra de variedades convencionales de algodón en la Comarca Lagunera, México. *Revista fitotecnia mexicana*, *43*(1), 3-9. https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.3

Carrillo-Cruz, J., García-Campusano, F., García-Pérez, J.L. & Félix-Fuentes, J. L. (8 al 11 de noviembre de 2023). Germinabilidad de cinco cultivares de algodonero-INIFAP convencional bajo estrés salino. Memoria XIII Reunión Nacional de Investigación Agrícola, INIFAP. Chihuahua, México.

Gul, N., Khan, Z., Shani, M.Y., Hafiza, B. S., Saeed, A., Khan, A. I., Shakeel, A., & Rahimi, M. (2025). Identification of salt-resilient cotton genotypes using integrated morpho-physiological and biochemical markers at the seedling stage. *Scientific Reports*, *15*, 5276 . https://doi.org/10.1038/s41598-025-89582-0

Hernández-Leal, E., Franco-Gaytán, I., Bonilla-Barrientos, O., Hernández-Bautista, A., Reyes-González, A., Toledo-Aguilar, R., & López-Morales, F. (2025). Selection of native and conventional cotton (Gossypium hirsutum L.) genotypes based on fiber quality. *Agrociencia*, *59*(1), 1-13. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v59i1.3197

Husain, S., von Caemmerer, S., and Munns, R. (2004). Control of salt transport from roots to shoots of wheat in saline soil. *Functional Plant Biology*, *31*(11), 1115–1126. https://doi.org/doi/10.1071/fp04078

Kramer-Walter, K. R., Bellingham, P. J., Millar, T. R., Smissen, R. D., Richardson, S. J., & Laughlin, D. C. (2016). Root traits are multidimensional: specific root length is independent from root tissue density and the plant economic spectrum. Journal of Ecology, 104(5), 1299-1310. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12562

Lenth, R.V. (2016). Least-Squares Means: The R Package lsmeans. *Journal of Statistical Software*, *69*, 1–33. https://doi.org/doi/10.18637/jss.v069.i01

Lu, K., Yan, L., Riaz, M., Babar, S., Hou, J., Zhang, Y., & Jiang, C. (2023). Exogenous boron alleviates salt stress in cotton by maintaining cell wall structure and ion homeostasis. Plant *Physiology and Biochemistry*, *201*, 107858. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107858

Peng, Sui, N., Zhou, Z., & Meng, Y. (2016). Effects of soil salinity on sucrose metabolism in cotton leaves. *PLoS One*, *11*(5), e0156241. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156241

Pérez M. C., M. R. Tovar G., Q. Obispo G., J. A. Ruíz C., L. Tavitas F., J. L. Jolalpa B. y F. J. Legorreta P. (2011) Los Recursos Genéticos del Algodón en México. Libro Técnico Núm. 5. Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D. F. 120 p.

R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Shelden, M.C., & Munns, R. (2023) Crop root system plasticity for improved yields in saline soils. *Frontiers in Plant Science*, *14*,1120583. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1120583

BETALAÍNAS EN LA SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Sandra I. Martínez Orona[1,] Ricardo Trejo Calzada[1], Sandra P. Maciel Torres[1], Karen P. Maciel Torres[1], L. Danilo Granados Rivera[2]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Dgo., Méx.; [2]Campo Experimental General Terán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, General Terán CP 67400, Nuevo León, Mexico.*Autor por correspondencia: sandramtz.1090@gmail.com

Introducción

El sector agrícola se encuentra en constante búsqueda de procesos y estrategias innovadoras para aumentar la productividad y calidad de cultivos además de garantizar sanidad en sus productos. Para lograrlo es indispensable el uso de agroquímicos de origen sintético impactando de manera negativa al consumidor y medio ambiente (Chulze, 2023). En este escenario y como alternativa de solución aparece el uso de la nanotecnología, la cual manipula la materia a una escala nanométrica (1–100 nm) (Bayda et al., 2020) dando origen a distintos nanomateriales, como las nanopartículas (NPs), que se han convertido en herramientas para la nutrición, prevención, detección y tratamiento de enfermedades en cultivos(Lira-Saldivar et al., 2018).

Las NPs pueden presentar distintas formas, estructuras y composición química, como aquellas sintetizadas a partir de carbono, metales y óxidos metálicos (Joudeh & Linke, 2022) asimismo sus métodos de síntesis son versátiles. Uno de ellos, la síntesis verde de nanopartículas metálicas, que consiste en la reducción de metales mediante antioxidantes naturales. Estos agentes se pueden encontrar en plantas, específicamente en sus extractos, los cuales tienen la capacidad de transformar bajo condiciones específicas, los iones inorgánicos metálicos en nanopartículas (Gómez-Garzón, 2018).

La gama de extractos y fitoquímicos que se pueden utilizar es amplia. En este sentido, en los últimos años ha destacado el uso de betalaínas. Estos metabolitos secundarios son responsables de la pigmentación rojo-violeta (betacianinas) y amarillo-naranja (betaxantinas) en semillas, frutos, hojas, raíces, flores, tallos o tallos modificados como los cladodios (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2021). Recientemente son empleadas en la síntesis de NPs por sus propiedades antioxidantes, reductoras, estabilizantes y de recubrimiento (Elattar et al., 2023; Tabio-García et al., 2021). Sin embargo, a pesar del creciente interés por las betalaínas en la síntesis de nanopartículas, aún existen áreas de oportunidad para profundizar en el origen y papel de estos metabolitos secundarios en el mundo de la nanotecnología. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue aplicar el método SALSA para mapear la literatura sobre el uso de betalaínas en la síntesis verde de nanopartículas metálicas, identificar sus principales áreas de aplicación y reconocer a los líderes de investigación, con el fin de generar un panorama que oriente futuras investigaciones.

Materiales y métodos

El mapeo se realizó en el mes de abril del año 2025, en la primera etapa se aplicó el método SALSA para la búsqueda, evaluación, análisis y síntesis de la información. Se inicio con la búsqueda en las bases de datos Google Académico, Dimensions, ScienceDirect y Scopus. Todas las bases empleadas permiten exportar los datos en formato RIS, para su posterior análisis en VOSviewer.

La estrategia de búsqueda fue en dos idiomas (español e inglés), empleando operadores booleanos, con estas palabras clave: betalaínas, betanina, betacianinas, betacianina, betaxantinas, betaxantina, extracto, nanopartículas, síntesis verde, biosíntesis, síntesis biogénica. Además, se aplicó un filtro de búsqueda por tiempo, diez años (2015-2025). Para Dimensions, ScienceDirect y Scopus se agregó el filtro por tipo de documento, considerando solo artículos de investigación. En la segunda etapa los resultados sintetizados por el método SALSA y en formato RIS se analizaron en VOSviewer para la obtención de mapas de coautoría y coocurrencia de palabras clave.

Resultados y discusión

En la etapa de búsqueda del método SALSA se obtuvieron 991 artículos. Para la evaluación, documento fueron exportados en formato RIS a Excel para analizar repeticiones, identificando 24, las cuales se eliminaron. Posteriormente se evaluó el contenido de palabras claves en el título y resumen de cada trabajo para descartar investigaciones que no usen betalaínas, reduciendo los datos a 439. A estos documentos se aplicó un criterio de selección basado en la lectura del título y una revisión parcial del resumen, lo cual resultó suficiente para determinar si el artículo abordaba la síntesis de nanopartículas. Esta estrategia permitió reducir a 59 estudios la búsqueda. Además, en este punto se detectaron y eliminaron documentos como ensayos, artículos de revisión, manuales, tesis, monografías y resúmenes para congresos que lograron evadir el filtro, principalmente provenientes de Google Scholar. Por último, después de esta síntesis el análisis descriptivo se enfocó en 50 artículos los cuales describen la síntesis verde de nanopartículas metálicas a partir de extractos vegetales con presencia de betalaínas, los 9 restantes fueron eliminados por abordar la síntesis de nanopartículas no metálicas. La segunda fase de la investigación consistió en el análisis de la base de datos RIS de los 50 artículos, producto del método SALSA en VOSviewer. El primer mapa (Figura 1) muestra la red de coautorías con mayor fuerza conformada por 15 autores, distribuidos en tres clústeres.

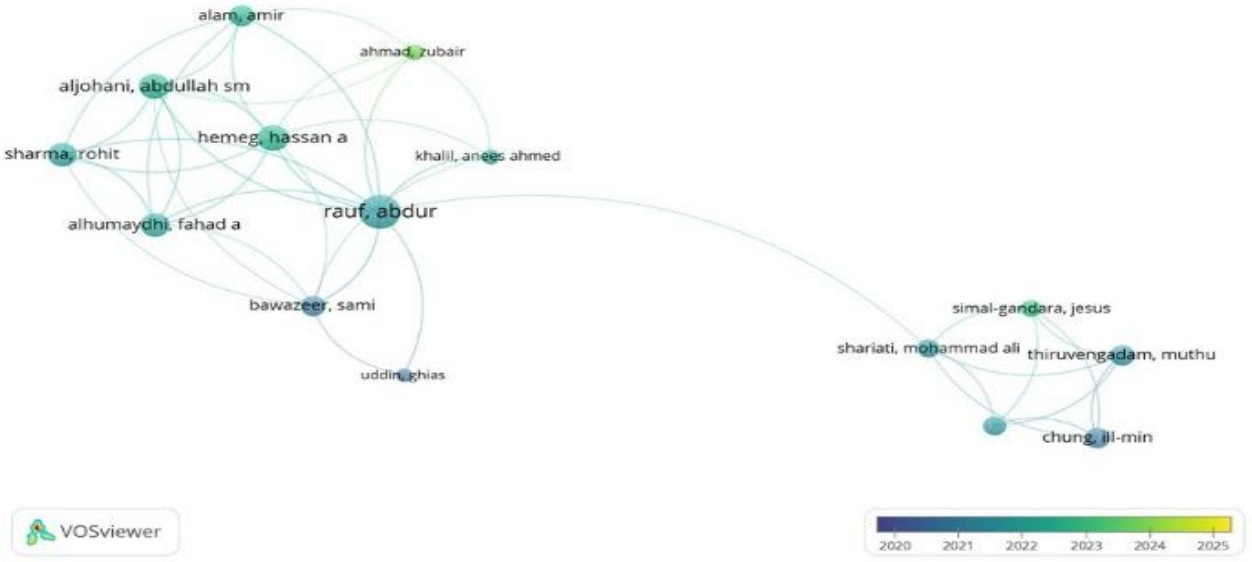


Figura 1. Principales autores y coautoria en publicaciones referentes a la presencia de betalaínas en la sintesis de nanopartículas

Este mapa fue generado estableciendo un criterio de inclusión de mínimo tres documentos por autor. De los cuales 47 cumplieron el criterio, 15 mostraron vínculos de colaboración directa distribuidos en tres clústeres. El primero liderado por Abdur Rauf, quien cuenta con mayor presencia dentro del campo analizado, de tal manera que representa el nodo central de la red y sus conexiones colaborativas más fuertes son con Sami Bawazeer, Anees Ahmed Khalil, Abdullah SM Aljohani y Amir Alam quien sirvió como puente para ampliar la red de colaboración, dando pie a un segundo clúster. Así mismo Mohammad Ali Shariati fue el vínculo para generar el tercer clúster con conexiones más débiles y parcialmente aisladas, pero con aportaciones actuales, del año 2023 por parte de Jesús Simal Gandara. De manera externa a VOSviewer se revisó la ubicación geográfica de los autores con mayor relevancia para proporcionar un panorama geográfico de las colaboraciones obteniendo a Pakistán y Arabia Saudita como lideres en esta línea de investigación.

Por otra parte el análisis de coocurrencia de palabras clave se muestra en la figura 2, con un total de 21 palabras clave a las cuales se aplicó el criterio de umbral mínimo de ocurrencias de uno. En el mapa solo se visualizan aquellas que tuvieron mayor fuerza de enlace y se agruparon en cuatro clústeres que delimitan claramente las áreas de aplicación de las betalaínas en la síntesis verde de nanopartículas.

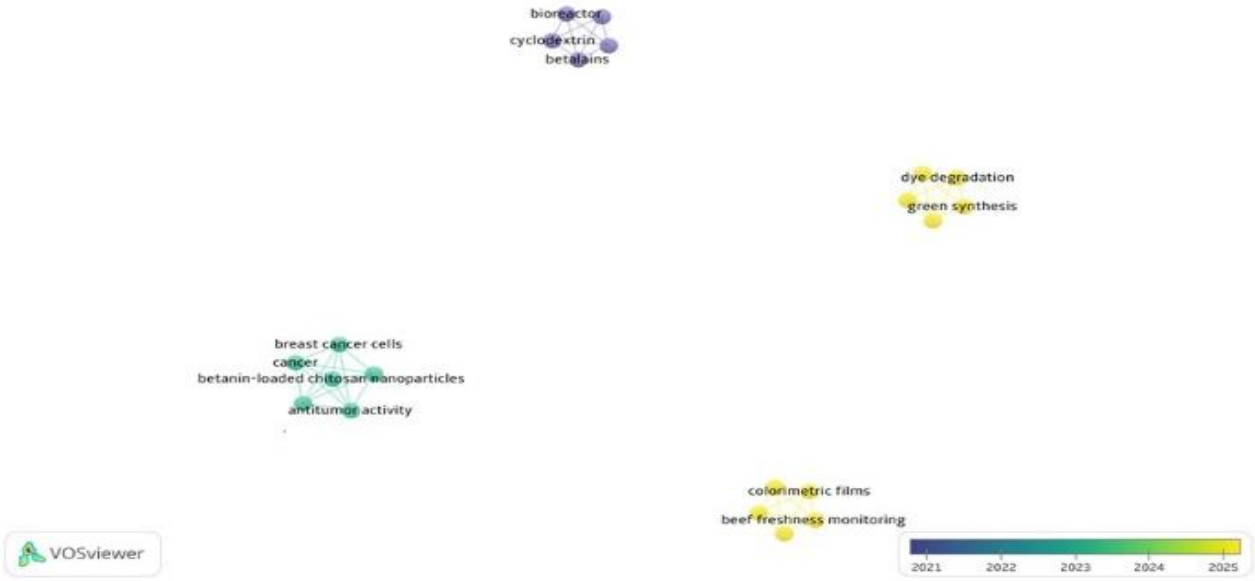


Figura 2. Coocurrencia de palabras clave en publicaciones referentes a la presencia de betalaínas en la sintesis de nanopartículas

El primer grupo, enfocado en aplicaciones biomédicas, incluyó términos como *antitumor activity*, *cancer*, *betalain* y *betanin-loaded chitosan nanoparticle*. Un segundo clúster aglomeró conceptos relacionados con la síntesis verde y la remediación ambiental, destacando las palabras *green synthesis*, *dye degradation* y *WO_3 nanoparticles*, reflejando líneas de investigación orientadas a la síntesis ecológica de nanopartículas. El tercer clúster se relacionó con la encapsulación de compuestos bioactivos, figurando los términos *betalains* y *cyclodextrin***,** afines con tecnologías de encapsulación, estabilidad y biodisponibilidad, útiles en alimentos o medicina. Finalmente, el cuarto grupo estuvo conformado por palabras asociadas al desarrollo de materiales inteligentes para envases, como *colorimetric films*, *beef freshness monitoring* y *multilayered films*, demostrando un enfoque hacia indicadores de frescura y conservación de alimentos, particularmente cárnicos.

Los resultados de este análisis bibliométrico muestran una tendencia creciente en el uso de las betalaínas. Así lo reflejan las fechas de las publicaciones que empiezan a despuntar en el año 2021. Esto como respuesta al interés mundial por reemplazar procesos sintéticos e industrializados por alternativas amigables con el medio ambiente, seguras y sostenibles (Suresh et al., 2025). Durante la etapa de evaluación del método salsa se logró identificar un interés mayor por sintetizar nanopartículas metálicas. Esta preferencia puede atribuirse a que los metales son menos biodisponibles de manera natural, lo que exige encontrar estrategias eficientes para incorporarlos en distintos organismos o sistemas biológicos (Das et al., 2020).

Conclusiones

Este trabajo reafirma la relevancia del mapeo bibliométrico como herramienta para establecer el panorama sobre el uso de betalaínas en la síntesis verde de nanopartículas. Además, el método SALSA permitió organizar y filtrar la información de manera sistematica para trabajar solo con aquellos documentos para el objetico de cada investigación. Con la herramienta VOSviewer se logró identificar a los líderes de investigación, las áreas de aplicación y los metales más utilizados en la sintesis de nanoparticualas metalicas con presencia de betalínas, que en este caso fue la plata por la frecuencia de publicaciones donde reportan su uso y versatilidad de sus propiedades. Las betalaínas emergen como una alternativa ecológica, sostenible y funcional en la producción de nanomateriales. La información recabada es útil como punto de partida para explorar nuevos campos de aplicación y aprovechar distintas fuentes vegetales de betalaínas.

Referencias

Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2020). The history of nanoscience and nanotechnology: From chemical-physical applications to nanomedicine. In Molecules (Vol. 25, Issue 1). https://doi.org/10.3390/molecules25010112

Chulze, S. N. (2023). Agentes de control biológico de origen microbiano para reducir el impacto de hongos patógenos y toxicogénicos. Revista Argentina de Microbiología, 55(1). https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.02.001

Das, G., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2020). Comparative assessment of antioxidant, anti-diabetic and cytotoxic effects of three peel/ shell food waste extract-mediated silver nanoparticles. International Journal of Nanomedicine, 15. https://doi.org/10.2147/IJN.S277625

Elattar, K. M., Ghoniem, A. A., Al-Otibi, F. O., El-Hersh, M. S., Helmy, Y. A., & Saber, W. E. I. A. (2023). Phytogenic Synthesis and Characterization of Silver Metallic/Bimetallic Nanoparticles Using Beta vulgaris L. Extract and Assessments of Their Potential Biological Activities. Applied Sciences (Switzerland), 13(18). https://doi.org/10.3390/app131810110

Gómez-Garzón, M. (2018). Nanomateriales, Nanopartículas y Síntesis verde. Revista Repertorio de Medicina y Cirugía, 27(2). https://doi.org/10.31260/repertmedcir.v27.n2.2018.191

Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. In Journal of Nanobiotechnology (Vol. 20, Issue 1). https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8

Lira-Saldivar, R. H., Argüello, B. M., Villarreal, G. D. los S., & Reyes, I. V. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. Acta Universitaria, 28(2), 9–24. https://doi.org/10.15174/au.2018.1575

Sadowska-Bartosz, I., & Bartosz, G. (2021). Biological properties and applications of betalains. In Molecules (Vol. 26, Issue 9). https://doi.org/10.3390/molecules26092520

Suresh, V., Shams, R., Dash, K. K., Shaikh, A. M., & Béla, K. (2025). Comprehensive review on enzymatic polymer degradation: A sustainable solution for plastics. In Journal of Agriculture and Food Research (Vol. 20). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101788

Tabio-García, D., Paraguay-Delgado, F., Sánchez-Madrigal, M., Quintero-Ramos, A., Espinoza-Hicks, J. C., Meléndez-Pizarro, C. O., Ruiz-Gutiérrez, M. G., & Espitia-Rangel, E. (2021). Optimisation of the ultrasound-assisted extraction of betalains and polyphenols from Amaranthus hypochondriacus var. Nutrisol. Ultrasonics Sonochemistry, 77. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105680

LA PÉRDIDA DE LA MASA Y CALIDAD POSTCOSECHA DEPENDE DE LA MADURACIÓN DE LA TUNA 'ROJA LISA'

Jorge A. Zegbe-Domínguez[1*], Danari Guillermo-García[2]

[1]Campo Experimental Pabellón- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas, CP 20670, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. [2]Facultad de Ciencias Químicas, Campus Siglo XXI, Universidad Autónoma de Zacatecas, Km 6 Carretera Zacatecas-Guadalajara, Ejido la Escondida, Zacatecas, Zacatecas, CP 98160, México. *Autor para correspondencia: *zegbe.jorge@inifap.gob.mx

Introducción

La fruta del nopal tunero, conocida como tuna, tiene un valor social, económico y terapéutico en el mundo. Sin embargo, pocos esfuerzos científicos habían sido dedicados para conocer la fisiología de la maduración y vida postcosecha de esta fruta en comparación con otras frutas climatéricas y no climatéricas (Watkins y Nock, 2012; Ramírez-Ramos et al., 2015). La tuna es una fruta no climatérica, lo cual implica que ésta sea cosechada casi en un estadio de madurez de consumo; sin embargo, esto reduce, en teoría, la vida de anaquel de este producto fresco y, por tanto, su comercialización hacia mercados nacionales distantes. Como es una fruta altamente perecedera, su comercialización ocurre a pocas horas después de la cosecha, por lo que el almacenamiento es raramente usado, pero se usa (Zegbe, 2020). Esto es importante, porque la vida útil y la calidad de la tuna está asociada a cambios prevalecientes de temperatura y humedad relativa ambiente (Ochoa-Velasco y Guerrero-Beltrán, 2013) y estado de madurez (Ramírez-Ramos et al., 2015) cuando ésta es almacenada. Bajo esta última circunstancia, minimizar la pérdida de masa de la fruta (PMF) es fundamental para extender la vida postcosecha de las frutas y mantener los estándares requeridos por el mercado y el consumidor. En este sentido, el umbral de PMF es un aspecto clave para el manejo postcosecha de las frutas, el cual es de alrededor de 5% para la mayoría de las frutas, principalmente climatéricas (Kader et al., 2002). Sin embargo, para el caso tunas blancas, éste fue establecido en 8% (Cantwell, 1995). No obstante, este umbral podría no ser generalizado debido a la gran diversidad genética entre tunas blancas y pigmentadas, además del estadio de la maduración de la fruta. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la PMF y la calidad de la tuna 'Roja Lisa' almacenada a temperatura y humedad relativa ambiente considerando el estado de madurez de la fruta.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Laboratorio de Fisiología Vegetal y Postcosecha del Campo Experimental Zacatecas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (22°54'N; 102°39'O, elevación 2,197 m). El ensayo se condujo del 18 de agosto al 29 de septiembre de 2021 con fruta de plantas de nopal tunero cv. 'Roja Lisa' (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) con 18 años de edad.

De la periferia y al azar de diez plantas, se cosecharon 160 frutos uniformes en tamaño y sin lesiones físicas de la parte externa. La fruta fue desespinada y tratada con una solución de hidróxido cúprico (2.5 ml) y cloro al 1%. El exceso de humedad fue eliminado con la aplicación aire con un ventilador doméstico. La fruta, una vez seca, fue enumerada progresivamente para identificar repeticiones y tratamientos.

La fruta se separó en dos estadios de maduración del fruto (EMF) al envero (E) y madurez de consumo (MC). Por cada EMF se formaron dos lotes de 30 tunas cada uno y se analizaron algunos atributos de físico-químicos. Otros lotes de tunas similares al descrito previamente, fueron almacenados a temperatura (T) y humedad relativa (HR) ambiente (HR) hasta que la masa inicial promedio de la fruta (PMF) alcanzó 5%. Los valores de la T y HR promedio durante el período de almacenamiento fue 24 ± 1.6 ºC y 54.8 ± 8%, respectivamente. El experimento se condujo en un diseño experimental completamente aleatorio

Los atributos de calidad registrados fueron los siguientes: la masa individual de cada fruto se registró en una balanza analítica (VE-303, Velab, USA). La firmeza se determinó en dos sitios opuestos en la parte media de cada fruto con un penetrómetro equipado con un puntal de 11.1 mm de diámetro (modelo FT 327, Wagner Instruments, Greenwich, CT, USA). De las perforaciones formadas con el penetrómetro se tomaron y mezclaron algunas gotas de jugo para determinar la concentración de sólidos solubles totales (CSST) con un refractómetro digital con compensación automática por temperatura (Modelo PR-32α, Atago, Co. ltd., Tokyo, Japan). La concentración de materia seca de la fruta se determinó con una muestra compuesta de la pulpa fresca de tres frutos de 25 g. Las muestras se secaron en estufa a 60 °C hasta alcanzar una masa constante. Durante el almacenamiento, la masa de la fruta se midió semanalmente hasta que, en promedio, se registró una PMF de 5%.

La información de la PMF y calidad de la fruta se analizó con un modelo lineal completamente aleatorio con el sistema de análisis estadístico SAS (SAS, ver 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA). En la separación de medias de tratamientos se aplicó la diferencia mínima significativa de la prueba de Scheffé (p = 0.05).

Resultados y discusión

El umbral del 5% de PMF fue alcanzado a la sexta semana en almacenamiento (Figura 1). Teóricamente, la fruta en envero debería perder menos peso que una fruta madura en almacenamiento o en el anaquel de un exhibidor (Nunes y Emond, 2007). Sin embargo, a diferencia de la tuna 'Cristalina' (Zegbe et al., 2024), la tuna 'Roja Lisa' completamente madura, desde la primera semana en almacenamiento perdió menos masa que la tuna en estado de envero (Figura 1). Esto pudiese estar asociado a dos alternativas. La primera es que la fruta no-climatérica, al madurar en la planta, ésta habría desarrollado una mejor epidermis [quizás mejor deposición y distribución de ceras cuticulares o epicuticulares en las células epidérmicas de la fruta (Crisosto et al., 1993)] que, durante el almacenamiento, limitó la remoción de agua vía transpiración. La segunda posibilidad, que pareciese ser la más congruente, es que la pérdida de agua en forma de vapor ocurrió durante el proceso de maduración de la fruta en la planta. Por tanto, durante el almacenamiento, poca agua pudo ser removida de los tejidos de la fruta, lo cual se reflejó en menor tasa de PMF. De hecho, al procesar la fruta, la pulpa de la tuna madura tuvo poca consistencia y un aspecto pastoso. No obstante, visualmente la cáscara de ambas tunas, no mostró signos de deterioro (información no incluida) que pudieran limitar su comercialización (Nunes y Emond, 2007). Además, el umbral de PMF de 8% establecido para tunas blancas (Cantwell, 1995), podría no ser aplicable, al menos para la tuna 'Roja Lisa'.

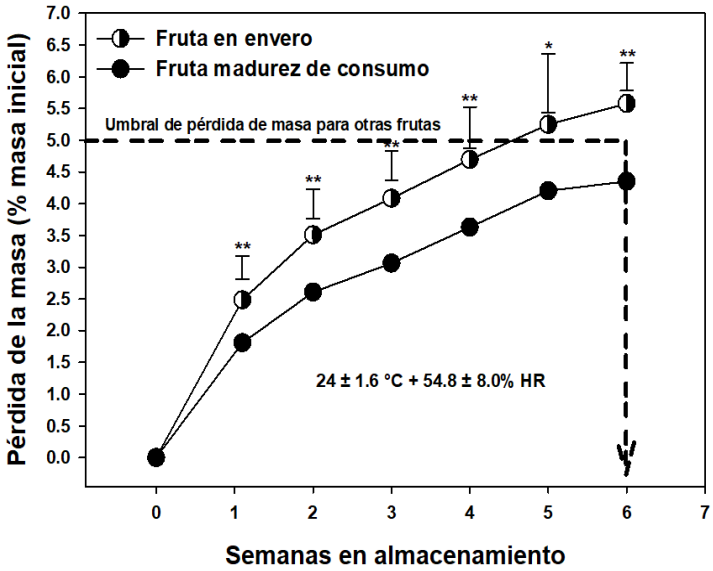


Figura 1. Pérdida acumulada de la masa de la tuna 'Roja Lisa' con diferentes estadios de maduración almacenada a temperatura y humedad relativa ambiente por seis semanas. Las barras verticales representan la diferencia mínima significativa de la prueba de Scheffé con $p \leq 0.05$.

Al concluir el periodo de almacenamiento, algunos atributos físicos y el dulzor, en términos de CSST, fueron medidos y comparados con aquellos determinados al momento de la cosecha en ambos EMF (Cuadro 1). La fruta en E registró una reducción de la MFF después de seis semanas en almacenamiento a temperatura ambiente. Esto último, no fue consistente en la fruta en MC, porque el grupo de tunas que se usó para medir la PMF fue, en promedio, 4% más pesado que aquel grupo usado al momento de la cosecha. No obstante, con respecto a sus correspondientes grupos, la pérdida de la firmeza fue evidente en ambos grupos después de seis semanas en almacenamiento a temperatura ambiente. Una tendencia similar fue observada en la CSST. Por lo tanto, con respecto a la fruta en E, la mayor CSST en la fruta en MC es explicado por el mismo estado de maduración en esta fruta no-climatérica fue cosechada (Watkins y Nock, 2012; Ramírez-Ramos et al., 2015). Mientras que la reducción de los azúcares dentro de cada estado de maduración es explicada por uso de estos carbohidratos como sustrato para otros procesos metabólicos que, evidentemente fueron obtenidos de la abundante materia seca acumulada en tanto en la fruta en E como en la fruta en MC después de seis semanas en almacenamiento (Watkins y Nock, 2012; Ramírez-Ramos et al., 2015). Lo anterior, podría estar asociado con un fenómeno de dilución por efecto de la pérdida de agua en forma de vapor durante las seis semanas en almacenamiento, donde la densidad de células en el tejido pudo incrementarse debido a la remoción del agua durante el almacenamiento (Zegbe, 2020).

Cuadro 1. Influencia del estado de madurez y la pérdida de la masa de la fruta en almacenamiento a temperatura (24 ± 1.6 ºC) y humedad relativa (54.8 ± 8.0%) ambiente en algunos atributos de calidad de la tuna Rojo Lisa'. MFF es la masa fresca del fruto, firmeza (F), concentración de sólidos solubles totales (CSST) y materia seca de la pulpa (MSP) con base en peso fresco (PF).

Fuentes de variación	MFF (g)	F (N)	CSST (Brix)	MSP (mg g^{-1} MF)
Envero (cosecha)	140.8ab*	30.5a	12.8c	172.4b
Envero ≈ 6% de PMF	132.1b	21.9b	12.1d	177.0b
Madurez de consumo (cosecha)	149.7a	30.0a	14.1a	167.1c
Madurez de consumo ≈ 5% de PMF	149.7a	20.0b	13.6b	190.2a
Diferencia mínima significativa	12.6	3.4	0.3	5.1
Significación ($p > F$)	0.0314	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
CV (%)	16.0	14.9	4.6	4.6

*Dentro de columnas, promedios con letras desiguales indican diferencias estadísticas según la prueba de Scheffé con $p \leq 0.05$.

Conclusiones

Los resultados sugieren que el umbral de pérdida de la masa de la fruta tiene que establecerse para cada cultivar y que, la calidad de la pulpa está ligada a este parámetro. También, el estado de maduración influyó en la tasa de pérdida de la masa, pero en términos de comercialización, se puede sugerir un 5% de la pérdida de masa como máximo y una vida postcosecha de seis semanas para la fruta cosechada en envero o en madurez de consumo. Sin embargo, esta última presentará pulpa inconsistente y pastosa. Más información es requerida para establecer el umbral de pérdida de masa para este cultivar bajo condiciones refrigeración y temperatura ambiente.

Referencias

Cantwell, M. (1995). Post-harvest management of fruits and vegetable stems. In: Barbera, G., Inglese, P., & Pimienta-Barrios, E. (Eds.) Agro-ecology, cultivation, and uses of cactus pear. Plant Production and Protection paper 132. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italy. pp. 120-136.

Crisosto, C.H., Johnson, R.S., Luza, J.G. and Crisosto, G.M. (1994). Irrigation regimes affect fruit soluble solids concentration and rate of water loss of 'O'Henry' peaches. *HortScience,* 29, 1169-1171. DOI: 10.21273/HORTSCI.29.10.1169.

Kader, A.A. (2002) Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3rd Edition, University of California, Agriculture and Natural Resources, Oakland, Publication 3311, 535 p.

Lufua, R., Ambawb, A., & Opara, U.L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109519. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109519.

Nunes, C.N., & Emond, J.P. (2007). Relationship between weight loss and visual quality of fruits and vegetables. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 120, 235–245. 2007.

Ochoa-Velasco, C.E., & Guerrero-Beltrán, J.A. (2013). Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre las características de calidad de tuna blanca Villanueva (*Opuntia albicarpa*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(2), 149-161. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81329290008

Ramírez-Ramos, M., García-Mateos, M.R., Corrales-García, J., & Barra-Moncada, C., Castillo-González, A.M. (2015). Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia* sp.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 349-357.

Watkins, C.B., & Nock, F.J. (2012). Production guide for storage of organic fruits and vegetables. New York State Department of Agriculture and Markets. NYS IPM Publication No. 10. pp. 61.

Zegbe, J.A. (2020). Quality and storability of cactus pear fruit as improved by supplemental irrigation. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 22, 1-17. DOI: https://doi.org/10.56890/jpacd.v22i.21.

Zegbe-Domínguez, J.A., D. Guillermo-García y V.D. Gámez-Cardoza. 2024. Pérdida de la masa y calidad postcosecha de la tuna 'Cristalina': una revaloración. XIV Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Aguascalientes, Ags., 23 – 26 de octubre de 2024. pp. 370-372.

FORMÍCIDOS ASOCIADOS AL BANCO DE GERMOPLASMA DE CÍTRICOS DEL CAMPO EXPERIMENTAL GENERAL TERÁN

Kenzy Ivveth Peña Carrillo[1], Guillermina Areli Tochihuitl Martiñón[1]*

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias - Campo Experimental General Terán, Km 31 Carretera Montemorelos-China, General Terán 67400, México. *Autor de correspondencia: tochihuitl.areli@inifap.gob.mx

Introducción

Los organismos invertebrados representan una gran porción de la biomasa terrestre, siendo las hormigas un componente muy importante estimado en 70 millones de toneladas de carbono (Eggleton, 2020). Las hormigas son organismos muy importantes y diversos, son conocidas como ingenieras de los ecosistemas gracias a sus efectos en la descomposición de nutrientes, remoción de suelo y perturbación (Schultheiss et al., 2022). Por otra parte, también son conocidas por los daños que pueden llegar a ocasionar principalmente en el área agrícola, siendo la agricultura una de las principales actividades implicadas en su declive, junto a otros tipos de insectos.

La agricultura, el cambio climático y la degradación de los hábitats de las hormigas por actividades antropogénicas han repercutido en su diversidad y abundancia, lo cual, tiene implicaciones significativas para la estructura, integridad y funcionamiento de los ecosistemas terrestres en general (Underwood & Fisher, 2006; Hoffmann, 2010; Parr y Bishop, 2022). Hasta el año 2014, en México se había reportado aproximadamente el 8% de las especies descritas en el mundo (Ríos-Casanova, 2014), lo cual se traduce en una riqueza de 884 especies repartidas en 86 géneros y 11 subfamilias (Vásquez-Bolaños et al., 2013). Para el noreste se han reportado 183 especies en los estados de Nuevo León y Tamaulipas (Ruiz & Coronado, 2002). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados por caracterizar su riqueza, la diversidad de hormigas en el noreste de México aún no se conoce por completo. Por lo tanto, se desconoce su impacto potencial en los ecosistemas naturales y agroecosistemas.

Ante la carencia de estudios sobre la diversidad de hormigas, específicamente las asociadas a cultivos de cítricos en el noreste de México, el objetivo del presente trabajo fue identificar de forma preliminar los géneros de hormigas asociadas a los cítricos establecidos en el Banco de Germoplasma del Campo experimental General Terán.

Materiales y métodos

Colecta e identificación. Los ejemplares se colectaron en el Banco de Germoplasma de Cítricos del Campo Experimental General Terán, el cual se estableció con la introducción de 71 cultivares (26 de mandarina e híbridos, 20 de naranja, 6 de toronja, 3 de limón, 6 de kumquat e híbridos, y 10 porta injertos) libres de virus en 1958 a 1965, procedentes de Texas y California (Ramírez, 1978).

Las colectas se realizaron en el mes de marzo del presente año, al término de la floración e inicio del amarre de fruto. Se trazaron transectos lineales en los cultivares de naranja. En cada transecto se ubicaron de tres a cinco trampas de caída (dependiendo de la longitud y existencia de árboles en cada línea) que consistían en vasos de plástico transparentes de 9 onzas, de los cuales el 25% del volumen contenía una gota de detergente líquido neutro y alcohol al 50%. Las trampas se colocaron cada cuatro metros y cada una correspondió con una variedad de naranja.

Las variedades de naranja en donde se colocaron las trampas fueron Queen, Hamlin, Temprana, Moro, Salustiana, Marrs, Tarocco, Valencia, Cadenera, Fisher Navel, Valencia Frost, Carter Navel Leng Navel, Valencia Delta y Valencia Dom Joao. La distancia entre cada transecto fue de 8 metros. Las trampas se recuperaron a las 48 h y, en el laboratorio las hormigas capturadas se transfirieron a tubos individuales con alcohol al 96% para su posterior identificaron mediante las claves taxonómicas de Mackay & Mackay (1989), Vasquez-Bolaños (2025), la base de datos de Antwiki (2022) y el catálogo fotográfico de la Antweb (2022).

Las hormigas se identificaron a nivel género y posteriormente se cuantificaron, los conteos de hormigas se utilizaron para calcular las frecuencias relativas y éstas se graficaron usando el programa en Rstudio CRAN v 4.3.2 y con el programa Vegan v.2.6.4. Además, con las frecuencias relativas se calculó la diversidad de Shannon por trampa.

Resultados y discusión

En este trabajo preliminar, las hormigas identificadas pertenecen a los géneros: *Atta, Camponotus, Cardyocondyla, Crematogaster, Dorymyrmex, Pheidole y Solenopsis* (Figura 1). Las hormigas de mayor frecuencia relativa pertenecieron al género *Dorymyrmex* (Figura 2). De todas las variedades de naranja, las trampas colocadas entre las variedades Hamlin y Temprana fueron las más diversas con valores de Shannon de 1.19 y 1.41, respectivamente. Sin embargo, para determinar la influencia del tipo de cultivar sobre la diversidad de hormigas, se requiere de un muestreo más extenso en huertas de cada variedad.

En listados previos sobre hormigas (Ruiz-Cancino & Coronado-Blanco, 2002; Vásquez-Bolaños, 2011) se ha reportado la presencia de diferentes especies de estos géneros. Sin embargo, no se detalla información sobre sus hábitats, la cual en ocasiones es difícil de obtener debido a que se trata de registros antiguos y que en consecuencia se encuentran en publicaciones no digitalizadas. Por otro lado, algunos de estos géneros como *Pheidole* y *Camponotus*, se han reportado asociados a cítricos en otras partes del mundo (Martínez-Ferrer & Campos-Rivela, 2017).

La identificación a nivel especie y la generación de secuencias de barcoding serán los siguientes pasos para completar la identificación de las hormigas, así como el uso de cebos y colecta manual en la parte aérea de los árboles para tratar de colectar la mayor cantidad de especies de hormigas.

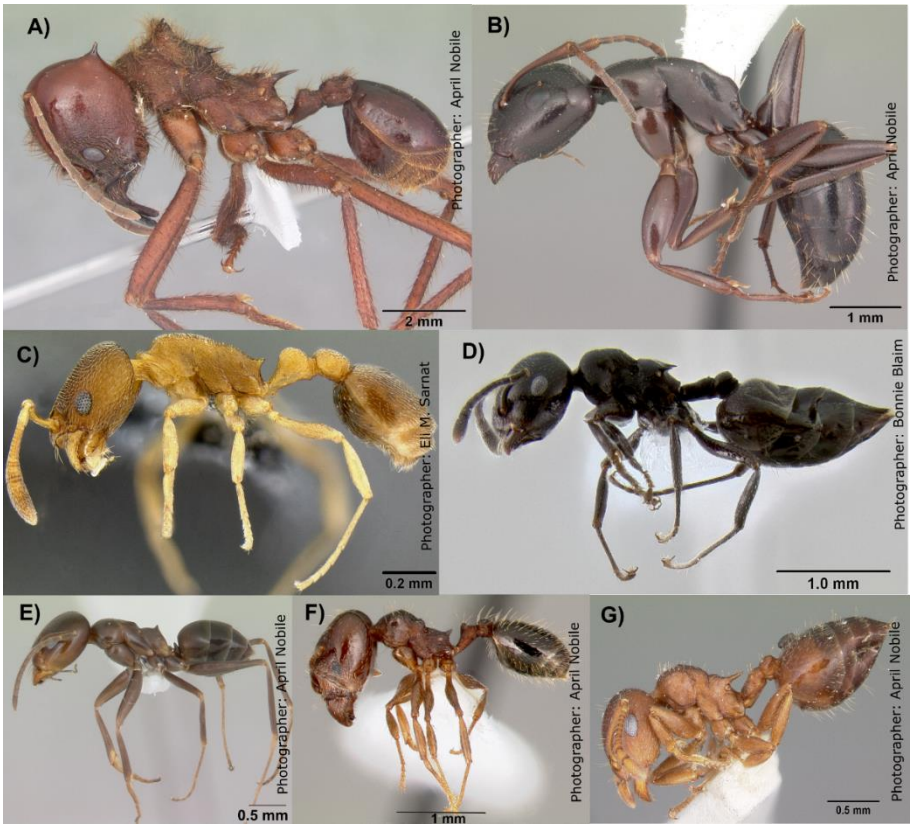


Figura 1. Formícidos identificados en el Banco de Germoplasma de Cítricos del Campo Experimental General Terán: A) *Atta*, B) *Camponotus,* C) *Cardiocondyla*, D) *Crematogaster*, E) *Dorymyrmex*, F) *Pheidole*, G) *Solenopsis*. Las fotos son ilustrativas de cada género identificado, obtenidas de © 2025 California Academy of Sciences, AntWeb.org.

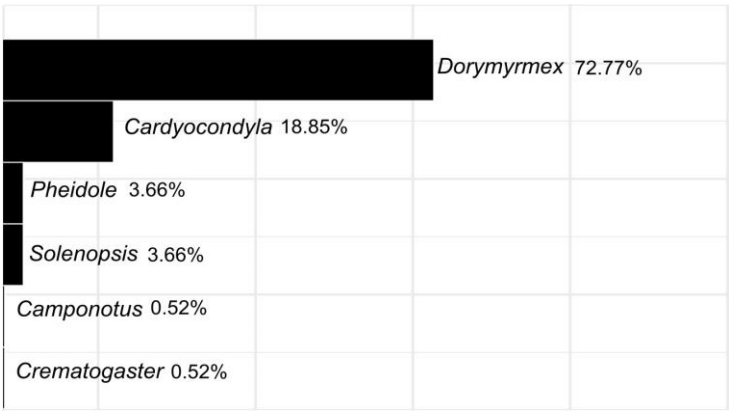


Figura 2. Frecuencias relativas de hormigas asociadas al Banco de Germoplasma de Cítricos del Campo Experimental General Terán.

Conclusiones

En el presente trabajo se enlistan de forma preliminar hormigas de los géneros: *Atta, Camponotus, Cardyocondyla, Crematogaster, Dorymyrmex, Pheidole* y *Solenopsis*, las cuales se encontraron asociadas a la Banco de Germoplasma del Campo Experimental General Terán del INIFAP. Las hormigas del género *Dorymyrmex* fueron las de mayor frecuencia relativa.

Referencias

Eggelton, P. (2020). The State of the World's Insects. Annual Review of Environment and Resources 45: 61-82. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-050035

Hoffmann, B. D. (2010). Using ants for rangeland monitoring: global patterns in the responses of ant communities to grazing. Ecological Indicators, 10(2), 105-111. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.016

Martínez-Ferrer, M. T., & Campos-Rivela, J. M. (2017). Diversity, spatial distribution, and sampling for ant management decision-making in integrated pest management programs in citrus groves. Entomologia Experimentalis et Applicata, 162(2). https://doi.org/10.1111/eea.12535

Mackay, W. P., & Mackay, E. E. (1989). Clave de los géneros de hormigas en México (Hymenoptera: Formicidae). En II Simposio Nacional de Insectos Sociales (pp. 1–18).

Parr, C.L. & Bishop, T.R., 2022. The response of ants to climate change. Global Change Biology 28, 3188-3205. https://doi.org/10.1111/gcb.16140

Ramírez, D. J. M. (1978). Cítricos (pp. 270–283). En S. T. Cervantes (Ed.), Recursos genéticos disponibles en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.

Ríos-Casanova, L. (2014). Biodiversidad de hormigas en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85(Supl. Ene), S392–S398. https://doi.org/10.7550/rmb.32519

Ruíz-Cancino, E. & Coronado-Blanco, J. M. (2002). Artrópodos terrestres de Tamaulipas y Nuevo León. Universidad Autónoma de Tamaulipas: Serie Publicaciones Científicas CIDAFF-UAT No. 2. México. 377 pp.

Schultheiss, P., Nooten, S.S., Wang, R., Wong, M.K.L., Brassard, F. & Guénard, B., 2022. The abundance, biomass, and distribution of ants on Earth. Proceedings of the National Academy of Sciences. 119, 1-9, https://doi.org/10.1073/pnas.2201550119

Underwood, E.C. & Fisher, B.L., 2006. The role of ants in conservation monitoring: if,when, and how. Biological Conservation 132, 166–182,https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.03.022

Vásquez-Bolaños, M. (2011). Hymenoptera: Lista de especies de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) para México. Dugesiana, 18(1), 95–133. https://doi.org/10.32870/dugesiana.v18i1.3995

Vásquez-Bolaños, M., Castaño-Meneses, G., Cisneros-Caballero, A., Quiroz-Rocha, G. A., & Navarrete-Heredia, J. L. (Eds.). (2013). Formicidae de México (164 pp.). Tagit.

Vásquez-Bolaños, M. (2025). Hormigas de México. https://sites.google.com/udg.mx/hormigasdemexico

LA ZEOLITA MEJORA EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO FORRAJERO DE TRES MORFOTIPOS DE NOPAL (*Opuntia* spp.) BAJO DÉFICIT HÍDRICO

Claudia González-Nieves[1], Aurelio Pedroza-Sandoval[2*], Fabián García González[2], Ricardo Trejo-Calzada[2], Isaac Gramillo-Ávila[2]

[1] Estudiante de Doctorado en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACh. [2] Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carr. Gómez Palacio - Chihuahua, Bermejillo, Dgo. CP. 35230. Bermejillo, Durango. *Autor de correspondencia*:* apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La sequía provocada por la precipitación deficiente en la agricultura ha hecho necesario profundizar la búsqueda de estrategias para mitigar el estrés hídrico en los cultivos tanto de riego como de temporal, que permitan una sostenibilidad de la producción alimentaria (Ruiz et al., 2023).El uso de aluminosilicatos, los cuales están contenidos en la zeolita, es una innovación tecnológica que está probando ser una alternativa tecnológica innovadora y viable, por sus efectos benéficos al suelo y a la planta, promoviendo una mayor resiliencia en el agroecosistema al actuar como retenedor del agua en el suelo, mejorar la condición nutrimental y facilitar la adquisición de los elementos químicos en la planta. La Comarca Lagunera de los estados de Coahuila y Durango, México, es una de las principales zonas agrícolas y ganaderas del país, donde la escasez de agua y la calidad de esta es el principal problema para la producción de cultivos forrajeros que son demandados para la ganadería productora de leche y carne. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la zeolita en el crecimiento de la planta, y la producción de forraje fresco en tres morfotipos de nopal (*Opuntia* spp.) bajo condiciones de déficit hídrico en el norte de México**.**

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh) en Bermejillo, Mapimí, Durango, México. La región se ubica a 101° 41’ y 104° 61’ LO y 24° 22’ y 26° 23’ LN a una altitud de 1,100 msnm (Medina, 2005).

***Diseño experimental y de tratamientos*.** El diseño experimental utilizado fue en bloques con un arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron las dosis de zeolita aplicadas al suelo: sin aplicar zeolita (T); 10 ton ha^{-1} y; 20 ton ha^{-1}. Las parcelas chicas fueron los morfotipos de nopal identificados como: C-CH, C-NA y C-HE. Las variables medidas fueron: el número de cladodios por planta y el rendimiento de producción de biomasa fresca (g).

Análisis de datos. Se realizó un análisis de varianza y la prueba de rangos múltiples de medias de Tukey para identificar el efecto del tratamiento, utilizando SAS versión 9.0. Se utilizó Excel versión 7.0 para crear gráficos

Resultados y discusión

El número de cladodios por planta (figura 1) está estrechamente relacionado con la biomasa fresca, depende principalmente del genotipo más que de la humedad del suelo proveniente de la zeolita. El número de cladodios tiende a aumentar con dosis altas de zeolita, con el valor más alto (40,8 cladodios por planta) en el morfotipo C-HE con 20 t ha^{-1}, y un aumento del 68,6 % en comparación con el C-CH sin zeolita (24,2 cladodios por planta). Se obtuvieron valores intermedios entre estos dos resultados al aplicar 10 t ha^{-1} a los tres morfotipos.

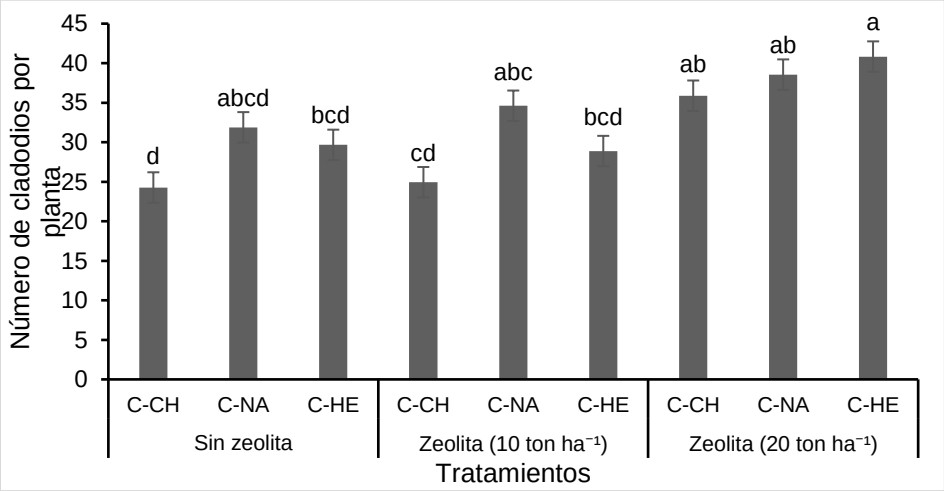


Figura 1. Número de cladodios por planta de nopal (*Opuntia* spp.) bajo diferentes contenidos de zeolita añadida al suelo. Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Las cifras con las mismas letras en la misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas. C-CH= colecta de nopal 1, C-NA= colecta de nopal 2, C-HE= colecta de nopal 3.

El peso de biomasa fresca (Figura 2) en el morfotipo C-CH registró el rendimiento significativamente mayor (P < 0,05), con un valor de 292,2 g al aplicar 20 t ha^{-1} de zeolita, en comparación con el morfotipo C-NA, que registró 224,1 g sin aplicar zeolita. Esta diferencia significa un 30,4 % más de peso de materia fresca que el C-NA sin aplicar zeolita (testigo).

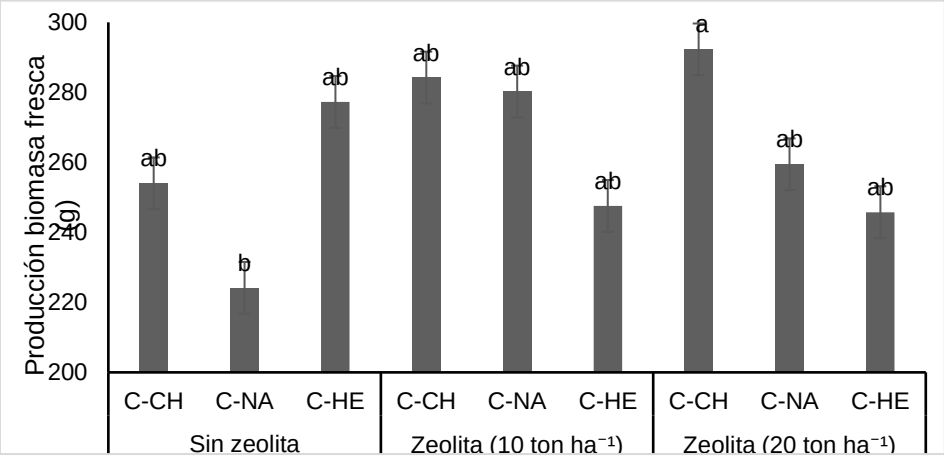


Figura 2. Rendimiento en biomasa fresca de nopal (*Opuntia* spp.) bajo diferentes contenidos de zeolita añadida al suelo. Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Las cifras con las mismas letras en la misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas. C-CH= colecta de nopal 1, C-NA= colecta de nopal 2, C-HE= colecta de nopal 3

Todos los beneficios de la zeolita en la planta ocurren a través de diferentes mecanismos a nivel del metabolismo secundario, como la producción de compuestos fenólicos por la acción del silicio (Kahn et al., 2019; Ahanger et al., 2020) y del aluminio en dosis bajas (Sun et al., 2020).

Conclusiones

El uso de la zeolita en cultivos de zonas áridas es una alternativa viable como uso racional de agua, siendo una práctica sustentable, y más para la zona norte catalogada como ganadera donde los cultivos forrajeros son los más frecuentes, pero con gasto de agua muy superior. De acuerdo con los resultados de las distintas colectas de nopal y los valores obtenidos con una dosis de 20 ton ha^{-1} para varios años de respuesta, indica que la colecta C-CH es viable para la alimentación de ganado en periodos donde el agua es escasa.

Referencias

Khan A, Khan AL, Muneer S, Kim Y-H, Al-Rawahi A, Al-Harrasi A. (2019). Silicon and salinity: crosstalk in crop-mediated stress tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*. , 10, 1429. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01429

Medina-García, G.; Díaz-Padilla, G.; López-Hernández, J.; Ruiz-Corral, J.A.; Marín-Silva, M. (2005), Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Durango. (Periodo 1961 –2003). Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico № 1. p. 240. http://www.inifapcirne.gob.mx

Ruiz-Sánchez, M., Muñoz-Hernández, Y., Rodríguez-Pérez, R., Santana-Baños, Y., Mesa-Sotolongo, S., Encalada-Córdova, M. E., & Florido-Bacallao, R. (2023) Eficiencia fisiológica de la planta de frijol ante un déficit hídrico. *Cultivos Tropicales*,*44*(1), 1-7. https://cu-id.com/2050/v44n1e06

Sun, L., Zhang, M., Liu, X., Mao, Q., Shi, C., Kochian, L. V., & Liao, H. (2020) Aluminium is essential for root growth and development of tea plants (Camellia sinensis). *Journal of Integrative Plant Biology*, *62*(7), 984-997. https://doi.org/10.1111/jipb.12942

EL TRÉBOL *Lotus corniculatus* L.: UNA ALTERNATIVA DE CULTIVO FORRAJERO EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO.

Aurelio Pedroza-Sandoval[1]*, José Alfredo Samaniego Gaxiola[2], Isaac Gramillo-Ávila[1].

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo. México. CP. 35230. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coah. CP. 27440 *Autor para correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Existen algunos cultivos nativos y/o introducidos que pueden ser alternativos en la alimentación del ganado y que son competitivos con relación a los tradicionalmente cultivados, que suelen ser más eficientes en la demanda del recurso hídrico. Estos cultivos son una opción para mitigar el problema del alto consumo de agua para la producción de forrajes. El trébol pata de pájaro *Lotus corniculatus* L es un cultivo de alto potencial forrajero de bajo consumo de agua para regiones con clima extremo con problemas de sequía (González-Espíndola et al. 2024). Tiene potencial de aumentar el rendimiento de un sistema de cría animal en pradera debido a su capacidad de crecer en suelos ácidos, su tolerancia a las bajas precipitaciones pluviales de verano/otoño y su alto valor nutricional (Álvarez-Vázquez et al. 2018). El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes materiales genéticos de *Lotus corniculatus* L. bajo condiciones óptimas y subóptimas de riego a campo abierto en la región norte de México.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el área experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh) en Bermejillo, Mapimí del Estado de Durango, México. Se usó un diseño experimental de bloques al azar en un arreglo de parcelas subdivididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes correspondieron a los contenidos de humedad: contenido óptimo de humedad del suelo (COHS) y contenido subóptimo de humedad del suelo (CSHS), correspondiente a 27% ±2 (rango: 25 – 27%) y 23% ±2 (rango: 21 – 23%), respectivamente. Las parcelas chicas correspondieron a cinco ecotipos identificados con ID 255301, 227318, 255305, 202700, 226792 y la variedad Estanzuela Ganador. La unidad experimental fue de 2 m de longitud de largo y 1 m de ancho con tres plantas enraizada en forma de rizomas y trasplantadas a una distancia de 0.5 m entre rizomas, con una longitud de 12 m por parcela grande. De cada unidad experimental se eligieron dos plantas al azar, a partir de las cuales se midieron las variables respectivas. La medición de las variables se realizó cada 45 días entre cortes, a los 60 días después del trasplante (DDT) se realizó el primer corte. Se midió el vigor, área foliar y rendimiento de forraje en términos de biomasa fresca. Para el análisis de los datos se utilizó el programa SAS v. 9.0.

Resultados y discusión

El vigor de la planta fue significativamente mayor en el ecotipo 226792 tanto en COHS como en CSHS con valores de 9.8 y 9.2 en una escala de 0 a 10 durante la primavera; mientras que en verano la mayoría de los materiales genéticos tuvieron un comportamiento similar de respuesta para esta variable, sobresaliendo nuevamente el ecotipo 226792 bajo COHS, lo cual es congruente con lo identificado por Xolocotzi-Acoltzi et al. (2024), pero bajo condiciones semiprotegidas de malla sombra, en tanto que este estudio fue realizado bajo condiciones de campo abierto. No hubo diferencia estadística entre ecotipos/variedad en términos de área foliar durante la primavera y en verano sobresalió el ecotipo 255305 en COHS (Cuadro 1).

Cuadro 1. Vigor de la planta y área foliar en trébol forrajero *Lotus corniculatus* L. en diferentes materiales genéticos bajo condiciones de déficit hídrico en dos épocas estacionales del año, 2023.

		Primavera		Verano	
CHS	**Ecotipos/ Variedad**	**VIG (0-10)**	**AF (mm^2)**	**VIG (0-10)**	**AF (mm^2)**
COHS 27%±2	**255301**	8.8 abc ±0.40	39.4 a ±6.66	9.6 ab ±0.51	18.8 ab ±7.14
	227318	8.5 bc ±0.54	41.3 a ±11.14	9.6 ab ±0.51	18.9 ab ±8.24
	255305	8.8 abc ±0.40	34.7 a ±14.07	9.6 ab ±0.51	24.1 a ±10.56
	202700	6.8 d ±0.75	42.1 a ±8.25	8.5 b ±0.54	13.9 ab ±4.97
	226792	9.2 ab ±0.44	33.4 a ±6.80	10.0 a ±0.0	10.9 b ±3.17
	Estanzuela Ganador	8.5 bc ±0.54	37.9 a ±13.38	9.3 ab ±1.03	12.5 ab ±5.7
CSHS 23%±2	**255301**	9.0 abc ±0.63	40.9 a ±8.50	9.5 ab ±0.83	19.0 ab ±5.18
	227318	9.0 abc ±0.0	39.5 a ±17.36	9.4 ab ±0.54	13.2 ab ±7.94
	255305	9.0 abc ±0.89	42.8 a ±10.29	9.3 ab ±0.51	16.0 ab ±5.76
	202700	8.0 c ±0.0	43.2 a ±21.97	9.0 ab ±0.0	9.4 b ±2.54
	226792	9.8 a ±0.40	38.2 a ±6.48	10.0 a ±0.0	11.8 b ±2.18
	Estanzuela Ganador	8.0 c ±0.89	43.5 a ±9.80	9.1 ab ±0.75	15.8 ab ±3.17

Prueba de Tukey (P> 0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. CHS= Contenido de humead del suelo; COHS= Contenido óptimo de humedad del suelo; CSHS= Contenido subóptimo de humedad del suelo; VIG= Vigor de planta en una escala de 0 a 10; AF= Área foliar.

El rendimiento de forraje en términos de biomasa fresca por rizoma, en la estación de primavera se mantuvo sin diferencias estadísticas significativas bajo COHS, mientras que en CSHS la variedad Estanzuela Ganador y el ecotipo 255301 fueron las de mejor respuesta, con valores de 577.3 y 547.6 g, respectivamente (figura 1A). En la estación de verano y bajo COHS, los ecotipos que tuvieron mayor PBFR fueron el 255301 y Estanzuela Ganador con valores de 321.6 y 303.5 g, respectivamente (figura 1B).

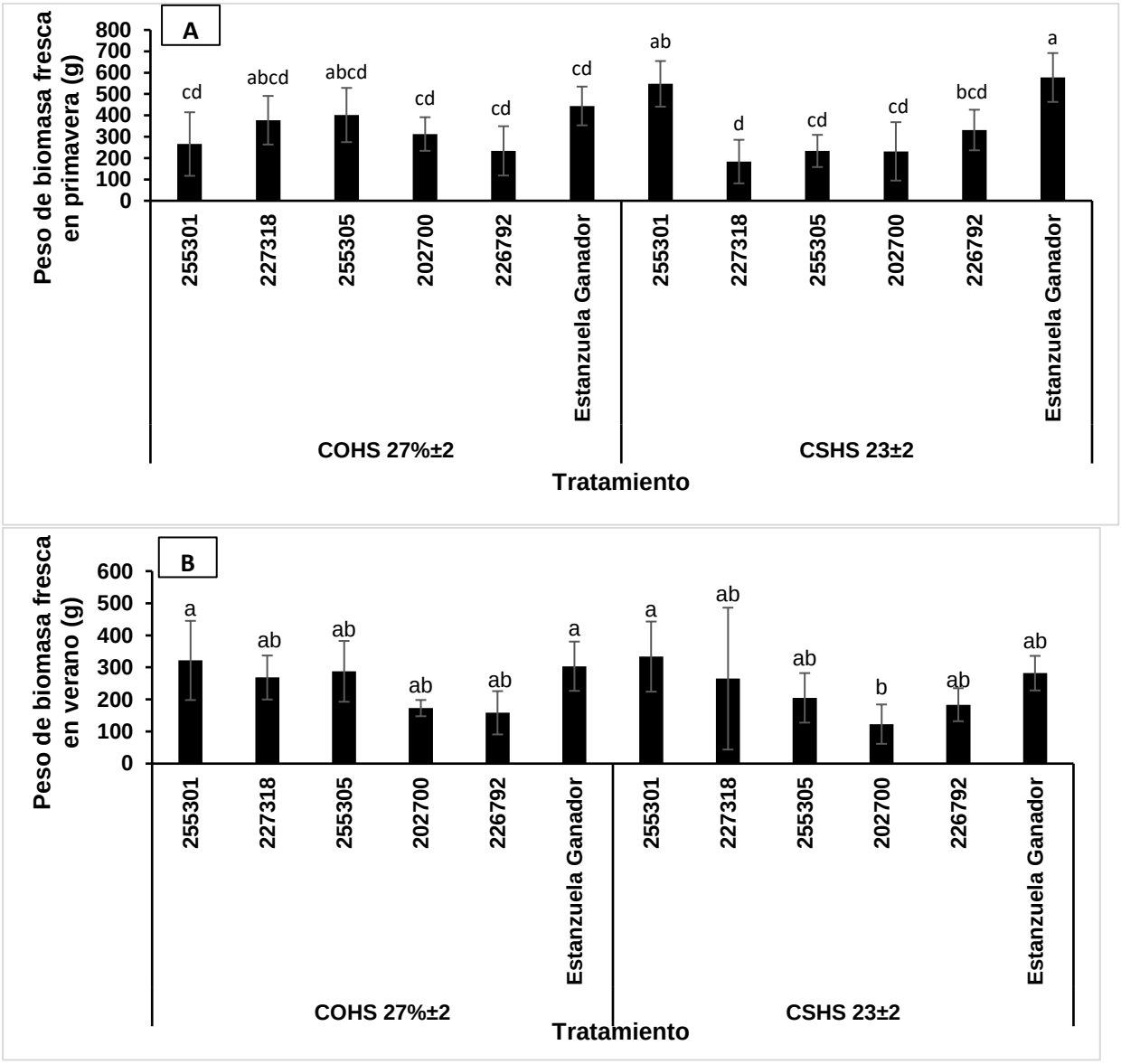


Figura 1. Peso de biomasa fresca de trébol forrajero (*Lotus Corniculatus* L.) bajo condiciones de déficit hídrico en las estaciones de primavera (A) y verano (B). Prueba de Tukey (P> 0.05). Barras con las mismas letras dentro de una misma condición de humedad, son estadísticamente iguales. COHS= Contenido óptimo de humedad del suelo; CSHS= Contenido subóptimo de humedad del suelo;

Conclusiones

El efecto de respuesta depende del ecotipo/variedad usados y la estacionalidad de producción (primavera y verano). No hubo efecto de tratamiento bajo COHS en la producción de biomasa fresca por rizoma (PBFR) en primavera, mientras que en CSHS la variedad Estanzuela Ganador y el ecotipo 255301 tuvieron una mayor PBFR; en verano bajo CSHS, el ecotipo 255301 y Estanzuela Ganador fueron los de mejor respuesta.

Referencias

Álvarez-Vázquez, P., García-De Los Santos, G., Guerrero-Rodríguez, J., Mendoza-Pedroza, S., Ortega-Cerrilla, M., y Hernández-Garay, A. (2018). Comportamiento productivo de *Lotus corniculatus* L. dependiente de la estrategia de cosecha. *Agrociencia*, 52(8), 1081 – 1093. https://www.google.com/url?q=https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.4950&sa=D&source=editors&ust=1666892792172336&usg=AOvVaw2VcgghyYDo69Bl2q5ON9RP

González-Espíndola, L. Á., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, Jacobo-Salcedo, María del R., García de los Santos, Gabino, and Quezada-Rivera. J. J. 2024. Relative Water Content, Chlorophyll Index, and Photosynthetic Pigments on *Lotus corniculatus* L. in Response to Water Deficit. Plants 13, 7: 961. https://doi.org/10.3390/plants/13070961

Xolocotzi-Acoltzi, S., Pedroza-Sandoval, A.; García-De los Santos, G.; Álvarez-Vázquez, P., Gramillo-Ávila, I. (2024). Growth, Productivity, Yield Components and Seasonality of Different Genotypes of Forage Clover Lotus corniculatus L. under Varied Soil Moisture Contents. Plants 13, 1407. https://doi.org/10.3390/plants13101407

EFECTO DE ESTRESES ABIÓTICOS EN LA IDONEIDAD CLIMÁTICA DE FRIJOL EN MÉXICO

Nadiezhda Ramírez-Cabral*, Ricardo Sánchez-Gutiérrez, José Ángel Cid-Ríos.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas. km 24.5, Zacatecas - Fresnillo, CP. 98500, Fresnillo, Zacatecas. *Autor de Correspondencia: ramirez.nadiezhda@inifap.gob.mx

Introducción

México es centro de origen del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y un importante productor a nivel mundial, ocupando el séptimo lugar (FAO, 2017). Esta leguminosa es una importante fuente de proteínas, además de poseer varias propiedades nutritivas y características nutracéuticas, siendo beneficioso su consumo de manera diaria. El frijol se adapta a climas diversos pudiendo encontrarse distribuido en los todos los continentes, constituye un grano básico, principalmente, en varios países en vías de desarrollo y subdesarrollados (Ulloa et al., 2011).

La mayor parte de las siembras se realiza en condiciones de temporal, y México no es la excepción, esto, aunado a otras limitantes de producción, genera bajos rendimientos del grano, por ejemplo, el rendimiento promedio de frijol de temporal, en México, es de tan solo 0.7 t ha-1. Las limitantes de los cultivos pueden ser de tipo biótico (plagas, enfermedades, malezas) o abióticos (clima, tipo de suelo, nutrientes). Uno de los factores abióticos con más influencia en la sanidad, calidad y rendimiento en el frijol es el clima, con mayor peso la temperatura, precipitación y humedad relativa. Al ser casi el 90% de las siembras de frijol de temporal, la producción se vuelve, altamente dependiente de las condiciones del clima, y aún con las grandes extensiones que son sembradas en el país se tienen un déficit del grano por lo que se tienen que importar, generalmente de EUA, para cubrir la demanda (Bravo *et al.,* 2023).

Anteriormente, se tenían tendencias claras de cómo se esperaban los temporales, cómo se comportaría la temperatura y la lluvia, sin embargo, estos factores climáticos se han vuelto muy inestables y cambiantes, incrementándose esta inestabilidad año con año debido a los cambios en los patrones de clima, fenómeno conocido como cambio climático. El cambio climático está afectando a la agricultura en todo el mundo, y México también se ha visto afectado (Medina *et al.,* 2016). Las temperaturas promedio han venido incrementándose en las áreas agrícolas y las precipitaciones se han vuelto más erráticas, en ocasiones con lluvias torrenciales que duran poco tiempo y que no se pueden aprovechar por los cultivos, otras veces lluvias copiosas que dejan buena humedad, pero seguidas de días calurosos que incrementan la evapotranspiración. Es de vital importancia conocer los efectos de estos cambios en los patrones de clima en la agricultura, principalmente, en cultivos básicos para el país como el frijol y el maíz. A la fecha en el país ya se han realizado varios estudios de los impactos del cambio de clima en la agricultura (Zarazua et al., 2011; Aguirre *et al.,* 2021). Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue modelar el impacto del cambio del clima en el cultivo del frijol en territorio mexicano, así como conocer la influencia que tienen los distintos estreses sobre estos cambios.

Materiales y métodos

El modelado se realizó con CLIMEX, modelo mecanístico-estadístico que es, ampliamente, usado para estimar la abundancia potencial y de diferentes organismos, usando información climática y parámetros biológicos específicos de los organismos (Sutherst y Maywald, 1985).

La información climática necesaria para correr el modelo son valores mensuales promedio de temperatura mínima, máxima, precipitación así como humedad relativa a las 9:00 y 15:00 hrs. En cuanto a parámetros biológicos se requiere: las temperaturas umbrales, requerimientos de humedad, comportamiento del organismo frente a estrés de calor, frío, humedad y sequía. Si se cuenta con la información de grados días de desarrollo, tambíen puede ser incluida. Otra entrada del modelo son los puntos referenciados de la especie a modela, las incidencias. El modelo genera un índice ecoclimático definido por la ecuación:

IE=Indice de crecimiento anual*indice de estrés anual

El índice ecoclimático da la idoniedad del cultivo en las diferentes áreas, conocido también como potencial productivo.

Para la información climática se utilizó la base de datos de CliMond con línea base de (1961-1990). Los modelos de circulación global usados fueron CSIRO MK3.0 y MIROC-H, con el escenario A2 para los periodos del 2050 y 2010. Para mayores detalles de los métodos usados consultar (Ramirez-Cabral et al., 2016).

El modelado se validó con un área que fue dejada aparte durante el ajuste de los parámetros. Las temperaturas umbrales fueron establecidas a 9°C y 32°C, comenzando los estreses por temperatura a 4°C y 35°C. Los factores biológicos fueron tomados de experimentos y literatura.

Resultados y discusión

En este modelado se tomó como área con condiciones potenciales para el cultivo de frijol donde el índice ecoclimático fue mayor a cero, sin tomar en cuenta clasificaciones como condiciones: marginales, medias y óptimas que se han hecho en otros estudios. La figura 1 muestra en la primera línea el índice ecoclimático (a), en la segunda línea muestra el estrés por calor (b), seguida por el estrés por frío (c), y el estrés por sequía (d) y en la última línea se muestra el estrés por humedad (e); esto para los periodos histórico, 2050 y 2100, respectivamente.

Históricamente, todas las regiones muestran cierto grado de aptitud para el frijol común, con excepción de Baja California Sur. La pérdida de aptitud se producirá para el periodo del 2050, reduciéndose en algunos estados como Hidalgo, Estado de México y Tlaxcala. Como se muestra en el modelado es muy probable que esta reducción se deba al aumento del estrés por calor y sequía. Para 2100, el estrés por calor y sequía cubrirán la mayor parte del territorio mexicano. Sin embargo, la incidencia de estrés por frío y humedad parece no ser importante, e incluso estos estreses comienzan a reducirse para los escenarios futuros (Figura 1, c y e).

Gonzáles et al., (2011) realizaron un estudio para cuatro variedades de frijol común para los periodos 2021-2030 y 2041-2050, sin encontrar cambios significativos en la idoneidad climática para el cultivo. Sin embargo, Medina et al. (2016) estudiaron el efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol común en México para 2030, 2050 y 2070 con un conjunto de once modelos de circulación general (MCG), y encontraron una disminución en las áreas con potencial productivo para esta leguminosa debido al aumento de la temperatura promedio y la reducción de la precipitación para el período de mayo a octubre. En general, este estudio mostró una disminución de las áreas para el cultivo de frijol común, pero con algunas excepciones como el Estado de México, que se proyectó que aumentaría su potencial para este cultivo (Medina et al., 2016).

En el modelado realizado, en este estudio, se ve una disminución importante de la idoneidad climática, por el incremento de los estreses de calor y sequía, concordando con el trabajo anterior.

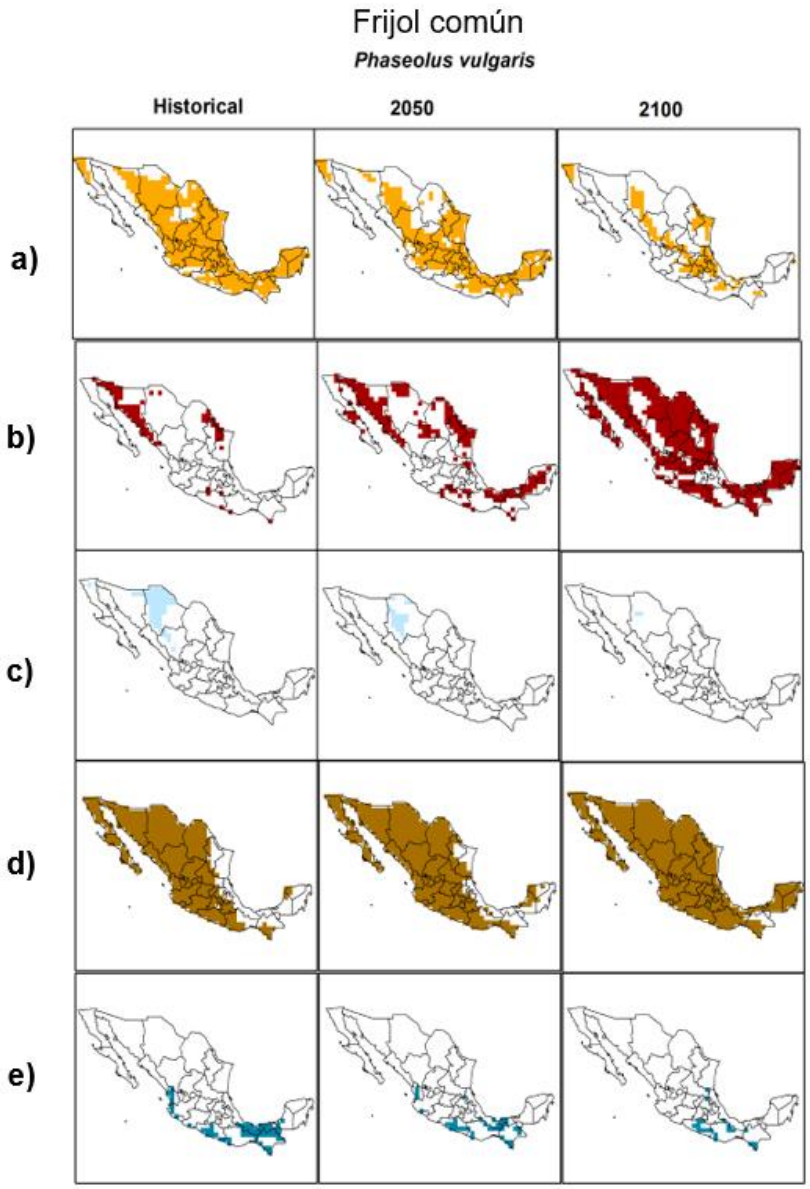


Figura 1. Mapeo de la idoneidad climática para el cultivo de frijol y estreses climáticos, histórico, periodo 2050 y periodo 2100. a) Índice ecoclimático, b) Estrés por calor, c) Estrés por frío, d) Estrés por sequía, e) Estrés por humedad.

Tomando en cuenta los resultados anteriores, una medida para mitigar el efecto del cambio en los patrones de clima sería el desarrollo de variedades tolerantes a altas temperaturas y periodos de sequía, como Tepehuán-RS, variedad de reciente liberación por el INIFAP, resistente a altas temperaturas y sequía (Jiménez et al., 2025). El mejoramiento de la resistencia a la sequía y al calor en maíz y frijol común podría mejorar su adaptación climática en el futuro, por lo que la prioridad es generar variedades resistentes a la sequía debido a los cambios anuales en las precipitaciones que pueden causar la pérdida total de los cultivos (Beebe et al., 2011).

Conclusión

El análisis de México a partir del modelo global proporcionó información importante sobre la idoneidad climática del frijol para escenarios futuros, sin embargo, el enfoque presenta limitaciones para los tomadores de decisiones al no contemplar las interacciones con plagas, enfermedades u otros organismos, por mencionar algunas limitaciones. También es importante contemplar los cambios evolutivos en las especies para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, aspecto que tampoco es tomado en este modelado. Este modelo proyecta disminuciones en la idoneidad climática del frijol para escenarios futuros, muy probablemente debidas a los incrementos del estrés por calor y sequía, que se puede observar en los mapas. Tales estreses no eran contemplados en anteriores modelos de idoneidad climática.

Referencias

Aguirre, D. A. R., García O. M. A., Mendoza, H. B., Rojas, G. S., Bravo, O. E. R., y García, D. J. 2021. Impacto del cambio climático en la distribución potencial de tres cultivos agrícolas en México. Acta Agrícola y Pecuaria, 7(1), 1-16.

Beebe, S., Ramirez, J., Jarvis, A., Rao, I. M., Mosquera, G., Bueno, J. M., y Blair, M. W. 2011. Genetic improvement of common beans and the challenges of climate change. Crop adaptation to climate change. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

Bravo, M. B., Salazar, J. A. G., Arciniega, S. A., Quintero, S. X. A., y Hernández, L. G. G. 2023. Efectos de la sequía sobre el mercado mexicano de frijol. Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América, 48(2), 76-82.

FAO. 2017. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estadísticas de la producción mundial. http://www.fao.org/fishery/statistics/e.

González, E. D. R.; Ruiz, C. J. A.; Lépiz, I. R.; González, A. A.; López, A. E.; Ramírez, O. G.; Zarazúa, V. P. y Durán, P. N. 2011. Expectativas de adaptación al cambio climático de tres variedades de frijol en Jalisco. Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 2:337-350.

Jiménez G., J. C., Padilla C. D., Anaya L. J. L., Acosta G., J. A., Ramírez-Cabral, N., Sánchez G., R. A., y Figueroa G., J. J. 2025. 'Tepehuán-RS'a new drought tolerant, high grain yield in low plant densities and slow darkening pinto bean cultivar. Journal of Plant Registrations, 19(1), e220420.

Medina G., G., Ruiz C., J. A., Rodríguez M., V. M., Soria R., J., Díaz P., G., y Zarazúa V. P. 2016. Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(SPE13), 2465-2474.

Ramirez-Cabral, N. Y. Z., Kumar, L., y Taylor, S. 2016. Crop niche modeling projects major shifts in common bean growing areas. Agricultural and Forest Meteorology, 218, 102-113.

Sutherst, R., Maywald, G., y Kriticos, D. 2007. CLIMEX version 3: user's guide. Hearne Scientific Software Pty Ltd.

Tejeda, M. A. y Rodríguez, V. L. 2007. Estado de la investigación de los aspectos físicos del cambio climático en México. Investigaciones Geográficas. Boletín. 62:31-43.

Ulloa J., A., Rosas U., P., Ramírez R., J. C., y Ulloa R., B. E. 2011. El frijol (Phaseolus vulgaris): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Repositorio Institucional Aramara. 3: 5-8

Zarazúa-Villaseñor, P.; Ruiz-Corral, J. A.; González-Eguiarte, D. R.; Flores-López, E. H. y Ron-Parra, J. 2011. Cambio climático y agroclimático para el ciclo otoño-invierno en la región Ciénega de Chapala. Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 2:295-308.

LA ZEOLITA Y LOS EXTRACTOS DE ALGAS COMO AGENTES BIOESTIMULANTES EN EL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE TOMATE *Solanum lycopersicum* L. EN CONDICIONES DE DÉFICIT HÍDRICO

José Antonio Miranda-Rojas, Aurelio Pedroza-Sandoval*, Isaac Gramillo-Ávila, Ricardo Trejo-Calzada.

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Dgo., México. *Autor de correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El déficit hídrico es uno de los principales factores limitantes de la productividad agrícola en zonas áridas, donde la escasez de agua y las altas temperaturas reducen significativamente el crecimiento y la producción de los cultivos (Seleiman et al., 2021). El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza de gran importancia económica, pero altamente sensible a condiciones de sequía, que provoca abscisión floral, senescencia foliar y disminución del rendimiento (Toth, 2022). Ante esta problemática, el uso de bioestimulantes de origen orgánico e inorgánico ha cobrado relevancia. Los extractos de algas marinas contienen fitohormonas, aminoácidos y vitaminas que favorecen la tolerancia al estrés y la eficiencia en el uso de nutrientes (Ali et al., 2021). La zeolita, por su parte, es un mineral aluminosilicatado que mejora la retención de humedad, la disponibilidad de nutrientes y la capacidad antioxidante de las plantas (Hazrati et al., 2017). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del extracto de algas y de la zeolita, aplicados solos y en combinación, sobre indicadores fisiológicos y de productividad en tomate bajo condiciones de humedad subóptima y deficitaria en la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), Bermejillo, Durango (25.8° N, 103.6° O, 1130 msnm). El clima es BWhw(e) semiárido cálido, con precipitación anual de 199.6 mm y temperaturas extremas de hasta 35 °C (INEGI, 2023). Se utilizó un diseño en bloques al azar con parcelas divididas y tres repeticiones. Las parcelas grandes correspondieron a dos contenidos de humedad**:** subóptimo (25 % ± 2 **y** deficitario (20 % ± 2). La capacidad de campo fue de 32 % y punto de marchitez permanente fue del 13 %, determinados mediante la olla de membrana Richards (1948). En las parcelas chicas se aplicaron cuatro tratamientos: el primero consistió en extracto de algas (AE, 50 L ha^{-1}), el segundo en zeolita (Z, 20 t ha^{-1}), el tercero fue la combinación de ambos productos a dosis medias de las anteriores (AE+Z correspondiente a 25 L ha^{-1} + 10 t ha^{-1}, respectivamente) y el cuarto fue el testigo sin aplicación de ningún producto. Se evaluaron variables fisiológicas como índice de clorofila (CCI), contenido relativo de agua (CRA) y tasa fotosintética (µmol CO_2 m^{-2} s^{-1})**.** La medición se realizó a los 42 días después del trasplante. Finalmente se midió la productividad de tomate: número de frutos por planta, peso de frutos y rendimiento (kg m^{-2}). La base de datos se procesó estadísticamente con el Programa estadístico SAS Versión 9.0.

Resultados y discusión

El índice de clorofila fue mayor en el tratamiento AE+Z bajo humedad subóptima, con un incremento del 22.3% respecto al testigo, mientras que AE y Z lograron aumentos de 16.6% y 12.1% respectivamente (Figura 1). Bajo contenido de humedad deficiente los valores disminuyeron drásticamente y no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. El contenido relativo de agua (CRA) mostró un efecto moderado de los tratamientos aplicados, observándose una ligera mejora en la respuesta al bioestimulante en AE, Z y su combinación (AE + Z) bajo condiciones de humedad del suelo subóptimas, en comparación con condiciones de deficiencia hídrica. Entre los tratamientos, el extracto de algas (AE) presentó el mayor efecto, aumentando el CRA en un 4 % cuando se aplicó a 50 L ha^{-1} bajo humedad subóptima (25 % ± 2), respecto al 20 % ± 2 observado en suelos con deficiencia de agua (Figura 2).

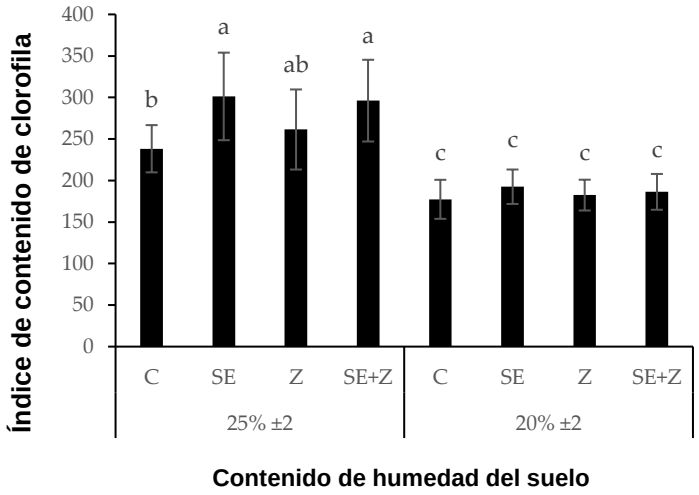


Figura 1. Efecto del extracto de algas y zeolita en el índice de clorofila en tomate *Solanum lycopersicum* L. var. Saladette bajo condiciones subóptimas de humedad del suelo (25% ± 2) y deficientes (20% ± 2).

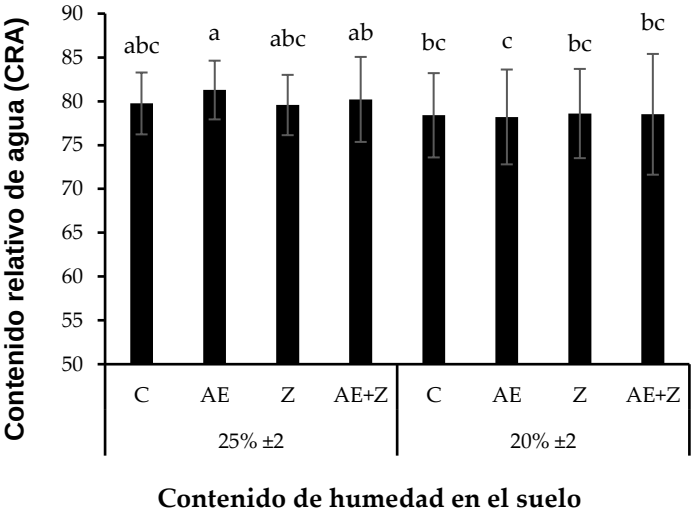


Figura 2. Efecto del extracto de algas y zeolita en el contenido relativo de agua en tomate *Solanum lycopersicum* L. var. Saladette bajo contenidos subóptimos (25% ± 2) y deficientes (20% ± 2) de humedad del suelo.

La tasa fotosintética mostró su valor más alto con zeolita (20.9 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}), un 18 % superior al testigo (Figura 2). El AE por sí solo no presentó efecto positivo y fue incluso menor que el control. Estos resultados coinciden con reportes donde la zeolita mejora la eficiencia del uso de agua y nutrientes en cultivos bajo estrés (Hazrati et al., 2017).

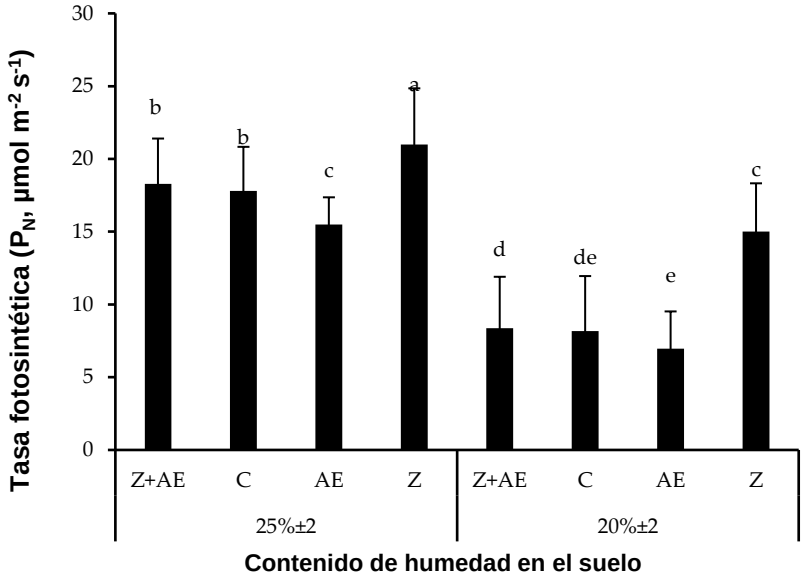


Figura 3. Efecto del extracto de algas y zeolita en tomate *Solanum lycopersicum* L. var. Saladette bajo contenido subóptimo de humedad del suelo (25% ± 2) y deficiente (20% ± 2).

El número de frutos por planta bajo condiciones subóptimas aumentó significativamente con todos los bioestimulantes: 6.62 con AE, 5.62 con Z y 6.41 con AE+Z, frente a 2.5 en el testigo (Cuadro 1). Bajo contenido de humedad deficiente, los valores fueron similares o inferiores al control. En cuanto al rendimiento, el AE alcanzó 0.90 kg m^{-2} y la zeolita 0.97–1.34 kg m^{-2}, lo que representa incrementos de 333 y 425%, respectivamente, con relación al testigo (Cuadro 1). Estos valores son consistentes con lo reportado en otros estudios, donde los bioestimulantes incrementan la productividad bajo riego limitado, pero no en condiciones cercanas al marchitamiento permanente (Majid et al., 2020).

Cuadro 1. Rendimiento de tomate *Solanum lycopersicum* L. var. Saladette como resultado de la aplicación de extracto de algas y zeolita bajo déficit hídrico del suelo.

Contenido de humedad en el suelo (%)	Productos bioestimulantes	NFHPP	Peso del fruto (kg planta^{-1})	Rendimiento (kg m^{-2})
25% ± 2	Testigo	2.5 bc ± 0.35	0.04 ab ± 0.009	0.27 ab ± 0.01
	Extractos de Alga (AE)	6.62 a ± 0.17	0.16 ab ± 0.02	0.90 a ± 0.04
	Zeolita (Z)	5.62 a ± 1.23	0.17 a ± 0.1	0.3 ab ± 0.2
	AE + Z	6.41 a ± 0.38	0.15 ab ± 0.09	0.63 ab ± 0.31
20% ± 2	Testigo	1.85 bc ± 0.17	0.03 b ± 0.01	0.18 b ± 0.09
	Extractos de Alga (AE)	2.00 bc ± 0.35	0.03 b ± 0.01	0.16 b ± 0.1
	Zeolita (Z)	1.75 c ± 1.41	0.03 b ± 0.02	0.1 b ± 0.06
	AE + Z	4.5 ab ± 0.7	0.04 ab ± 0.02	0.20 b ± 0.12

Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de la misma columna son estadísticamente iguales. NFHPP = número de frutas cosechadas por planta. ± El valor de la desviación estándar.

Conclusiones

La aplicación de extracto de algas y zeolita, solos o combinados, incrementó de manera significativa el rendimiento del tomate bajo un contenido subóptimo de humedad del suelo, con aumentos de hasta 425% respecto del testigo. Sin embargo, bajo riego deficiente próximo al punto de marchites permanente los productos no mostraron efecto compensatorio. Estos hallazgos resaltan la importancia de hacer un manejo adecuado de los bioestimulantes como parte de estrategias de riego eficiente en zonas áridas, donde la disponibilidad de agua es limitada, pero que es factible mantener riegos moderados donde los bioestimulanes como los extractos de algas y la zeolita mitigan el estrés hídrico de la planta manteniendo niveles adecuados de producción.

Referencias

Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10, 531.

Majid, S. A., Khan, N., & Singh, D. (2020). Influence of water stress on chlorophyll and yield components in maize cultivars. *Journal of Agronomy*, 19(2), 45–54.

Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: a review. *Agronomy*, 12(3), 635.

Seleiman, M. F., et al. (2021). Drought stress impact on plants and approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10, 259.

Selahvarzi, Y., et al. (2019). Zeolite application improves growth and carotenoid content in tall fescue under water stress. *Grass and Forage Science*, 74(4), 653–661.

ALGUNOS INDICADORES FISIOGRÁFICOS Y SU IMPACTO EN LA EROSIÓN DEL SUELO EN LA CUENCA NAZAS-AGUANAVAL EN EL ESTADO DE DURANGO, MÉXICO.

Caballero-Godínez, R., García-Martínez, M. C., González-Nieves, C., Jiménez-Morales, A.F., Maciel-Torres, K. P., Martínez-Orona S. I., Ortega-Robles, E. E., Ravelo-Quiñones, A., Venegas-López, J. M., Pedroza-Sandoval, A.*, Gramillo-Ávila, I.

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo. México. CP. 35230. *Autor de correspondencia: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El estudio del tiempo y el clima constituye un aspecto fundamental dentro de las ciencias ambientales y agroecológicas, ya que ambos factores determinan en gran medida el potencial productivo de una región. México es un país caracterizado por una orografía accidentada, que se distingue por la presencia de cadenas montañosas, planicies, valles y depresiones que generan una notable diversidad de microclimas (García, 2004). Este mosaico fisiográfico, además de estar condicionado por la altitud y la temperatura, se encuentra también influido por los factores edáficos, lo que en conjunto propicia la conformación de distintos tipos de agroecosistemas (Toledo & Barrera-Bassols, 2008). El objetivo de este estudio fue hacer una caracterización usando algunos indicadores fisiográficos y su impacto en la erosión del suelo de las tres grandes subcuencas de la Cuenca hidrológica Nazas-Aguanaval en el Estado de Durango, México.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en tres áreas representativas de la Cuenca Nazas-Aguanaval, ubicada a 24º 08' 12.7'' y 25º 40' 0.5'' LN, y 103º 47' 19.5'' y 104º 33' 52.2'' LO entre los Estados de Zacatecas, Durango y Coahuila. En particular, el estudio se realizó dentro del Estado de Durango en el transecto Mapimí – Presa Lázaro Cárdenas en la Comunidad de el Palmito, que se encuentra entre los municipios de Inde y el Oro, del Estado de Durango (CONAGUA, 2015).

Se monitorearon tres sitios, siguiendo un Muestreo Simple Aleatorio dentro de cada sitio, correspondiente a cada una de las subcuencas de la Cuenca hidrológica Nazas-Aguanaval:cuenca baja, media y alta dentro del Estado de Durango. La subcuenca baja fue a 25 km de la carretera Mapimí - Presa Lázaro Cárdenas a 25° 52’ 25.6’’ LN, 104° 03’ 58’ 37’’ LO y un altura de 1,418 m con dominancia de vegetación micrófila y rosetófila con matorral tipo izotal y suelos calcáreos superficiales; la subcuenca media fue a 80 Km del tramo antes citado, a 25° 47’ 52.1” LN y 104° 35’ 48.6” LO y una altura de 1,987 m caracterizado por la dominación de pastizal y vegetación nativa como el sotol *Dasylirion wheeleri* y otras especies herbáceas y arbustivas, suelos medianamente superficiales; la subcuenca alta fue a 140 Km del tramo antes citado a 25° 44’ 74.9” LN 104° 53’ 69.8” LO y una altura de 2122 m, con dominancia de pasizal y vegetación arbustiva y arbórea de bosque semitemplado como cedro (*Cedrela odorata* L.), chamizo (*Adenostoma fasciculatum* L.) y esporádicamente pino piñonero (*Pinus pinea* L.) y otras especies nativas de menor frecuencia, suelos someramente profundos.

En cada sitio de evaluación se midió por triplicado: (1) Contenido de humedad actual del suelo, mediante la fórmula $CHAS = \frac{Psh-Pss}{Pss} * 100$, donde CHAS es el contenido de humedad actual del suelo (%), Psh es el peso de suelo húmedo, Pss es el peso de suelo seco; (2) La biodiversidad expresada por el número de especies interceptadas en un transecto al azar de 30 m y cobertura vegetal expresada en porcentaje de planas interceptadas con respecto del total en un transecto al azar de 30 m, mediante el método de la Línea de Canfield (González et al., 2012); (3) La erosión del suelo mediante el principio metodológico de los clavos y rondanas midiendo una superficie de 25 cm^2 de una superficie de suelo no erosionado y calcular el volumen de suelo removido tomando como referencia la parte basal del suelo adyacente erosionado que forma una especie de pequeña cárcava (Anaya, 1991). Para el análisis de los datos se utilizó el programa SAS v. 9.0.

Resultados y discusión

El contenido de humedad actual del suelo y la biodiversidad vegetal no variaron estadísticamente ($P < 0.06$) entre las tres subcuencas del Nazas-Aguanaval, lo cual hace ver que estos indicadores fisiográficos se mantienen igual en las tres subcuencas, mientras que la densidad vegetal, independientemente de la especie interceptada mostró un gradiente de mayor a menor en sentido de la cuenca baja, media y alta con valores de 28.5, 44.5 y 64 plantas interceptadas, respectivamente. Lo anterior significa que, conforme se va aumentando la altura de los sitios muestreados la biodiversidad se mantiene en términos de especies interceptadas, en tanto que la densidad vegetal aumenta de manera directamente proporcional a la altura del sitio. En tanto que, de manera inversa, la erosión fue en un gradiente de mayor a menor, pero en sentido de la cuenca baja, media y alta con valores de 910, 628.3 y 386.7 t ha^{-1}, lo cual significa que el movimiento del suelo por efecto de erosión hídrica es inversamente proporcional a la cobertura del suelo expresada en términos de densidad vegetal, lo cual es congruente a lo reportado por Pedroza-Parga et al. (2022) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Caracterización con algunos indicadores fisiográficos e impacto en la erosión del suelo de las subcuencas de la Cuenca Nazas-Aguanaval en el Estado de Durango, México.

Cuenca hidrológica Nazas-Aguanaval	CHAS (%)	BIODIV (Número de especies)	COBERTURA VEGETAL (%)	EROSION (t ha^{-1})
Cuenca Baja	19.2a	6.6a	28.5b	910.0a
Cuenca Media	16.8a	7.3a	44.5ab	628.3ab
Cuenca Alta	16.0a	8.6a	64.0a	386.7b

Prueba de Tukey ($P< 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. CHAS, es el contenido de humedad actual del suelo; BIODIV= Biodiversidad vegetal; COBERTURA VEGETAL, expresada en términos del número de especies de plantas interceptadas con respecto del total de plantas interceptadas en un transecto de 30 m por el método de Canfield (González et al., 2012).

En un análisis de dominancia por especie de vegetación, en la subcuenca baja se identificaron diversas especies características de la zona árida, observándose mayor abundancia de gpbernadora *Larrea tridentata*, sangre de drago *Jatropha dioca* y huizache *Acacia constricta* en una proporción de 40 %; 20 % con 16 %, respectivamente. Después se diversifica en otras especies con abundancia menores al 8 %. En la subcuenca media predomina pastos, huizache (*Vachellia constricta)* y trompillo (*Solanum hindsianum)*, en proporciones de 33.5 %, 14.7 % y 12.1 %, respectivamente, y después una diversidad de especies con abundancia menor al 8 %.

En la subcuenca alta sobresale la dominancia de pasto navajita (*Bouteloua gracilis)* con dominancia del 51.6 %, le siguió en importancia el huizache (*Acacia greggii)* con 12.7% y luego una diversidad vegetal menor al 8 % con 13 % de otras especies, lo cual indica que, en esta área, aunque con baja frecuencia, existe una mayor diversidad de especies y por ende una mayor densidad vegetal (Figura 1).

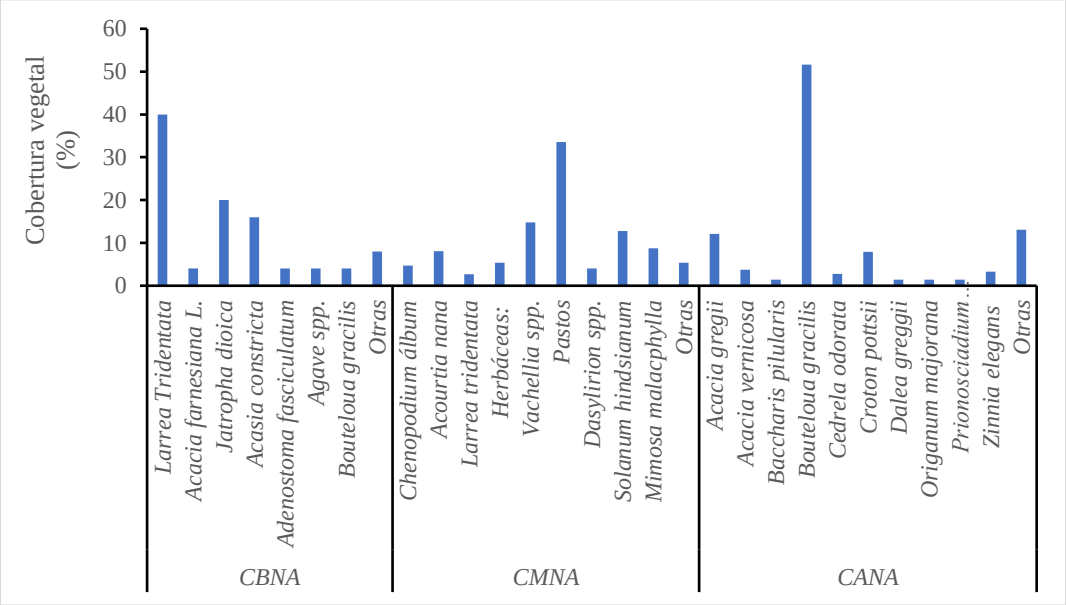


Figura 1. Predominancia de vegetación expresada en porcentaje del número de especies de plantas interceptadas respecto del total de plantas interceptadas en un transecto de 30 m. CBNA es la cuenca baja de Nazas-Aguanaval; CMNA) es la cuenca media del Nazas-Aguanaval y; CANA, es la cuenca ala del Nazas-Aguanaval en el Estado de Durango.

Conclusiones

La altura por el relieve es determinante en la configuración de los mosaicos fisiográficos que se conforman con impacto en algunas características del suelo como la erosión, producto de la escorrentía superficial, la pendiente del suelo, pero sobre todo de la cobertura por la densidad vegetal, donde las subcuencas baja, media y alta mostraron un gradiente ascendente de cobertura, con respecto a un gradiente descendente en la erosión del suelo conforme se incrementa la altura, con menor impacto de erosión del suelo en la subcuenca alta, un valor intermedio en la subcuenca media y un significativo mayor valor en la subcuenca baja. El contenido de humedad del suelo y la biodiversidad se mantienen similares independientemente de la altura en las subcuencas. Lo anterior es importante para ser considerado en los planes de manejo del suelo y el potencial de bioproductividad para fines agropecuarios en esa gran región conformada por la Cuenca Hidrológica Nazas-Aguanaval.

Referencias

Anaya, G. M. (1991). Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de Posgraduados-SARH-SPP. https://books.google.com.mx/books/about/Manual_de_conservaci%C3%B3n_del_suelo_y_del.html?id=Z5UqpYIqwXMC&redir_esc=y

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2015). Actualización de la disponibilidad de agua en el acuífero La Victoria, Estado de Durango (DR-1012). Dirección Local Durango. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/durango/DR_1012.pdf

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM.

González, U. D. U., Padilla R. H., González, S. F. Uvalle, J. S. y Reséndiz, L. D. (2019). Mejora a la estimación de la cobertura vegetal por línea intercepto o línea de Canfield. *Ciencia UANL* 15 (69): 72-79. https://www.researchgate.net/publication/335057470

Pedroza-Parga, E., Pedroza-Sandoval, A., Velasquez-Valle, M. A., Sánchez-Cohen, I. y Samaniego-Gaxiola, J. A. 2022. Effect of soil cover on the growth and productivity of buffel grass (Cenchrus ciliaris L.) in degraded soils of arid zones. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 13(4):866-878. https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i45963

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria Editorial.

PORCENTAJE DE HUMEDAD EN ECOTIPOS DE MORA (*Morus* spp.) NATURALIZADOS EN LA COMARCA LAGUNERA

María del Rosario Jacobo-Salcedo[1*], José Alberto Urrieta-Velázquez[1], Hilario Macias-Rodríguez[1], Erika Nava-Reyna [1], Luis Ángel González-Espíndola[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Zona Industrial km 6.5 Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. [2]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional de Zonas Áridas, Carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez, km 40. C.P. 35230 Bermejillo, Durango, México. *Autor de correspondencia: jacobo.rosario@inifap.gob.mx

Introducción

Las moras (género *Morus*, familia Moraceae) son originarias de la región de India y China. Donde, su domesticación se inició con el objetivo de criar gusanos de seda. Actualmente, las moras están adaptadas a zonas tropicales, subtropicales y templadas, creciendo de manera natural en una amplia gama de condiciones topográficas y edáficas, desde el nivel del mar hasta altitudes de 4000 m (Skrovankova et al., 2022). Esta especie se caracteriza por su elevada capacidad de adaptación, lo que le permite desarrollarse en ambientes diversos y enfrentar condiciones de estrés abiótico, como lo pueden ser suelos de baja fertilidad o climas rigurosos, colonizando con facilidad hábitats silvestres (Can et al., 2021).

Esta plasticidad fisiológica hace del cultivo de moras una alternativa promisoria para zonas ecológicas difíciles como las zonas áridas. Diversos estudios previos muestran que la acumulación de compuestos activos en *Morus spp*. está influenciada por factores ambientales, incluyendo la temperatura y la exposición a condiciones adversas (L. Yang et al., 2023; X. Yang et al., 2021).

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo la caracterización de los genotipos naturalizados de mora negra y mora blanca, así como explorar su diversidad y potencial para programas óptimos de selección y mejoramiento de cultivos, particularmente dirigidos a las condiciones de las zonas áridas.

Materiales y métodos

Un total de 7 ecotipos de moras y 2 frutillas fueron muestreadas. Estos ecotipos se obtuvieron de la región de la Comarca Lagunera ubicada entre los estados de Durango y Coahuila, México, en 2025. Los ecotipos recolectados son materiales de traspatio y que no poseen ningún tipo de manejo agronómico con riego ocasional o por lluvia. El clima de la región es árido con una temperatura que fluctúa de 28 a 40 °C, precipitación de 224.6 mm año^{-1}, y un verano muy cálido con temperaturas de hasta 48°C. La selección de los ecotipos se basó en un muestreo por conveniencia. Los materiales se identificaron a partir de recorridos exploratorios en los municipios de la Comarca Lagunera, Durango, México. Los materiales identificados se evaluaron *in situ;* asimismo, se tomaron muestras de frutos (moras).

Cuadro 1. Identificación y descripción de ecotipos de Moras evaluados.

Acrónimo	Identificación	Ubicación	Descripción
B-N	Blanca-Noria	Gómez Palacio, Durango	Moras-Blancas
M-N	Nazas-Morada	Nazas, Durango	Moras-Moradas
P	Perla	Nazas, Durango	Moras-Moradas
EC	Emilio Carranza	Emilio Carranza, Durango	Moras-Moradas
F-M	Feria Morada	Gómez Palacio, Durango	Moras-Moradas
Nz-B	Nazas Blanca	Nazas, Durango	Moras -Blancas
No-Nr	Noria-Negra	Gómez Palacio, Durango	Moras -Negras
ZZ	Zarzamora	Comercial	
FMB	Frambuesas	Comercial	

Determinación de porcentaje de humedad (%). Los materiales vegetales se seleccionan frutas representativas, sin daños ni deshidratación previa. Las frutas se picaron finamente para homogeneizar. De este material se tomaron 10 repeticiones de 5 g (peso inicial). Las muestras en cada cápsula se registraron y se introdujeron en estufa a 105 °C por 48 h. Una vez transcurrido este tiempo, se colocaron en desecador por 30 min para realizar el pesaje (peso seco).

La determinación de humedad se calculó basado en la siguiente ecuación:

$$Humedad\ (\%) = \frac{Peso\ fresco - Peso\ seco}{Peso\ fresco} x\ 100$$

Resultados y discusión

Parte de la caracterización de los materiales naturalizados de mora en contraste con zarzamora y frambuesa se realizó la evaluación del valor promedio de humedad (%). El análisis de humedad en los diferentes materiales vegetales evaluados evidenció contrastes significativos tanto en los valores promedio como en la estabilidad de las mediciones (Figura 1). Tanto las frambuesas como las moras identificadas como No-Nr mostraron mayor humedad, lo que indica un mayor contenido de agua en el tejido. Mientras que las moras Nz-B mostraron menor contenido hídrico en sus tejidos vegetales. Los cuales a su vez mostraron ser más frágiles y susceptibles a daños mecánicos. Este comportamiento es consistente con el reportado por diversos autores, quienes destacan que materiales con mayor contenido de agua en sus tejidos tienden a mostrar mayor vigor fisiológico en condiciones normales de crecimiento (Lopez & Barclay, 2017).

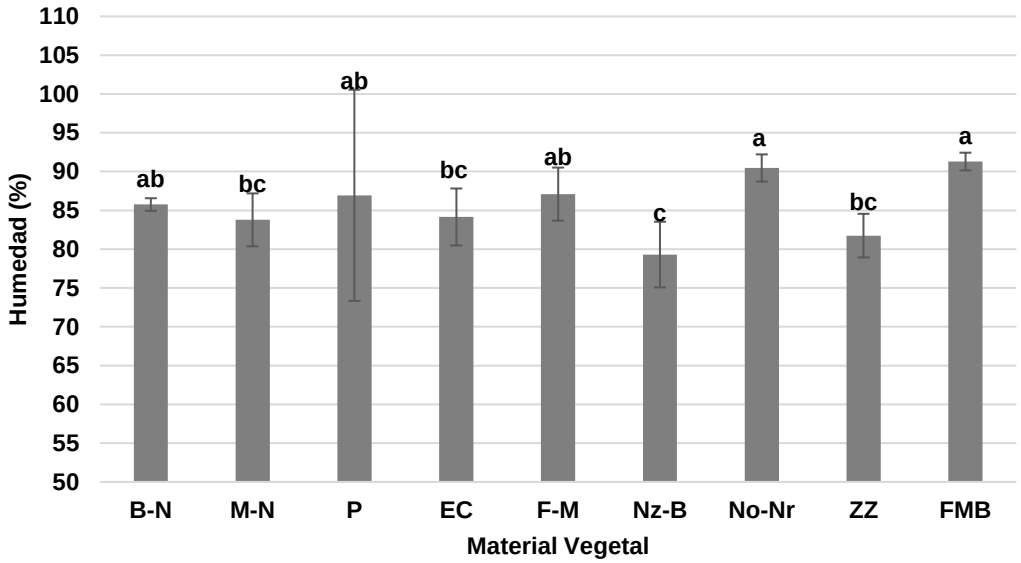


Figura 1. Contenido de humedad (%) en diferentes materiales vegetales. Las barras representan la media ± desviación estándar. Literales distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

Uno de los factores de evaluación es la estabilidad y homogeneidad de los materiales que se consideran características deseables para la comercialización de los mismos. El material identificado como P (La Perla) mostró mayor desviación estándar que refleja mayor variabilidad, lo que sugiere heterogeneidad en el material, lo que probablemente se relaciona con diferencias fisiológicas, genéticas o ambientales. Estos resultados sugieren que el material puede alcanzar valores de humedad elevados; sin embargo, su comportamiento es poco predecible y requiere una caracterización más detallada para definir su estabilidad fisiológica (Abdelaziz Hirich et al., 2020). Estos hallazgos aportan evidencia sobre la importancia de evaluar tanto la magnitud como la estabilidad de los parámetros fisiológicos en la selección de materiales adaptados a diferentes condiciones ambientales.

Conclusiones

Los resultados sugieren que las frambuesas (FMB) y las moras Noria-Negras (No-Nr) sobresalen por su contenido de humedad y estabilidad, lo que los convierte en materiales con mejor desempeño en términos de retención hídrica y con ellos es posible prolongar su vida comercial. En contraste, el material de mora la Perla (P) mostró una gran dispersión que limita su confiabilidad y estabilidad en el proceso de comercialización o vida de almacenamiento, mientras que la mora Nazas-Blanca (Nz-B) se caracterizó por su bajo contenido de humedad, lo que podría interpretarse como una estrategia de tolerancia a condiciones de sequía, esta condición no es favorable para su comercialización, estabilidad y fragilidad al manejo.

Referencias

Abdelaziz Hirich, Redoune Choukr-Allah, & Ragab Ragab. (2020). Emerging Research in Alternative Crops. In *Springer Nature Switzerland* (Vol. 58, Issue 12). http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-90472-6

Can, A., Kazankaya, A., Orman, E., Gundogdu, M., Ercisli, S., & Choudhary, R. (2021). Sustainable Mulberry (*Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L.) Production in Eastern Turkey. *Sustainability*, *13*(13507), 1–13.

Lopez, F. B., & Barclay, G. F. (2017). Plant Anatomy and Physiology. In Elservier (Ed.), *Pharmacognosy* (pp. 45–60). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00004-4

Skrovankova, S., Ercisli, S., Ozkan, G., Ilhan, G., Sagbas, H. I., & Karatas, N. (2022). Diversity of Phytochemical and Antioxidant Characteristics of Black Mulberry (*Morus nigra* L.) Fruits from Turkey. *Antioxidants*, *11*(1339), 1–14.

Yang, L., Zhao, J., Fan, S., Liao, J., Chen, Y., & Wang, Y. (2023). Effect of Frost on the Different Metabolites of Two Mulberry (*Morus nigra* L. and *Morus alba* L.) leaves. *Molecules*, *28*(4718), 1–15.

Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, *7*(3), 1–36. https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050

PESO FRESCO Y PESO SECO EN ECOTIPOS DE MORA (*Morus* spp.) NATURALIZADOS EN LA COMARCA LAGUNERA

María del Rosario Jacobo-Salcedo[1*], José Alberto Urrieta-Velázquez[1], Hilario Macias-Rodríguez[1], Erika Nava-Reyna [1], Luis Ángel González-Espíndola[2]

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Zona Industrial km 6.5 Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. [2]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional de Zonas Áridas, Carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez, km 40. C.P. 35230 Bermejillo, Durango, México. *Autor de correspondencia: jacobo.rosario@inifap.gob.mx

Introducción

En la actualidad, el concepto de “alimentos funcionales” difiere del de “nutracéuticos” y puede definirse como productos alimenticios que se utilizan en la dieta estándar para proporcionar efectos benéficos para la salud, además de los efectos nutricionales tradicionales (Guncheva, 2024). La aplicación y homologación de conceptos como salud, tecnología y nutrición son de trascendencia en los nuevos paradigmas de la agricultura en la búsqueda de procesos de investigación y desarrollo de alimentos funcionales (Chen et al., 2021). Estos productos deben presentar estándares de calidad más altos que los productos convencionales correspondientes y tienen como objetivo mantener el bienestar de los consumidores. Entre estos productos se favorecen aquellos con importante aporte de compuestos antioxidantes como las moras.

Las moras son frutos dulces y desempeñan un papel importante en la industria alimentaria debido a sus altos niveles de compuestos bioactivos (Santana et al., 2024). Por esta razón, las moras pueden considerarse una buena fuente de nutrientes y compuestos antioxidantes (especialmente antocianinas y polifenoles), además de aportar cantidades nutricionalmente útiles de minerales. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de materiales naturalizados de mora en la región lagunera para consolidarse como un cultivo alternativo para esta región, por su baja disponibilidad hídrica.

Materiales y Métodos

Un total de 7 ecotipos y 2 frutillas fueron muestreadas. Estos ecotipos se obtuvieron de la región de la Comarca Lagunera ubicada entre los estados de Durango y Coahuila, México, en 2025. Los ecotipos recolectados son materiales de traspatio y que no poseen ningún tipo de manejo agronómico con riego ocasional o por lluvia. El clima de la región es árido con una temperatura que fluctúa de 28 a 40 °C, precipitación de 224,6 mm año^{-1}, y un verano muy cálido con temperaturas de hasta 48 °C. La selección de los ecotipos se basó en un muestreo por conveniencia. Los materiales se identificaron a partir de recorridos exploratorios en los municipios de la Comarca Lagunera. Los materiales identificados (Cuadro 1) se evaluaron *in situ;* asimismo, se tomaron muestras de frutos (moras). Los cuales fueron cuidadosamente conservados en cámaras de humedad y en refrigeración hasta su análisis.

Cuadro 1. Identificación y descripción de ecotipos de Moras evaluados.

Acrónimo	Identificación	Ubicación	Descripción
B-N	Blanca-Noria	Gómez Palacio, Durango	Moras-Blancas
M-N	Nazas-Morada	Nazas, Durango	Moras-Moradas
P	Perla	Nazas, Durango	Moras-Moradas
EC	Emilio Carranza	Emilio Carranza, Durango	Moras-Moradas
F-M	Feria Morada	Gómez Palacio, Durango	Moras-Moradas
Nz-B	Nazas Blanca	Nazas, Durango	Moras -Blancas
No-Nr	Noria-Negra	Gómez Palacio, Durango	Moras -Negras
ZZ	Zarzamora	Comercial	
FMB	Frambuesas	Comercial	

Parámetros morfológicos como el peso fresco y seco de los frutos de mora y de las frutillas evaluadas fueron determinados. Estas evaluaciones se desarrollaron midiendo el peso de los diferentes materiales cortados y transportados en cámaras de humedad hacia el laboratorio mediante una balanza analítica. Mientras que el peso seco se midió posterior a colocar los materiales vegetales en un horno de secado a 70 °C por 72 h (tiempo necesario para lograr peso constante).

Resultados y Discusión

El análisis del peso fresco entre los materiales evaluados evidenció diferencias significativas ($F= 47.814$, $g.l.= 8$, $p=0.001$), lo que refleja una variabilidad en el potencial de acumulación de biomasa. El peso fresco de los materiales muestra diferencias significativas entre el material No-Nr y la mayoría de los materiales evaluados. Estudios reportados en *Rubbus spp*. han señalado que el peso de frutos puede variar considerablemente según la disponibilidad hídrica, la fertilización y el manejo del crecimiento (Ferreyra et al., 2020). El peso fresco de este material lo hace atractivo y competente con la zarzamora y la frambuesa comercial. Estos resultados sugieren que No-Nr tiene un potencial notablemente superior en términos de producción de biomasa fresca, mientras que los frutos de menor tamaño fueron los materiales M-N y Nz-B. Resultados similares han sido descritos en genotipos de mora con menor potencial de rendimiento, donde la reducción en el peso del fruto se asocia con un menor balance fuente-destino (Clark & Finn, 2014).

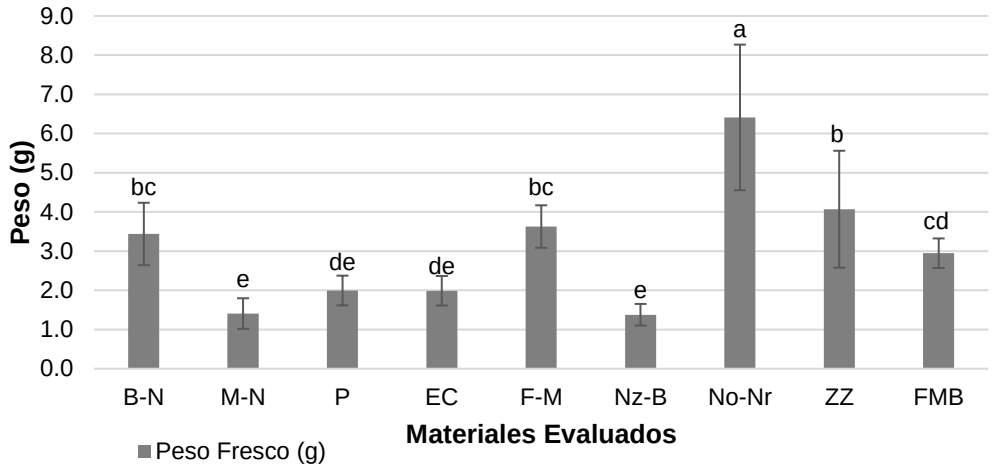


Figura 1. Peso fresco (g) de frutos de mora en diferentes materiales vegetales. Las barras representan la media ± desviación estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos (p ≤ 0.05, prueba de Tukey).

En complemento al análisis del peso fresco se determinó el peso seco de los frutos de mora y frutillas, los cuales se muestran en la figura 2. Los resultados evidencian que el contenido de peso seco en frutos de mora varió significativamente entre materiales (F=17.85, g.l.=8, p=0.001). De manera similar se muestra que el material No-Nr presentó el mayor peso seco. Este resultado confirma su capacidad superior de acumulación de biomasa y sólidos en el fruto. Esta variable se ha relacionado en estudios previos con una mayor proporción de carbohidratos estructurales y solubles, principalmente azúcares y compuestos fenólicos, que incrementan la densidad del fruto (Lee et al., 2019).

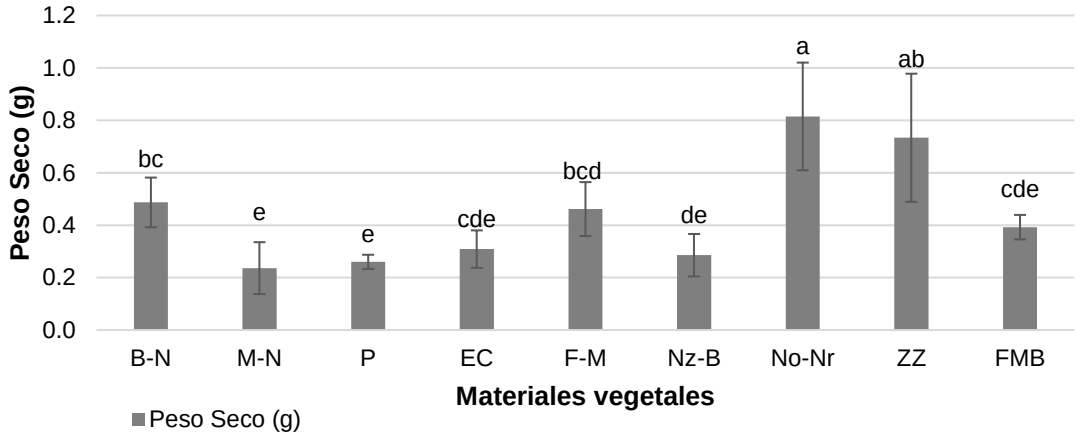


Figura 2. Peso seco (g) de frutos de mora en diferentes materiales vegetales. Las barras representan la media ± error estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos (p ≤ 0.05, prueba de Tukey).

Conclusiones

Los resultados reportados de este trabajo consideran evaluar la diversidad morfológica de materiales de mora en comparación con frutillas como la zarzamora y las frambuesas. Con el objetivo de evaluar el potencial de estos materiales naturalizados en la región lagunera para consolidarse como un cultivo alternativo para esta región por su baja disponibilidad hídrica. A partir de ello se observó que el material No-Nr presentó los valores más altos tanto en peso fresco como en peso seco de frutos de mora, lo que evidencia su mayor potencial de acumulación de biomasa y sólidos, lo que lo posiciona como un candidato promisorio para programas de mejoramiento y sistemas de producción intensiva. Estos atributos son relevantes para la calidad postcosecha y la aceptación comercial del fruto.

Referencias

Chen, C., Mohamed Razali, U. H., Saikim, F., Mahyudin, A., Qhairul, N., & Mohd, I. (2021). Morus alba L. Plant: Bioactive Compounds and Potential as a Functional Food Ingredient. Food, 10(689), 1–28.

Clark, J. R., & Finn, C. E. (2014). Blackberry breeding and genetics. Plant Breeding Reviews, 37, 19–144. https://doi.org/10.1002/9781118916865.ch2

Ferreyra, R., Selles, G., & Muñoz, C. (2020). Fruit development, yield, and quality of blackberry (Rubus spp.) as affected by irrigation and fertilization management. Agronomy, 10(4), 556. https://doi.org/10.3390/agronomy10040556

Guncheva, R. (2024). Characteristic of species Morus alba L. and Morus nigra L . by some basic vegetative traits. Agricultural Science and Technology, 16(2), 67–74. https://doi.org/10.15547/ast.2024.02.019

Lee, J., Dossett, M., & Finn, C. E. (2019). Rubus fruit phenolics and their potential health benefits. Plants, 8(11), 414. https://doi.org/10.3390/plants8110414

Santana, L. L. D. E., Henrique Andrade, I., Dos Santos, Sthefane Souza, C. O. D. E., Ribeiro, C. D. F., & Cruz, R. S. (2024). Prospection on the black mulberry (Morus nigra L.): A technological and scientific analysis. An Acad Bras Cienc, 96(4), 1–19. https://doi.org/10.1590/0001-3765202420240464

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE *Leucaena leucocephala* (Lamb.) de Wit DE DIFERENTES PROCEDENCIAS EN MÉXICO

Celi Gloria Calixto-Valencia[1*], Monserrat Manzanarez-Benítez[2], Edith Ramírez-Segura[3], Erickson Basave-Villalobos[4]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala. [2]Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, Sede Atoyac de Álvarez, Guerrero.[3]INIFAP, Centro Nacional de Investigación en Agricultura Familiar. [4]INIFAP, Campo Experimental Valle del Guadiana. *Autor de correspondencia: calixto.celi@inifap.gob.mx

Introducción

En México, la ganadería extensiva tiene alta representatividad con 55.5% de la superficie del territorio nacional dedicada a este sistema de producción (Carrillo et al., 2024). En la ganadería extensiva se aprovechan los elementos disponibles del paisaje para establecer zonas de pastoreo y agostaderos a menudo en paisajes abiertos de pastizal o matorral. Los agostaderos son sitios cuyos recursos naturales cubren en épocas críticas una gran parte las demandas de alimento para el ganado, así que la condición de estos en aspectos como la disponibilidad y calidad del forraje, define en gran medida el éxito o fracaso de una determinada unidad de producción (Jurado-Guerra et al., 2021).

Lamentablemente, grandes superficies de agostaderos en el territorio nacional están deteriorados por el sobrepastoreo y erosión del suelo, especialmente aquellas en regiones áridas (Jurado-Guerra et al., 2021). En consecuencia, hay una disminución considerable de cobertura vegetal, sobre todo de pastos nativos, lo cual se traduce en menor disponibilidad de forraje. Ante esta situación, se están buscando alternativas de especies forrajeras que tengan alto valor nutritivo y presenten rusticidad para que sean tolerantes al ramoneo y puedan establecerse en sitios con condiciones edafoclimáticas restrictivas (Quero-Carrillo et al., 2014). Se reconoce que varias especies de la familia Leguminosae (Fabaceae) poseen estos atributos, y en lo que respecta a calidad de forraje, tienen contenidos altos de proteínas y bajos de fibras comparados, incluso, con algunas gramíneas. Un ejemplo es *Leucaena leucocephala* mejor conocida como guaje (Ortega-Jiménez et al., 2024).

Aunque *L. leucocephala* es una especie tropical ampliamente distribuida y utilizada en la ganadería tropical, actualmente se está promoviendo para establecer sistemas silvopastoriles mediante el esquema de bancos de proteína en zonas áridas. La especie ha manifestado potencial para mejorar la capacidad de carga de los agostaderos y la productividad del ganado (Quero-Carrillo et al., 2014), así que su uso sigue fomentándose, aunque estos mismos autores (Quero-Carrillo et al., 2014) recomiendan que debe realizarse más investigación en cuanto a su establecimiento y utilización bajo condiciones de producción especialmente en regiones secas.
Las plantaciones con guaje se realizan con planta de vivero, pero para producir este material vegetal es fundamental que se utilice semilla de calidad para asegurar, en primera instancia, una capacidad germinativa alta y uniforme, pues de esto mucho depende la calidad de la planta al final de su etapa de vivero. Sin embargo, la calidad de las semillas a su vez está fuertemente influenciada por su origen y las condiciones ambientales en las que se desarrollan. Esto es más relevante en especies como *L. leucocephala* que tienen un rango amplio de distribución natural.

Las condiciones ambientales en el entorno en conjunto con factores genéticos y fisiológicos inciden diferenciadamente en el éxito reproductivo de las fuentes parentales en las poblaciones naturales afectando la tasa de formación y desarrollo de las semillas en cada progenitor, lo que en consecuencia induce a diferencias en la calidad del germoplasma tanto en rasgos morfológicos como fisiológicos (Calixto-Valencia et al., 2024).

Así que para seleccionar adecuadamente alguna fuente natural de semilla es importante evaluar las características de estas (Romero-Saritama, 2016). Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue caracterizar morfométrica y fisiológicamente semillas de *L. leucocephala* (Lamb.) de Wit de diferentes procedencias en México.

Materiales y métodos

Se evaluaron semillas de *L. leucocephala* procedentes de ocho localidades pertenecientes a los estados de Colima, Durango y Guerrero, cuyos nombres e información geográfica se indican a continuación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ubicación geográfica y condiciones ambientales de los sitios de recolección de germoplasma de *Leucaena leucocephala*.

Procedencia	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Temperatura promedio (°C)	Precipitación media anual (mm)
San Miguel, Colima	18° 46′ 23″	103° 44′ 36″	10	27.3	927.9
Comala, Colima	19° 6′ 56″	103° 46′ 32″	790	24.6	964.5
Naranjo, Colima	19° 7′ 35″	104° 24′ 52″	20	27.1	935.4
Asmoles, Colima	19° 6′ 56″	103° 46′ 32″	320	25.2	857.1
Tecomán, Colima	18°58′ 19″	103° 51′ 04″	70	27.3	890
Bermejillo, Durango	25° 53′ 9″	13° 37′ 22″	1120	24.5	240
Rodeo, Durango	25° 7′ 59″	104° 32′ 34″	1370	17	500
Coyuca de Catalán, Guerrero	18°18′ 51″	100°39′ 38″	263	29	1050

La colecta se realizó entre la última semana de octubre y las primeras dos semanas de noviembre de 2024 obteniendo las semillas directamente de los árboles previo a la dehiscencia de las vainas. Una vez cosechadas las vainas, se colocaron en bolsas de papel y se pusieron a secar sobre una plancha de concreto en ambiente natural hasta que abrieron. Tras ello se realizó el beneficio y acondicionamiento de las semillas.

Para la caracterización morfométrica se utilizó una muestra de 50 de semillas por procedencia a las que se les midió individualmente el largo, ancho y grosor (mm) con un calibrador Mitutoyo® Digimatic CD-4” AX, además del peso (g) con una balanza digital modelo iBalance i201 MyWeight HBI Technologies®. Para la evaluación fisiológica, se hizo un análisis de la viabilidad mediante la prueba de tetrazolio al 0.1 % empleando una muestra de 100 semillas dividida en cuatro repeticiones de 25. Según el patrón de tinción característico de la prueba se determinó el porcentaje de viabilidad. También se examinó la capacidad germinativa contabilizando el porcentaje acumulado de germinación en un ensayo sobre papel filtro en cajas Petri de vidrio, se utilizaron 200 semillas por sitio dividida en cuatro repeticiones de 50. Previo al ensayo de germinación las semillas recibieron a modo de tratamiento pregerminativo un lijado ligero de la testa seguido de un remojo con agua corriente durante 12 h. El criterio de germinación fue la emergencia de la radícula con una longitud similar a la de la semilla.

Con el software infoStat se hizo un análisis de la varianza mediante la prueba de Kruskal-Wallis a un nivel de 0.05 de significancia y una comparación de medianas de a pares para determinar la variación y las diferencias, respectivamente, entre los rasgos morfométricos, la viabilidad y la germinación de las semillas entre las procedencias evaluadas.

Resultados y discusión

Las semillas difirieron significativamente ($p < 0.0001$) entre procedencias en todas las características morfométricas evaluadas. Este resultado concuerda con la variación que se ha reportado para diversas especies forestales que ocurre tanto entre poblaciones como dentro de ellas, incluso dentro de un mismo individuo, manifestación del polimorfismo. Las semillas más pesadas fueron las de Tecomán y Coyuca de Catalán con una mediana de 0.07 g. Estas fueron también las más largas con una longitud de 9.22 y 8.94 mm, respectivamente. En ancho las semillas de Coyuca de Catalán superaron a las de los otros sitios al alcanzar un valor de 5.68 mm, aunque en grosor las de Tecomán sobresalieron con una cifra de 1.71 mm. En contraparte las semillas más ligeras y las de menor tamaño se tuvieron en las procedencias de Durango (Rodeo y Bermejillo) y en San Miguel, Colima (Cuadro 2). El examen de las diferencias en el tamaño de las semillas es un aspecto que además de permitir conocer la calidad física de estas, proporciona información sobre rasgos funcionales que influyen en los procesos germinativos.

Cuadro 2. Medianas de los caracteres morfométricos y fisiológicos evaluados en semillas de *Leucaena leucocephala* de diferentes procedencias.

Procedencia	Largo	Ancho	Grosor	Peso	Viabilidad	Germinación
	mm			g	%	
San Miguel, Colima	8.20b	4.62a	1.44b	0.05cd	30a	27a
Comala, Colima	8.61c	5.02bc	1.63d	0.05cd	100d	99.50d
Naranjo, Colima	8.51c	5.05c	1.57c	0.06d	82abc	62ab
Asmoles, Colima	8.19b	5.06bc	1.52b	0.05bc	78abc	66abc
Tecomán, Colima	9.22d	5.40d	1.71e	0.07e	64ab	18a
Bermejillo, Durango	7.65a	4.84b	1.57c	0.05b	82bc	76bcd
Rodeo, Durango	7.71a	4.84b	1.36a	0.04a	90cd	81bcd
Coyuca de Catalán, Guerrero	8.94d	5.68e	1.59cd	0.07e	91cd	87cd

* Medianas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

En torno al porcentaje de viabilidad y germinación también se registraron diferencias altamente significativas ($p = 0.003$; $p = 0.0001$, respectivamente) entre procedencias. Cinco de las ocho procedencias superaron el 80% de viabilidad, destacándose las de Comala y Coyuca de Catalán al superar el 90%. Contrastantes fueron las cifras de San Miguel y Tecomán que obtuvieron 30 y 64% de viabilidad, respectivamente. En concordancia con la viabilidad mostrada con la prueba de tetrazolio, las semillas de estas dos últimas procedencias tuvieron el menor porcentaje de germinación que no superó el 30%, mientras que las de Comala casi germinaron el cien por ciento, seguidas de las de Coyuca con un valor cercano a 90% (Cuadro 2).

Estas respuestas a nivel fisiológico sugieren la influencia del origen en la calidad fisiológica de las semillas como se ha evidenciado en otros trabajos de investigación (Viveros-Viveros et al., 2017). Esto se explica porque las condiciones ambientales en el entorno en conjunto con factores genéticos y fisiológicos, inciden diferenciadamente en el éxito reproductivo de las fuentes parentales en las poblaciones naturales afectando la tasa de formación y desarrollo de las semillas en cada progenitor (Romero-Saritama, 2016). Sin embargo, conviene señalar que al momento del manejo de las semillas se observaron diferencias en su madurez lo que indica que a pesar de que el periodo de colecta fue un tanto similar, no hay sincronía en el tiempo de madurez fisiológica lo cual es una condición para especies con un amplio rango de distribución (Calixto-Valencia et al., 2022). Este detalle, a la par de las diferencias en las dimensiones de las semillas, resalta la importancia de elegir adecuadamente los sitios donde de colecta de germoplasma definiendo el momento oportuno para realizar esta actividad para asegurar semilla de calidad como sugieren Salazar et al. (2000).

Conclusiones

Las semillas de *L. leucocephala* presentan una diferencia marcada en sus características morfológicas y fisiológicas conforme a su origen o procedencia. Esto resalta la importancia de elegir los sitios de recolección adecuados para asegurar semilla de calidad para los diferentes propósitos en los que se requiera germoplasma de esta especie.

Referencias

Calixto Valencia, C. G., V. M. Cetina Alcalá, C. Ramírez Herrera, M. Á. López López, G. Ángeles-Pérez, A. Equihua Martínez y E. Basave Villalobos. (2022). Características morfométricas, reproductivas y germinativas del germoplasma de *Swietenia humilis* Zucc. en Guerrero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 13(72): 148-172. https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i72.1250

Carrillo, A., Lazos, E., Rocha, S., Cabrera, E., y Luna, A. (2024). Impactos ambientales de la ganadería extensiva (infografía). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Sociales. https://www.iis.unam.mx/blog/impactos-ambientales-de-la-ganaderia-extensiva/

Jurado Guerra, P., M. Velázquez-Martínez, R. A. Sánchez-Gutiérrez, A. Álvarez-Holguín, P. A. Domínguez-Martínez, R. Gutiérrez Luna, R. D. Garza Cedillo, M. Luna Luna y M. G. Chávez-Ruiz. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *12* (Supl 3), 261-285. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875

Ortega Jiménez, E., S. I. Mendoza Pedroza, & I. L. Vásquez Gómez. (2024). El guaje [Leucaena *leucocephala* (Lam. de Wit)] alternativa para la ganadería. Agro-Divulgación*, 4*(5). https://doi.org/10.54767/ad.v4i5.375

Quero Carrillo, A. R., L. Miranda Jiménez y F. J. Hernández Guzmán. (2014). *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en México, bases para su utilización en la alimentación de rumiantes. Folleto técnico. Colegio de Postgraduados. 32 p. https://www.researchgate.net/publication/269038197_Leucaena_leucocephala_Lam_de_Witt_bases_para_su_utilizacion_en_la_alimentacion_de_rumiantes

Romero Saritama, J. M. (2016). Caracterización morfofisiológica de semillas de especies leñosas distribuidas en dos zonas secas presentes en el Sur del Ecuador. Ecosistemas 25(2), 93-100. https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.12

Salazar, R., C. Soihet y J. M. Méndez. (2000). *Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina.* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) 204 p. Turrialba, Costa Rica.

Viveros Viveros, H., K. Quino Pascual, M. V. Velasco García, G. Sánchez Viveros, E. Bautista V. (2017). Variación geográfica de la germinación en *Enterolobium cyclocarpum* en la costa de Oaxaca, México. Bosque 38(2): 317-326. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000200009.

FOTOTRAMPEO Y RASTREO DE MAMÍFEROS MEDIANOS Y GRANDES EN UN ECOSISTEMA SEMIÁRIDO DEL SURESTE DE COAHUILA, MÉXICO

Erika Jasmin Cruz-Bazan[1*], Jorge E. Ramírez Albores[2], Juan Antonio Encina-Domínguez [1], Eber G. Chavez-Lugo[1]

[1]Departamento de Recursos Naturales Renovables, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro 1923, Col. Buenavista. 25315. Saltillo, Coahuila, México. [2]Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro 1923, Col. Buenavista. 25315. Saltillo, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: erikacbazan@gmail.com

Introducción

Los pastizales áridos y semiáridos del centro y norte de México cubren cerca del 25% del territorio nacional y sostienen altos niveles de biodiversidad (Jurado-Guerra et al., 2021). Sin embargo, enfrentan degradación por el crecimiento poblacional y el uso intensivo de recursos, lo que compromete la integridad de los ecosistemas y amenaza a los mamíferos medianos y grandes al reducir hábitat, fragmentar el paisaje y limitar recursos esenciales (Jurado-Guerra et al., 2021; Davies et al., 2012). Estos procesos generan aislamiento poblacional, disminuyen el flujo génico y favorecen especies generalistas, incrementando el riesgo de extinciones locales, especialmente bajo alta variabilidad climática (Richmond et al., 2005).

Coahuila presenta una diversidad notable, con cerca de 126 de las 544 especies de mamíferos de México, de las cuales 15% son endémicas y 20 se encuentran en categorías de riesgo (Ceballos, 2014; Ramírez-Pulido et al., 2018). Los mamíferos terrestres cumplen funciones ecológicas clave, como dispersión de semillas, regulación poblacional y mantenimiento de redes tróficas (Lindsell et al., 2015). No obstante, sobrepastoreo, agricultura extensiva y cambio de uso de suelo degradan la conectividad y calidad del hábitat (Ezcurra, 2024).

En sistemas semiáridos, la distribución espacial y temporal de los mamíferos está fuertemente influenciada por la estacionalidad: en época seca los recursos limitados concentran a los individuos en áreas con agua o cobertura densa, mientras que en temporada de lluvias la mayor productividad primaria amplía sus rangos de actividad (Demosthenous-Bonastre et al., 2025; Emmons, 2009).

Para monitorear estas comunidades, el fototrampeo es un método que facilita el registro de especies crípticas y nocturnas, aportando datos sobre riqueza, tasas de captura y ocupación (López-Tello & Mandujano, 2017; Mandujano, 2024), mientras que el rastreo brinda evidencia indirecta de presencia y distribución (Aranda, 2012; Suárez-Tangil & Rodríguez, 2021). La combinación de ambos métodos es particularmente útil en paisajes semiáridos con alta presión antrópica.

Este estudio tuvo como objetivos estimar la diversidad alfa de mamíferos medianos y grandes, evaluar la tasa fotográfica y comparar estos análisis entre temporadas de lluvias y secas en distintos tipos de vegetación del sureste de Coahuila, México.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Rancho Ganadero Los Ángeles (RGLA), propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Con una superficie de aproximadamente 7,000 ha (López-Santos et al., 2008; Heredia-Pineda et al., 2017; Cruz-Bazán et al., 2024). Se localiza en el municipio de Saltillo, sureste de Coahuila (25°04′12″–25°08′51″ N, 100°58′07″–101°03′12″ O). El estudio se llevó a cabo entre abril de 2023 y febrero de 2024 mediante dos métodos complementarios: transectos lineales para rastreo y estaciones de fototrampeo. Los recorridos se realizaron, tanto en la temporada lluviosa (junio–septiembre) como en la seca (octubre–mayo).

Análisis de datos. La diversidad de mamíferos se evaluó con métricas de diversidad alfa mediante vegan (Oksanen et al., 2022), y se compararon las temporadas seca y lluviosa con curvas de rarefacción y extrapolación basadas en números de Hill, usando iNEXT (Hill, 1973; Moreno, 2001; Hsieh et al., 2016; Chao et al., 2020). La estructura comunitaria se describió con curvas rango-abundancia (Magurran 2004), utilizando los paquetes vegan (Oksanen et al., 2022), y ggplot2 (Wickham, 2016).

Las fotografías se organizaron en camtrapR (Niedballa et al., 2016). La tasa fotográfica se estimó con RAIeR (Mandujano, 2023). Todos los análisis se realizaron en R 4.3.0 (R Core Team, 2023). Finalmente, se registró el estatus de conservación de cada especie con base en la Lista Roja de la UICN (IUCN, 2021) y la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Resultados y discusión

Se registraron 16 especies de mamíferos, distribuidas en cuatro órdenes y nueve familias. El orden Carnivora fue el más representativo (ocho especies, Cuadro 1). La integración de metodologías complementarias permitió mejorar la detección de especies (Pérez-Irineo & Santos-Moreno, 2010). Respecto al estatus de conservación, *Cynomys mexicanus* se encuentra En Peligro (UICN; NOM-059-SEMARNAT-2010), *Taxidea taxus* como Amenazada, y *Ursus americanus* junto con *C. mexicanus* en Peligro de Extinción. Estos hallazgos subrayan la importancia del área como refugio de fauna de alto valor de conservación en un paisaje impactado por actividades pecuarias (Sánchez-Cordero et al., 2014).

Cuadro 1. Mamíferos registrados en el Rancho Ganadero "Los Ángeles" por medio del método de fototrampeo y rastreo.

ESPECIE	NOM-059/UICN	MÉTODO
Orden Artiodactyla		
Familia Cervidae		
Odocoileus virginianus	SC/ LC	TC/RAS
Dicotyles tajacu	SC/ LC	TC/RAS
Orden Carnivora		
Familia Canidae		
Canis latrans	SC/ LC	TC/RAS
Urocyon cinereoargenteus	SC/ LC	TC/RAS
Familia Mephitidae		
Conepatus leuconotus	SC/ LC	TC/RAS
Mephitis macroura	SC/ LC	TC
Spilogale gracilis	SC/ LC	TC
Familia Felidae		
Lynx rufus	SC/ LC	TC/RAS
Familia Ursidae		
Ursus americanus	P/LC	TC/RAS
Familia Mustelidae		
Taxidea taxus	A/LC	TC
Neogale frenata	SC/ LC	RAS
Orden Lagomorpha		
Familia Leporidae		
Sylvilagus audubonii	SC/ LC	TC/RAS
Lepus californicus	SC/ LC	TC/RAS
Orden Rodentia		
Familia Sciuridae		
Cynomys mexicanus	P/EN	TC/RAS
Xerospermophilus spilosoma	SC/ LC	TC/RAS
Familia Geomyidae		
Cratogeomys castanops	SC/ LC	RAS

NOM-059: Norma Oficial Mexicana-059-SEMARNAT-2010; LC: Sin categoría; E: En peligro; A: Amenazada; UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; LC: Preocupación menor; EN: En peligro; TC: Trampa cámara; RAS: Rastreo

Durante la temporada de lluvias, la diversidad entre tipos de vegetación, registró con valores del índice de Shannon entre 1.36 y 1.43, y del índice de Simpson entre 0.60 y 0.64. En contraste, durante la temporada seca se observó una mayor diferenciación, destacando el zacatal semidesértico con los valores más altos de diversidad (Shannon = 1.82; Simpson = 0.79), seguido del bosque de montaña (1.76; 0.73), mientras que el matorral desértico chihuahuense presentó los valores más bajos (1.23; 0.53).

En la temporada seca, *Odocoileus virginianus* y *Sylvilagus audubonii* dominaron en el matorral desértico chihuahuense y bosque de montaña, mientras que en el zacatal semidesértico destacó C. mexicanus. En lluvias se mantuvo el predominio de herbívoros generalistas (*O. virginianus* y *S. audubonii*), mientras que *C. mexicanus* fue nuevamente la especie más representativa en el zacatal.

La baja abundancia de carnívoros podría relacionarse con densidades reducidas de este orden y a la menor detectabilidad en ambientes fragmentados (Poutanen et al., 2023; Huerta-Rodríguez et al., 2022). Las curvas de rarefacción alcanzaron la asíntota, por lo tanto, estadísticamente el muestreo fue suficiente (Figura 1).

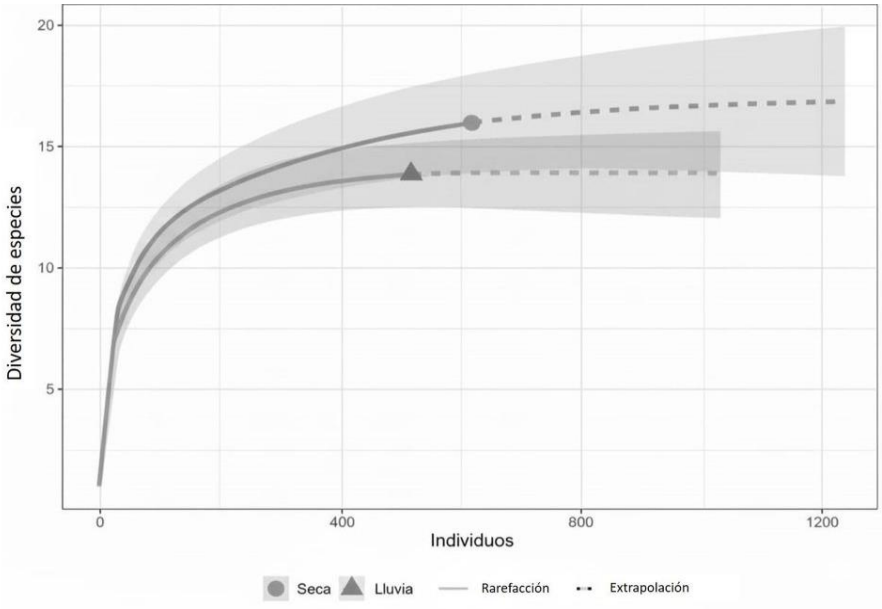


Figura 1. Curva de rarefacción de especies de mamíferos medianos y grandes durante la temporada de lluvia y seca en el Rancho Ganadero “Los Ángeles”.

El rastreo complementó los registros con 604 detecciones de 14 especies. Rodentia fue el orden mejor representado, con *C. mexicanus* como la especie más abundante (279 registros). En contraste, *Lynx rufus*, *Neogale frenata* y *U. americanus* fueron registrados solo una vez (Figura 2), lo que puede deberse a sus bajas densidades, hábitos de desplazamiento extensos o sigilosos, y a un uso ocasional del hábitat (Lesmeister et al., 2015; Crooks, 2002; Gompper et al., 2006).

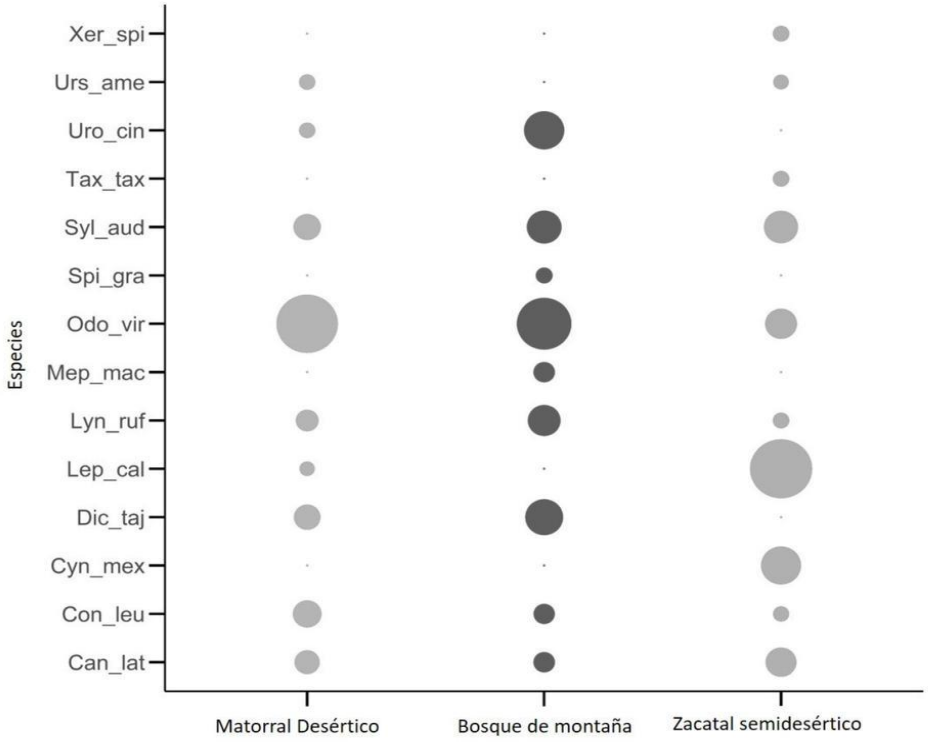


Figura 2. Tasa fotográfica de los mamíferos registrados en el bosque de montaña, matorral desértico chihuahuense y zacatal semidesértico. *Odo_vir: Odocoileus virginianus; Syl_aud: Sylvilagus audubonii; Dic_taj: Dicotyles tajacu; Can_lat: Canis latrans; Uro_cin:Urocyon cinereoargenteus; Con_leu: Conepatus leuconotus; Mep_mac: Mephitis macroura; Spi_gra: Spilogale gracilis; Lyn_ruf: Lynx rufus; Urs_ame: Ursus americanus; Tax_tax: Taxidea taxus; Neo_fre: Neogale frenata; Lep_cal: Lepus californicus; Cyn_Mex: Cynomys mexicanus; Xer_spi: Xerospermophilus spilosoma; Cra_cas: Cratogeomys castanops*

Conclusiones

Este estudio proporciona información de referencia sobre la composición y abundancia de mamíferos terrestres de tamaño mediano y grande en el sureste de Coahuila, México. Los resultados se alinean con los patrones esperados para los ecosistemas áridos: dominancia de herbívoros y roedores coloniales, diversidad moderada, mayor uniformidad durante la estación seca, detectabilidad elevada y muestreo eficiente.

Referencias

Aranda, M. (2012). Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). México, D.F., México. 255 pp.

Ceballos, G. (2014). Mammals of Mexico. Johns Hopkins University Press, Baltimore. (pp. 976).

Crooks, K. R. (2002). Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation. *Conservation Biology*, 16(2), 488-502. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00386.x

Cruz-Bazan, E. J., Ramírez-Albores, J. E., y Encina-Domínguez, J. A. (2024). Un llanero mexicano no tan solitario. *Therya ixmana*, 3(1), 36-38. https://doi.org/10.12933/therya_ixmana-24-453

Demosthenous-Bonastre, E., Grau-Andrés, R., Batlle-Benaiges, J., Corbera, J., Preece, C., Torner, G., ... & Fernández-Martínez, M. (2025). Water sources shape drought effects on mammal activity in mediterranean woodlands. Mammalian Biology, 1-14. https://doi.org/10.1007/s42991-025-00507-w

Emmons, L. H. (2009). Long-term variation in small mammal abundance in forest and savanna of Bolivian Cerrado. *Biotropica*, 41(4), 493-502.

Ezcurra, E. (2024). Los corredores biológicos desde las ciencias ambientales. En J. E. Bezaury-Creel (Ed.), Conectividad para la conservación de la biodiversidad en México: estado actual, retos y perspectivas (pp. 22-25). Ciudad de México. Agencia Francesa de Desarrollo.

Gompper, M. E., Lesmeister, D. B., Ray, J. C., Malcolm, J. R., & Kays, R. (2016). Differential habitat use or intraguild interactions: what structures a carnivore community? *PloS One*, 11(1), e0146055. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146055

Huerta-Rodríguez, J. O., Rosas-Rosas, O. C., López-Mata, L., Alcántara-Carbajal, J. L., & Tarango-Arámbula, L. A. (2022). Camera traps reveal the natural corridors used by mammalian species in eastern Mexico. *Ecological Processes*, 11(1), 51. https://doi.org/10.1186/s13717-022-00394-w

Lesmeister, D. B., Nielsen, C. K., Schauber, E. M., & Hellgren, E. C. (2015). Spatial and temporal structure of a mesocarnivore guild in midwestern North America. *Wildlife Monographs*, 191(1), 1–61. https://doi.org/10.1002/wmon.1014

López-Tello, E., & Mandujano, S. (2017). Paquete camtrapR para gestionar datos de foto-trampeo: Aplicación en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época),* 7(2), 13-37. https://doi.org/10.22201/es decir.20074484e.2017.1.2.245

Magurran, A.E. (2004) Measuring Biological Diversity. Blackwell Publishing, Oxford, 256 p.

Mandujano, S. (2024). Índice de abundancia relativa y tasa de encuentro con trampas cámara. *Mammalogy Notes*, 10(1), 389-389. https://doi.org/10.47603/mano.v10n1.389

Pérez-Irineo, G., & Santos-Moreno, A. (2012). Diversidad de mamíferos terrestres de talla grande y media de una selva subcaducifolia del noreste de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(1), 164-169.

Poutanen, M., Korpelainen, S., Ahlqvist, P., Kujala, H., Remes, H., & Grönroos, M. (2023). Density-habitat relationships of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in Finland. Ecology and Evolution, 13, e9711. https://doi.org/10.1002/ece3.9711

Ramírez-Pulido, J., González-Ruíz. N., & Contreras-Balderas A. J. (2018). Mamíferos. La biodiversidad en Coahuila estudio de Estado. (Vol. 2, pp. 411-418). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad./Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, México.

Richmond, C. E., Breitburg, D. L., & Rose, K. A. (2005). The role of environmental generalist species in ecosystem function. *Ecological Modelling*, 188(2-4), 279-295.

Suárez-Tangil, B. D., & Rodríguez, A. (2021). Uniform performance of mammal detection methods under contrasting environmental conditions in Mediterranean landscapes. *Ecosphere*, 12(3), e03349. https://doi.org/10.1002/ecs2.3349

EFECTO DEL HIDROGEL Y LA ZEOLITA EN EL CONTENIDO DE CLOROFILA, CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE CHILE SERRANO GORDO *Capsicum annuum* L. BAJO DÉDICIT HÍDRICO

Jiménez-Morales, A.F.[1], Pedroza-Sandoval, A.[2]*, Gramillo-Ávila, I., Trejo-Calzada, R.[2].

[1]Estudiante de licenciatura de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACh. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Km. 40 Carretera Gómez Palacio - Chihuahua, Bermejillo, Dgo. CP. 35230. *Autor de correspondencia*:* apedroza@chapino.uruza.edu.mx

Introducción

La escasez de agua en regiones áridas es uno de los factores limitantes de la producción agrícola. El chile *Capsicum annuum L*. es un cultivo de importancia en la Comarca Lagunera, la cual es una región agrícola con problemas de disponibilidad hídrica por las frecuentes sequías. La sobreexplotación del acuífero en esta región genera un déficit anual de 585 Mm^3 (CONAGUA, 2010), lo que evidencia la necesidad de implementar alternativas que optimicen el uso del agua. Los hidrogeles, son polímeros capaces de retener agua hasta 150 veces su volumen, liberando el vital líquido lentamente conforme lo requiere la planta (Pedroza-Sandoval et al., 2015). La zeolita, es un mineral con aluminosilicatos y silicio que mejora la retención de humedad en el suelo y mejora la disponibilidad de nutrientes (Mondal et al., 2021). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del hidrogel, la zeolita y la combinación de ambos productos bioestimulantes y su impacto en el contenido de clorofila, crecimiento y producción de chile serrano gordo *Capsicum annum* L. bajo condiciones subóptimas y deficitarias de humedad del suelo.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en Bermejillo, Durango a 25°53’33’’ LN y 103°36’09’’ LO y 1,100 m. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con parcelas divididas y tres repeticiones. Se aplicaron cuatro tratamientos: hidrogel (H, 20 kg ha^{-1}), zeolita (Z, 20 t ha^{-1}) e hidrogel + zeolita (H+Z, 10 kg ha^{-1} + 10 t ha^{-1}) más el testigo (T, sin aplicación de ningún producto), bajo dos condiciones de humedad del suelo: contenido subóptimo de humedad del suelo (CSHS, 20 % ±2) y contenido deficitario de humedad del suelo (CDHS, 25 % ±2). Lo anterior, considerando que la capacidad de campo y el puno de marchitez permanente corresponden a 32 % y 18 %, respectivamente. Las variables medidas fueron: índice de contenido de clorofila (ICCL), altura de planta (AP) y rendimiento (REND). El análisis estadístico de los datos se realizó mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), empleando el programa SAS v.9.0.

Resultados y discusión

La aplicación de Hidrogel + Zeolita (H+Z) presentó el valor más alto de índice de contenido de clorofila con un valor de 178.8 en CSHS (25 % ± 2) en comparación con el testigo bajo CDHS (20 % ± 2), que registró el valor más bajo 137.6 (Figura 1). Lo anterior es congruente con lo reportado por Miranda et al., (2025) donde muestra que bajo condiciones favorables de humedad en suelo en el cultivo de tomate el Índice de contenido de clorofila se incrementa por acción bioestimulante, no así cuando las condiciones de humedad del suelo son deficitarias.

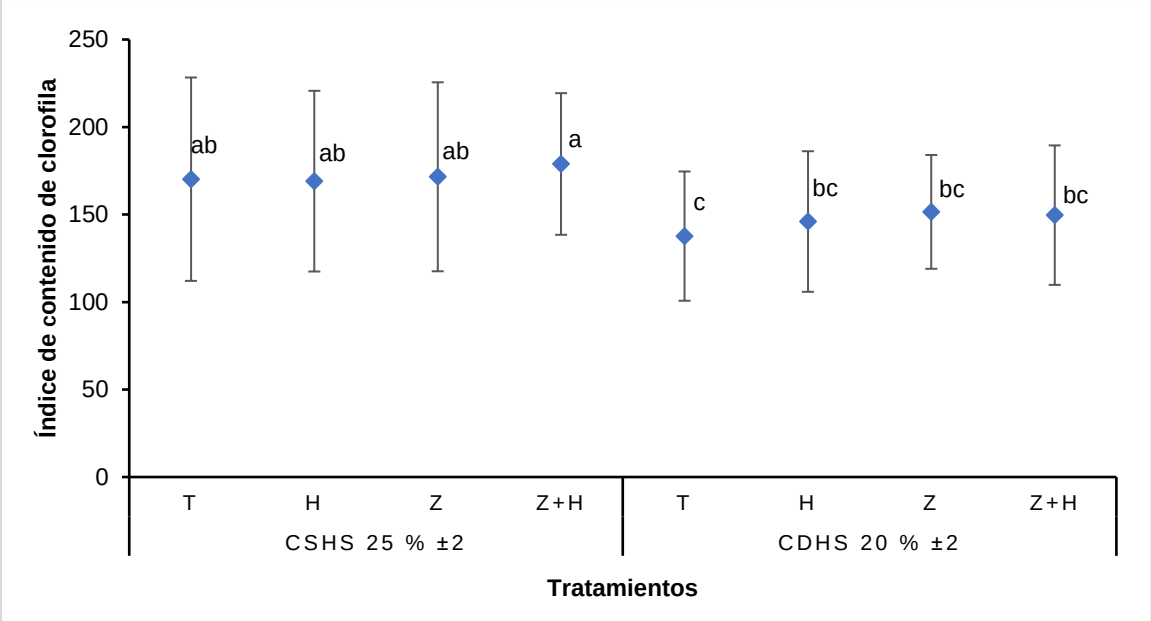


Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre el índice de clorofila (CCL) en chile serrano gordo bajo condiciones de humedad subóptima (25 % ± 2) y deficitarias (20 % ± 2). Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras en la misma columna son estadísticamente iguales.

Un comportamiento similar se observó en la altura de la planta con 28.44 y 28.5 cm, en H y Z+H, respectivamente, en comparación con la Zeolita (Z) y la combinación de Hidrogel + Zeolita (H+Z) en CDHS, donde se registraron los valores más bajos (Figura 2).

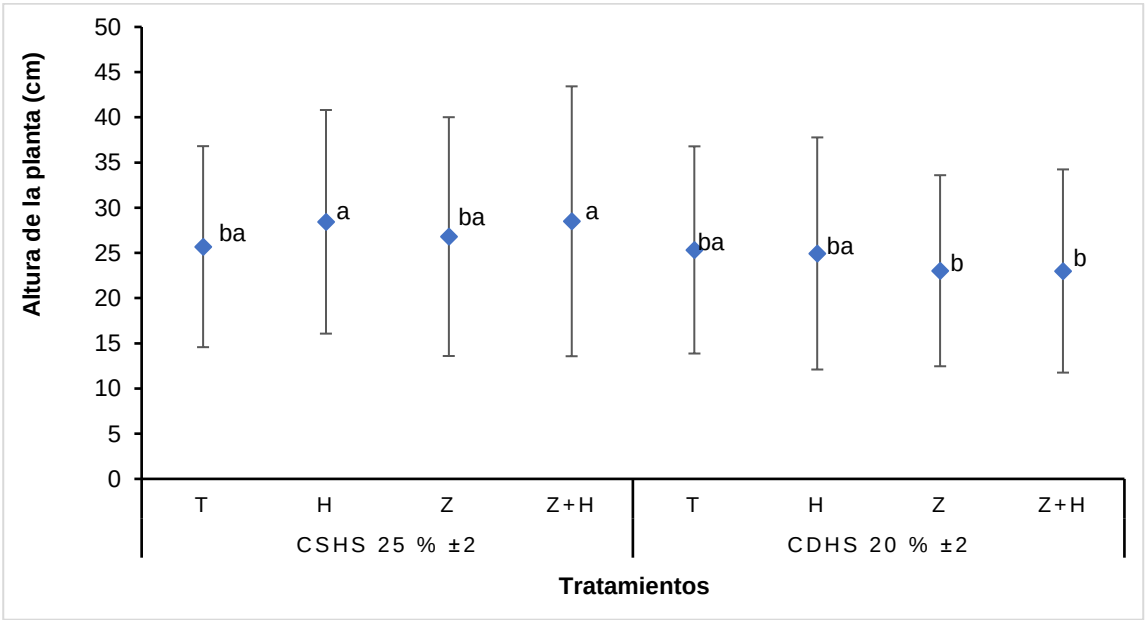


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre la altura de la planta en chile serrano gordo bajo condiciones de humedad subóptima (25 % ± 2) y deficitarias (20 % ± 2). Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras en la misma columna son estadísticamente iguales.

El mejor rendimiento se obtuvo al aplicar solo zeolita con una producción de 23 ton ha^{-1} de chile bajo condiciones subóptimas de humedad del suelo; en tanto que, los valores más bajos, se obtuvieron en condiciones deficientes de humedad del suelo, correspondiendo al peor efecto al aplicar los dos productos juntos (H+Z) con una producción de 12.4 t ha^{-1}, aparentemente por un efecto antagónico, el cual no se identificó en el índice de contenido de clorofila y la altura de planta, donde la combinación de estos productos mostró un efecto positivo.

Cuadro 1. Rendimiento de chile serrano gordo *Capsicum annuum* L. al aplicar hidrogel (H), Zeolita (Z).

Contenido de humedad en el suelo (%)	Retenedores de agua en el suelo	Rendimiento (t ha^{-1})
25% ± 2	Testigo	19.4 ab ± 2.4
	Hidrogel (H)	17.2 bc ± 1.13
	Zeolita (Z)	23.0 a ± 2.47
	H + Z	18.6 b ± 2.06
20% ± 2	Testigo	13.7 cd ± 3.81
	Hidrogel (H)	13.3 cd ± 3.22
	Zeolita (Z)	17.1 bc ± 5.8
	H + Z	12.41 d ± 4.08

Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de la misma columna son estadísticamente iguales. ± El valor de la desviación estándar.

Conclusiones

Los resultados indican que la planta de chile serrano gordo *Capsicum annum* L. es muy sensible al déficit hídrico próximo al punto de marchites permanente (18 %), donde ninguno de los bioestimulantes evaluados en este estudio es capaz de mitigar el estrés hídrico de la planta; en tanto que, bajo condiciones subóptimas de contenido de humedad del suelo, aproximadamente a un 50 % de la humedad aprovechable, el hidrogel solo y éste junto con la zeolita tienden a mejorar el contenido de la clorofila y la altura de la planta, pero al final la zeolita sola es la que produce el mejor rendimiento de chile.

Referencias

CONAGUA. (2010). Contraste Regional Entre el Desarrollo y la Disponibilidad del Agua 2008. http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=0&mapa=8

Miranda-Rojas, J.A., Pedroza-Sandoval, A., Gramillo-Ávila, I., Trejo-Calzada R., Sánchez-Cohen, I., Yáñez-Chávez, L.G. (2025). Algae Extracts and Zeolite Modulate Plant Growth and Enhance the Yield of Tomato *Solanum lycopersicum* L. Under Suboptimum and Deficient Soil Water Content. Horticulturae, 11, 902. https://doi.org/10.3390/horticulturae11080902

Mondal, M., Biswas, B., Garai, S.; Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P.K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M. (2021). Zeolites Enhance Soil Health, Crop Productivity and Environmental Safety. Agronomy, 11, 448. Agronomy11030448 https://doi.org/10.3390/

Pedroza-Sandoval, A., et al. (2015). Uso de polímeros hidrogeles en la agricultura de zonas áridas. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 2(6), 123-132.

EXTRACTO DE GOBERNADORA (*Larrea tridentata*) COMO BIOESTIMULANTE EN PLANTAS DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.)

Gael J. Serna Solís[1], Leobardo Pérez Lozano[1], Antonino Pérez-Hernández[2], Omar C. Ponce-García[3], Carlos A. Ramirez-Estrada[1], Bertha A. Rivas Lucero[1], Alejandro Palacio-Márquez[1*]

[1]Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua, Km. 2.5 Carr. Rosales, Poniente, 33000, Delicias, Chihuahua, México. [2]Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Av. Miguel de Cervantes Saavedra 120, Complejo Industrial Chihuahua, 31136, Chihuahua, Chih. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Delicias, Labor Ejido Rosales km 2, Delicias, 33000 Delicias, Chih, México.* Autor de correspondencia: apalaciom@uach.mx

Introducción

El chile (*Capsicum annum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo y es utilizado como especia en muchos lugares. Además de su sabor peculiar, contiene un gran número de compuestos beneficios para la salud como vitaminas, micronutrientes y compuestos bioactivos. Así mismo, debido a su alta popularidad se ha convertido en un cultivo de alto impacto comercial (Kesumawati et al., 2020; Mardani et al., 2017). La producción mundial de chile picante fue superior a los 36 millones de toneladas con China aportando el 46%, México con 8.5% e Indonesia con un 8 % del total de la producción (FAO, 2024).

Las plantas de chile disminuyen su rendimiento al exponerse a un estrés ambiental en el transcurso del periodo de floración y fructificación. Entre los cambios morfológicos que se presentan son: la caída de botones florales, flores y frutos pequeños (Saha et al., 2010). Para el chile, el amarre pobre de frutos brinda una de las mayores barreras para su adaptación a diferentes situaciones climáticas. Después de la polinización, en los estados de las primeras fases de llenado de la semilla y desarrollo de la flor, se consideran más sensibles al estrés abiótico (Chowdhury et al., 2023).Con base en esto, existen productos derivados de materiales biológicos llamados bioestimulantes, los cuales mejoran el rendimiento, productividad de las plantas, calidad o la eficiencia de la producción, ya que existe la presencia de nutrientes esenciales, reguladores del crecimiento de las plantas y compuestos protectores de las plantas.

En el transcurso del crecimiento y desarrollo de las plantas, estos componentes alteran la regulación hormonal, la señalización y el metabolismo. Se han reportado efectos positivos de los bioestimulantes en estudios previos en la calidad del producto, tanto en condiciones estresantes y normales (Du Jardin, 2015). Una planta que destaca por su potencial como bioestimulante es la gobernadora (*Larrea tridentata*), también conocida como chaparral o cerote ya que se ha descubierto que contiene metabolitos secundarios como fenoles, lignanos y flavonoides, además de precursores de hormonas, aminoácidos y proteínas, lo que la convierte en una fuente potencial de reguladores de crecimiento. Estos componentes podrían promover la elongación celular y el desarrollo general de la planta (Rivera-Escareño et al., 2024; Morales-Ubaldo et al., 2022; Alemán-Granados, 2014). De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el objetivo del presente trabajo de investigación fue observar el efecto estimulante de la aplicación de un extracto de gobernadora sobre el crecimiento de la planta de chile jalapeño.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, ubicada en Cd. Delicias, Chihuahua, México con coordenadas 28.18' 09" N y 105.50' 06" O. Se utilizo un diseño al azar (DCA), con tres tratamientos y un testigo con seis repeticiones por tratamiento. Los tratamientos consistieron en extracto de gobernadora mediante metanol a dosis de 1% (T1), 0.5% (T2) y 0.1% (T3), más un testigo sin aplicación. La unidad experimental fue una planta de chile jalapeño, los tratamientos se aplicaron cada 10 días de manera foliar a partir de los 30 días después del trasplante.

Las muestras de *Larrea tridentata* se recolectaron en áreas cercanas a la presa Francisco I. Madero el municipio de Rosales, Chihuahua, Chih. México (28°7'58", 105°40'12"). El material se dejó secar a temperatura ambiente se cortaron con tijeras de jardinería en trozos de aproximadamente 5 cm, posteriormente se trituró en molino pulverizador MAQNOVA, mpm 150 donde alcanzó el tamaño de partícula en malla 100. Para realizar las extracciones se utilizó como solvente metanol-agua (80:20) usando un equipo Soxhlet, elevando la temperatura a 300 °C, durante 15 horas.

Se analizaron variables como altura de la planta, número de hojas y flores, diámetro del tallo, peso fresco, peso seco de biomasa aérea y radicular, así como índice de clorofila mediante valores SPAD, además se tomó en cuenta la producción de las plantas que presentaron formación de frutos al momento de recolección del experimento (70 días después del trasplante). Para su evaluación estadística, se realizó un análisis de varianza y una prueba se separación de medias, utilizando el método Tukey con un intervalo de confianza del 95%, mediante el software SAS versión 9.

Resultados

Variables agronómicas. Los resultados obtenidos en el presente estudio no presentaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) para las variables de altura y número de hojas, mientras que, en las variables de diámetro de tallo, número de inflorescencias, longitud radicular y rendimiento, se presentaron diferencias estadísticas significativas para los tratamientos evaluados, siendo el T3 el tratamiento destacado con un incremento de 8.7 % en el diámetro de tallo y siendo el único tratamiento que alcanzó la etapa de producción obteniendo un promedio de 25.3 g por planta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la aplicación de extracto de gobernadora como bioestimulante, sobre los parámetros agronómicos y el rendimiento de plantas de chile jalapeño cv. Imperial.

Tratamiento	Testigo	T1	T2	T3
Altura (cm)	49.3±4.9 a	50.1±2.0 a	48.4±4.0 a	45.0±6.0 a
Diámetro (mm)	6.9±.5 b	6.5±.5 b	6.5±.5 b	7.5±.6 a
Numero de hojas	36.5±4.2 a	36.2±8.4 a	43.0±8.0 a	46.0±11.9 a
Numero de inflorescencias	7.0±4.2 b	10.7±5.3 ab	14.2±6.6 a	8.3±3.0 ab
Longitud radicular (cm)	35.3±5.6 ab	31.5±5.2 b	29.6±2.6 b	38.6±7.9 a
Rendimiento* (g por planta)	0±0 b	0±0 b	0±0 b	23.5±8.2 a

Letras minúsculas diferentes en la misma columna representan diferencia significativa entre tratamientos (Tukey $P \leq 0.05$). * Solo las plantas del tratamiento 3 presentaron fructificación bien desarrollada.

Biomasa fresca. En el presente trabajo de investigación se encontraron diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05) en la variable biomasa de la parte área en peso fresco, destacando el T3 con un incremento de 58.03 % en relación con el testigo sin aplicación, así como un incremento de 48.5 y 40.1 % en relación con el T1 y T2 respectivamente. Por su parte la parte radicular no presentó diferencias estadísticas significativas (Figura 1).

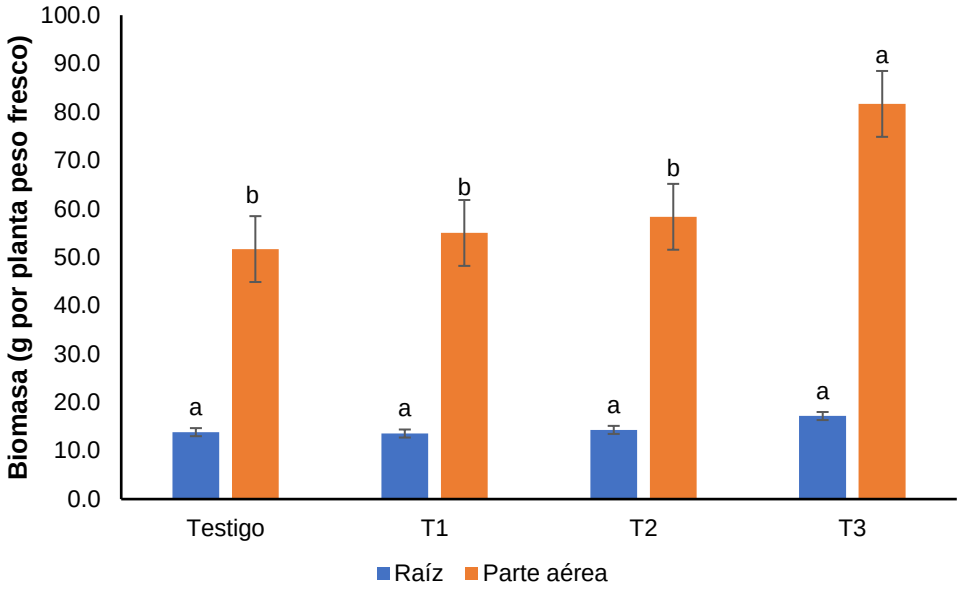


Figura 1. Efecto de la aplicación de extracto de gobernadora como bioestimulante, sobre la acumulación de biomasa en raíz y parte área en peso fresco. Letras diferentes indican diferencia significativa.

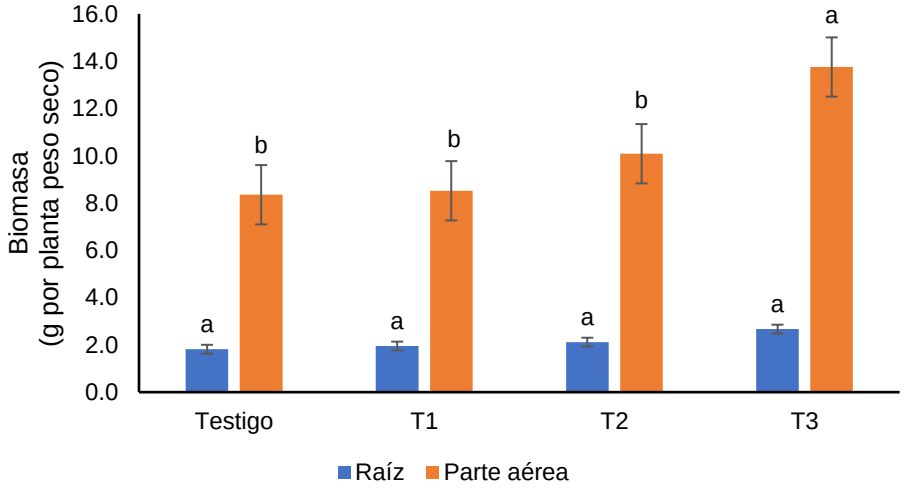


Figura 2. Efecto de la aplicación de extracto de gobernadora como bioestimulante, sobre la acumulación de biomasa en raíz y parte área en peso seco. Letras diferentes indican diferencia significativa.

Biomasa seca. De la misma manera, se encontraron diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05) en la variable biomasa de la parte área en peso seco, entre el tratamiento T3 y los tratamientos restantes encontrando incrementos de 64.3, 62.4 y 36.6 % en relación con el testigo, T1 y T2 respectivamente (Figura 2).

Índice de clorofila (SPAD). El análisis estadístico mostró diferencia significativa (P ≤ 0.05) para la variable de índice de clorofila entre los tratamientos evaluados después de la aplicación de bioestimulante a base de gobernadora (*Larrea tridentata*), obteniendo un incremento de 9.14% entre T3 y el control sin aplicación (Figura 3).

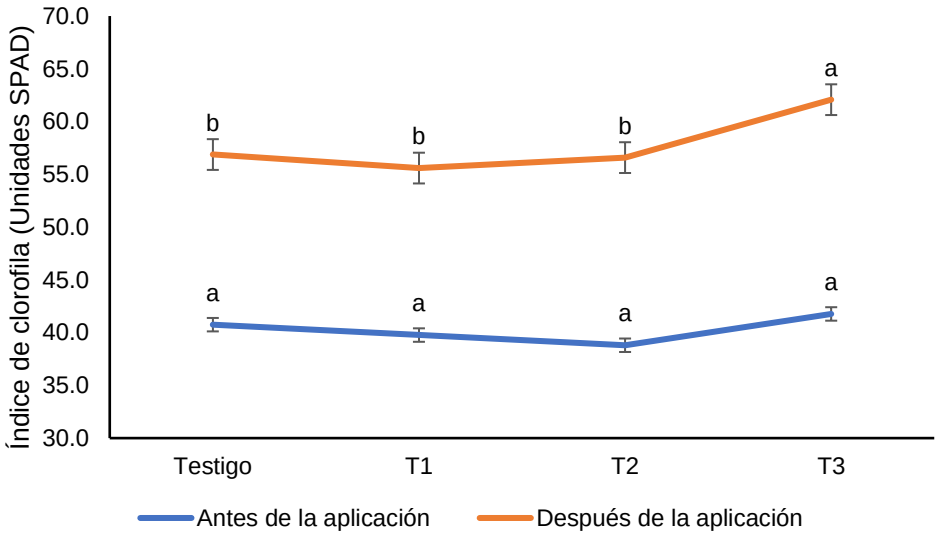


Figura 3. Efecto de la aplicación de extracto de gobernadora como bioestimulante, sobre el índice de clorofila en plantas de chile jalapeño. Letras diferentes indican diferencia significativa.

Los estudios previos para la evaluación de extracto de gobernadora como bioestimulante son limitados, sin embargo, Sánchez-Pérez et al. (2023), reportan que nanopartículas de óxido de zinc en combinación con gobernadora tuvo efectos positivos sobre la germinación, vigor y crecimiento de plántulas de chile serrano.

Según Omolola et al. (2022), la aplicación exógena de extractos de plantas actúa mediante la interacción de compuestos bioactivos con la semilla activando diversos mecanismos que facilitan la lignificación de paredes celulares de plantas, lo que promueve la longitud de los brotes, influyendo en la actividad de enzimas aumentando el crecimiento de las plantas. Además, los extractos de plantas se caracterizan por ser ricos en compuestos bioactivos, principalmente poseen acido fenólico, ácido gálico y distintos flavonoides que desempeñan un papel importante en la regulación del metabolismo asociado a la germinación de semillas, la elongación celular y la síntesis de hormonas vegetales (Berwal et al., 2021). En el caso del índice de clorofila, los resultados obtenidos concuerdan con los publicados por da Silva-Costa et al. (2018), los cuales reportan un valor promedio de 58.5 unidades SPAD para plantas de chile durante la etapa de floración. De la misma manera, Yu et al. (2016), reportan un rango de 34 a 57 unidades SPAD para hojas del cultivo de chile, alcanzando sus valores máximos en la etapa de floración, resultados similares a los presentados en el presente estudio.

Para este caso en particular, los valores obtenidos en el índice de clorofila podrían deberse en primera instancia a que las hojas evaluadas presentaban un distinto grado de madurez, en relación con las demás plantas, debido a que no todas las plantas de chile tienen la misma velocidad en el desarrollo y maduración de sus hojas (Silla et al., 2010). Por lo que puede inferirse que la aplicación de extracto de gobernadora a dosis de 0.1% aceleró la maduración de plantas de chile jalapeño, explicando porque fue el único tratamiento que obtuvo frutos completamente desarrollados.

Conclusiones

Este estudio destaca el potencial del extracto de gobernadora, para mejorar el crecimiento y rendimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). En el presente estudio se observó un aumento en la biomasa de la parte aérea con el tratamiento T3, mientras que la longitud radicular se mantuvo estable, crucial para la absorción de nutrientes. A su vez, los resultados sugieren que el uso de extracto de gobernadora como bioestimulante puede ser beneficioso para el desarrollo radicular, el diámetro del tallo, índice de clorofila, así como en la producción de inflorescencias, influyendo directamente en la cantidad de frutos. Dentro de las dosis evaluadas se encontró que la dosis menor de 0.1 % de extracto de gobernadora tuvo impactos positivos en la mayoría de las variables. Finalmente, el uso de extracto de gobernadora en forma de bioestimulante representa una estrategia prometedora para optimizar el crecimiento y producción en plantas de chile jalapeño. No obstante, es fundamental continuar con investigaciones para conocer los efectos de este extracto sobre los parámetros fisiológicos y bioquímicos que generan los cambios agronómicos presentados en el presente estudio.

Referencias

Alemán-Granados, F. J. (2014). Extractos de (Larrrea tridentata cov.) como promotores de la germinacion de semillas y elongacion de plantulas de brocoli (Brassica oleracea L. grupo italica.) y lechuga (Lactuca sativa L.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.

Berwal, M. K., Haldhar, S. M., Ram, C., & Saroj, P. L. (2021). Determination of total phenolic & flavonoids and antioxidant activity in Calligonum polygonoides L. from Thar Desert. Journal of Environmental Biology, 42(5), 1347-1354. http://dx.doi.org/10.22438/jeb/42/5/MRN-1680

Chowdhury, M. F. N., Rafii, M. Y., Ismail, S. I., Ramlee, S. I., Hosen, M., Karim, K. R., ... & Sahmat, S. S. (2023). Growth and yield performances, pathogenicity, heat tolerance, antioxidant activity, and pungency level of anthracnose resistant and heat tolerant inbreed lines and their F1 hybrids of chili (Capsicum annuum L.). Scientia Horticulturae, 309, 111606.

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Scientia horticulturae, 196, 3-14.

FAO. (2024). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024. Roma: FAO. https://doi.org/10.4060/cd2971en.

Kesumawati, E., Apriyatna, D., & Rahmawati, M. (2020). The effect of shading levels and varieties on the growth and yield of chili plants (Capsicum annuum L.). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 425, No. 1, p. 012080). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/425/1/012080

Mardani, S., Tabatabaei, S. H., Pessarakli, M., & Zareabyaneh, H. (2017). Physiological responses of pepper plant (Capsicum annuum L.) to drought stress. Journal of plant nutrition, 40(10), 1453-1464. http://doi.org/10.1080/01904167.2016.1269342

Morales-Ubaldo, A. L., Rivero-Pérez, N., Valladares-Carranza, B., Madariaga-Navarrete, A., Higuera-Piedrahita, R. I., Delgadillo-Ruiz, L., ... & Zaragoza-Bastida, A. (2022). Phytochemical compounds and pharmacological properties of Larrea tridentata. Molecules, 27(17), 5393. https://doi.org/10.3390/molecules27175393

Omolola, O. O., Daniel, A. I., Gokul, A., Beukes, D. R., Fadaka Keyster, M., & Klein, A., (2022). Seaweed-Derived Phenolic Compounds in Growth Promotion and Stress Alleviation in Plants. Life, 12(10), 1548.

Rivera-Escareño, D., García-Flores, D. A., Ortega-Amaro, A., Loera-Alvarado, G., & Cadena-Iñiguez, J. (2024). Gobernadora (Larrea tridentata), planta del semidesierto con alto potencial de aprovechamiento. Agro-Divulgación, 4(1). 1-3.

Saha, S. R.; Hossain, M. M.; Rahman, M. M.; Kuo, C. G. & Abdullah, S. (2010). Effect of high temperature stress on the performance of twelve sweet pepper genotypes. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 35(3), 525-534.

Sánchez-Pérez, D. M., Flores-Loyola, E., Márquez-Guerrero, S. Y., Galindo-Guzman, M., & Marszalek, J. E. (2023). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using Larrea tridentata extract and their impact on the in-vitro germination and seedling growth of Capsicum annuum. Sustainability, 15(4), 3080.

Silva-Costa, F. D., Lima, A. S. D., Magalhães, I. D., Chaves, L. H. G., & Guerra, H. O. C. (2018). Fruit production and SPAD index of pepper (Capsicum annuum L.) under nitrogen fertilizer doses. Australian Journal of Crop Science, 12(1), 11-15.

Yu, K. Q., Zhao, Y. R., Zhu, F. L., Li, X. L., & He, Y. (2016). Mapping of chlorophyll and SPAD distribution in pepper leaves during leaf senescence using visible and near-infrared hyperspectral imaging. Transactions of the ASABE, 59(1), 13-24.

APLICACIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO PARA MITIGAR EL ESTRÉS HÍDRICO EN EL CULTIVO DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.)

Darahani V. Díaz-García[1], José Iván Gutierrez-Levario[2], Omar C. Ponce-García[3], Carlos A. Ramirez-Estrada[2], Edwin Rojo-Gutierrez[2], Ricardo Valdez-Morales[2], Alejandro Palacio-Márquez[2*]

[1]Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Av. Pascual Orozco, Chihuahua, [2]Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua, Km. 2.5 carr. a Rosales poniente, Delicias, Chihuahua, México; [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Delicias, Labor Ejido Rosales km 2, Delicias, Chihuahua, México.* Autor de correspondencia: apalaciom@uach.mx

Introducción

El cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) es de gran importancia económica y nutricional (Álvarez, 2023). Este cultivo conlleva un alto consumo hídrico, requiriendo entre 12 y 14 riegos dentro del ciclo, 92 cm de lámina total acumulada en riego por gravedad (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, 2015). Los riegos por debajo de los niveles requeridos ocasionan una disminución del rendimiento, aborto de flores y susceptibilidad a plagas y enfermedades (Esparza, 2014). El estrés hídrico en los cultivos ha sido uno de los principales problemas en la agricultura al desencadenar una respuesta fisiológica negativa en las plantas (Valverde-Otárola y Arias, 2020). En base a esta problemática se han utilizado diferentes bioestimulantes como alternativa de resistencia al estrés abiótico. Como lo es el caso de la aplicación de ácido cítrico mediante el riego (Caicedo-López, 2022). La escasez de agua ha generado consecuencias negativas para los agricultores debido a la baja disponibilidad de agua, llegando al extremo de no poder sembrar en los ciclos agrícolas de 1995-1996 y 2024-2025 (CONAGUA, 2025). A pesar de que ya existen diferentes estudios de la utilización de bioestimulantes para contrarrestar el estrés hídrico, se es necesario seguir evaluando en distintos climas y tipos de suelos; además de probar la dosis de mayor efectividad. Por ello en esta investigación tuvo como objetivo evaluar la aplicación de ácido cítrico sobre los efectos del estrés hídrico en plantas de chile Jalapeño.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el invernadero I de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, ubicada en Cd. Delicias, Chihuahua, México con coordenadas 28.18’ 09” N y 105.50' 06” O. Donde se realizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos más un testigo, cada uno con seis repeticiones. El testigo con el 100 % de agua requerida según el uso consuntivo de cada mes, sin ácido cítrico. Al tratamiento 1 (T1) se le aplicó el 70 % de agua requerida con alta concentración de ácido cítrico (10 mM) seguido del tratamiento 2 (T2) con el 70 % de agua requerida con baja concentración de ácido cítrico (1 mM) y el tratamiento 3 (T3) con solo el 70 % de agua requerida, sin ácido cítrico. El compuesto se aplicó semanalmente de manera edáfica mediante el riego 30 días después del trasplante. Para el riego se calculó la lámina adecuada, tomando los factores de densidad aparente del sustrato, área y volumen de la maceta, así como la altura del sustrato en ella con el fin de obtener el volumen de aplicación para cada tratamiento.

Se analizaron variables como altura de la planta, número de hojas y flores, diámetro del tallo, peso fresco, peso seco de biomasa aérea y radicular, así como índice de clorofila mediante valores SPAD. Para su evaluación estadística, se realizó un análisis de varianza y una prueba se separación de medias, utilizando el método Tukey con un intervalo de confianza del 95%, mediante el software SAS versión 9.

Resultados y discusión

El índice de clorofila se determinó mediante valores SPAD ya que es un método no invasivo, permitiendo evaluar niveles de nitrógeno (N) y contenido de clorofila total en plantas de chile, donde se obtuvieron correlaciones positivas (Costa et al., 2018). Sin embargo, en el presente trabajo de investigación, los valores SPAD no mostraron significancia entre tratamientos con respecto al testigo ($p<0.05$) (Figura 1).

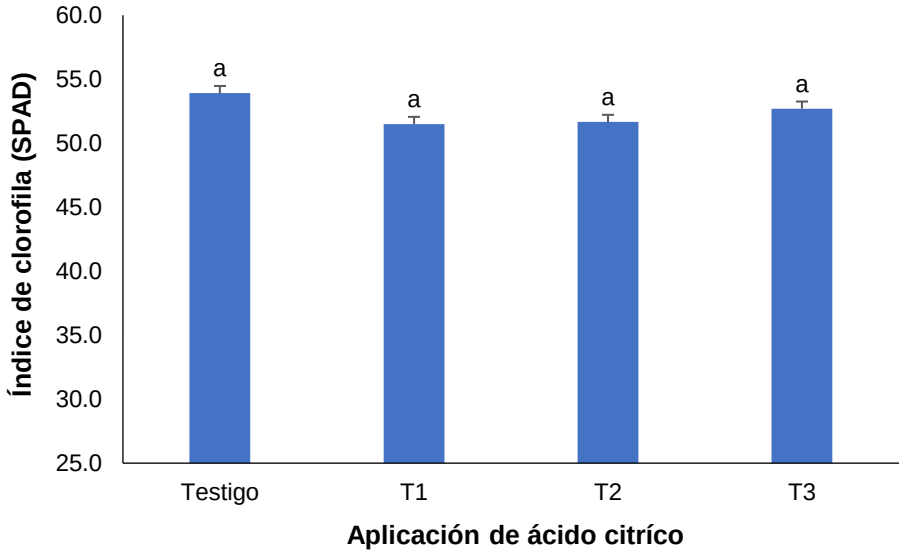


Figura 1. Efecto de la aplicación de ácido cítrico sobre el índice de clorofila en el cultivo de chile jalapeño sometido a estrés hídrico. Letras diferentes indican diferencia significativa.

Esto debido a que los niveles de estrés no fueron tan severos. sin embargo, se ha afirmado que el estrés hídrico provoca una reducción en el contenido de clorofila y esta está altamente relacionada con el rendimiento, algunos estudios indican que la aplicación de ácido cítrico puede mitigar el estrés por sequía, logrando mantener los niveles adecuados de clorofila en etapas de desarrollo (Buenrostro-Rodríguez et al., 2024; El-Tohamy et al., 2013).

La biomasa es clave en cuanto al desarrollo fisiológico de los cultivos (Sánchez et al., 2016). Los resultados obtenidos en peso aéreo presentaron una diferencia estadística significativa ($p<0.05$). destacando el T1 y T2 sobre el T3 (sin aplicación de ácido cítrico) en cuanto a peso fresco, con un incremento del 32.34 % y 23.07 % respectivamente. Así mismo, el T1 en cuanto a peso seco incrementó un 44.9% sobre el T3 (Figura 2).

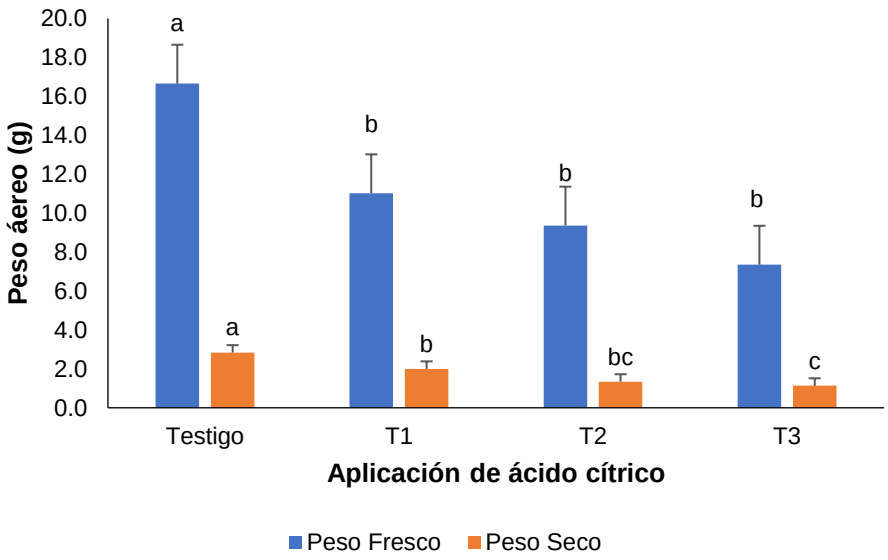


Figura 2. Efecto de la aplicación de ácido cítrico sobre el índice de clorofila en el cultivo de chile jalapeño sometido a estrés hídrico. Letras diferentes indican diferencia significativa.

Obteniendo así resultados similares a otros trabajos de investigación en los cuales la biomasa incremento gracias a las aplicaciones en dosis bajas de ácido cítrico con respecto a un testigo sin aplicación (Al-Mashhadani y Al-Amery 2023).

En cuanto al peso fresco radicular, se obtuvo una significancia estadística ($p<0.05$) en la cual se destacó la dosis de T1 al incrementar un 17.62% sobre el T2 que incrementó un 49.89% sobre el T3 (sin aplicación de ácido cítrico). Finalmente, en los resultados de peso seco radicular también se obtuvieron resultados estadísticos significativos ($p<0.05$), donde el T1 obtuvo un incremento del 50% sobre el T2 que a su vez incrementó un 76.48% sobre el T3 (Figura 3).

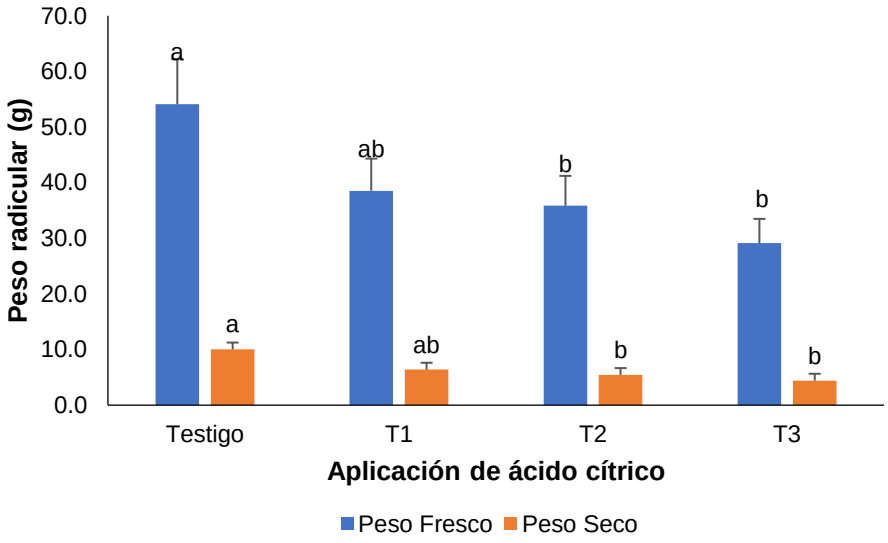


Figura 3. Efecto de la aplicación de ácido cítrico sobre el peso radicular en el cultivo de chile jalapeño sometido a estrés hídrico. Letras diferentes indican diferencia significativa.

Las aplicaciones de dosis altas influyeron en algunas variables siendo superiores al tratamiento con baja concentración y al tratamiento sin aplicación de ácido cítrico. Reforzando así los datos obtenidos en otras investigaciones, donde la diferencia supera el 200% (Lozoya, 2018).

Dentro de los parámetros agronómicos, la altura y el diámetro obtuvieron incrementos de 22.4 % y 25 % respectivamente, al aplicar 10 mM de ácido cítrico en comparación con el T3 y en variables como el número de inflorescencias, no se obtuvieron resultados estadísticos significativos ($p<0.05$), manteniendo a los tratamientos con resultados similares.

Cuadro 1. Efecto de la aplicación de ácido cítrico sobre los parámetros agronómicos en el cultivo de chile jalapeño sometido a estrés hídrico. Letras diferentes indican diferencia significativa.

Tratamiento	Diámetro (mm)	Inflorescencias	Altura (cm)	Hojas	Longitud radicular (cm)
Testigo	6.3±0.53 a	29.2±7.31 a	66.3±12.1 a	67±6.46 a	34.5±7.64 a
T1	5.5±0.49 b	16.2±7.47 b	60.2±5.31 ab	62±5.64 ab	28.8±5.04 a
T2	4.9±0.48 bc	13.8±5.74 b	57.6±11.8 ab	50±15.4 b	34.4±5.54 a
T3	4.4±0.28 c	12.0±6.72 b	49.2±11.3 b	53±9.09 ab	34.3±7.61 a

Diversos estudios reportan resultados similares, donde se reflejó el aumento en la altura y no encontraron diferencias en cuanto al número de inflorescencias (Alshegaihi et al., 2023., Pérez-Labrada et al., 2023).

Conclusiones

Las aplicaciones de ácido cítrico como bioestimulantes en plantas de chile jalapeño sometidas a estrés hídrico mostraron resultados positivos, destacando la dosis de 10 mM, en la cual se notó un incremento de la biomasa aérea, radicular y en variables agronómicas como la altura de la planta, logrando valores con mayor similitud al testigo.

La aplicación de este bioestimulante permite aumentar la resistencia al estrés hídrico. concluyendo así que el T1 fue el tratamiento con mejores resultados, debido a la alta concentración de ácido cítrico, logró mejorar funciones fisiológicas de la planta y optimizar la absorción de agua y nutrientes, volviéndose así más resistentes al estrés abiótico.

Referencias

Álvarez Pator, C. (2023). Evolución del control de Trips (*Frankliniella occidentalis*) a través de los métodos etológicos y orgánico en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum*: var Magno), en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Tesis de licenciatura. Universidad del Valle de Guatemala.Guatemala. https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/5430

Al-Mashhadany, A. H., & Al-Amery, N. J. (2023). Enhancing Vegetative Growth by Adding Phosphorus, Silicon, and Citric Acid to Pepper Plants Cultivated in Plastic Greenhouses. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1262, No. 4, p. 042068). IOP Publishing.

Alshegaihi, R. M., Mfarrej, M. F. B., Saleem, M. H., Parveen, A., Ahmad, K. S., Ali, B., ... & Soudy, F. A. (2023). Effective citric acid and EDTA treatments in cadmium stress tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings by regulating specific gene expression. South African Journal of Botany, 159, 367-380.

Buenrostro-Rodríguez, J. F., Covarrubias Prieto, J., Solís Moya, E., Ledesma Ramirez, L., González Figueroa, S. S., Mandujano Bueno, A., Cisneros López, H. C., & Gámez Vázquez, A. J. (2023). Efecto

del estrés hídrico sobre el rendimiento, clorofila y biomasa en trigo. Revista fitotecnia mexicana, 46(3), 245-253.

Caicedo-López, L. H. C. (2022). Aplicación de emisiones acústicas (EA) como inductores de tolerancia a sequía y producción de capsaicinoides en plantas *Capsicum annuum* L. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.

CONAGUA. (2025). Acuíferos Chihuahua. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de (fecha de consulta 07 de enero de 2025) https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/chihuahua/chihuahua.html.

Costa, F. D. S., Lima, A. S. D., Magalhães, I. D., Chaves, L. H. G., & Guerra, H. O. C. (2018). Fruit production and SPAD index of pepper (*Capsicum annuum* L.) under nitrogen fertilizer doses. Australian Journal of Crop Science, 12(1), 11-15.

El-Tohamy, W. A., El-Abagy, H. M., Badr, M. A., & Gruda, N. (2013). Drought tolerance and water status of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by citric acid application. J. Appl. Bot. Food Qual, 86(10.5073).

Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. Secuencia, (89), 193-219.

Ferreyra, E.R., A.J. Peralta, R.A. Sadzawka, B.J. Valenzuela and S.C. Muñoz. (1998). Effect of acid application on some chemical characteristics of a calcareous soil. Agricultura Técnica (Chile), 58(2): 163-170.

Hu, H., Tang, C., & Rengel, Z. (2005). Influence of phenolic acids on phosphorus mobilization in acidic and calcareous soils. Plant and Soil, 268, 173-180.

Lozoya, D. R. (2018). Influencia del ácido cítrico en la absorción y translocación de nutrientes en lechuga (Lactuca sativa L.). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

Lozoya, D. R. (2018). Influencia del ácido cítrico en la absorción y translocación de nutrientes en lechuga (*Lactuca sativa* L.). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

Pérez-Labrada, F., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Solís-Gaona, S., & González-Morales, S. (2023). Effects of citric acid and humic-like substances on yield, enzyme activities, and expression of genes involved in iron uptake in tomato plants. Horticulturae, 9(6), 630.

Sánchez, E., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2016). Compuestos nitrogenados indicadores de estrés en respuesta a las dosis tóxicas y deficientes de Nitrógeno en frijol ejotero. Nova scientia, 8(16), 228-244.

Valverde-Otárola, J.C. y Arias, D. (2020). Efectos del estrés hídrico en crecimiento y desarrollo fisiológico de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. Colombia Forestal, 23(1), 29-53.

APLICACIÓN DE EXTRACTOS DE ALGAENZIMAS Y SU IMPACTO EN EL VIGOR, ÁREA FOLIAR Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA FRESCA EN DIFERENTES GENOTIPOS DE TREBOL *Lotus corniculatus* L. EN ZONAS ÁRIDAS

José Manuel Venegas-López[1], Aurelio Pedroza-Sandoval[2*], Ricardo Trejo-Calzada[2], Isaac Gramillo-Ávila[2]

[1]Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Agrícolas de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. [2]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Km. 40 carr. Gómez Palacio - Chihuahua, Bermejillo, Dgo. CP. 35230. *Autor de correspondencia*:* apedroza@chapino.uruza.edu.mx

Introducción

La Comarca Lagunera presenta problemas de escasez de agua por la sobreexplotación del acuífero, adicional a la salinización de agua de riego de pozo profundo (CONAGUA, 2018). Esta región se destaca por la producción ganadera, así como en la producción de forrajes actividades que implican el uso de gran cantidad de agua. El trébol forrajero *Lotus corniculatus* es un cultivo alternativo para afrontar los desafíos que tiene el sector ganadero en las zonas áridas. Álvarez et al., (2020), encontraron diferencias en la cantidad de forraje acumulado y en la dinámica de crecimiento de la planta en diferentes épocas del año, lo que confirma su plasticidad de desarrollo de acuerdo con las condiciones ambientales. El uso de materiales genéticos tolerantes al déficit hídrico en combinación con el uso de bioestimulantes como las algaenzimas, puede mejorar la eficiencia productiva del trébol, al estimular la germinación, promover un mayor desarrollo radical y aumentar la tolerancia al estrés hídrico (Craigie, 2011). Estos compuestos derivados de algas marinas contienen reguladores de crecimiento, aminoácidos y compuestos bioactivos que fortalecen la capacidad de las plantas para adaptarse a ambientes adversos, lo cual representa una estrategia clave para zonas áridas como la Comarca Lagunera. El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad bioestimulante de las algaenzimas en el crecimiento, área foliar y producción de forraje en diferentes genotipos de trébol *Lotus corniculatus* L. en zonas áridas.

Materiales y métodos

El estudio se llevó cabo en el área experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh) en Bermejillo, Mapimí del Estado de Durango, México. La región se encuentra ubicada entre los paralelos 24° 22’ y 26° 23’ LN y 101° 41’ y 104° 61’ LO a una altitud de 1,100 m. Cuenta con un clima seco desértico, con lluvias en verano e invierno fresco, la precipitación pluvial media anual es 258 mm y la evaporación potencial media anual es de 2,000 mm, temperatura media anual es 21 °C con máxima de 33.7 °C y mínima 7.5 °C (Medina et al., 2005).

Se usó un diseño experimental de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. Las parcelas grandes dispuestas de manera paralela correspondientes a la aplicación de algaenzimas a dosis de 20 L ha^{-1} y sin aplicación del bioestimulante. Las parcelas chicas correspondieron a cinco accesiones de trébol con clave 255301, 227318, 255305, 202700, 226792 y la variedad Estanzuela Ganador. La unidad experimental (tratamiento) fue de 1.2 m de longitud de largo y 0.8 m de ancho con 6 rizomas por cada material genético a una distancia de 0.3 m entre rizomas. El primer corte se realizó a los 60 días después del trasplante de los rizomas, para lo cual se eligieron al azar dos plantas, a partir de las cuales se midieron las variables: vigor (VIG), índice de área foliar (IAF) y producción de biomasa fresca como rendimiento. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa SAS v. 9.0.

Resultados y discusión

La accesión 226792 fue la de mejor vigor ($p < 0.05$) en tanto que, la accesión 202700 fue el de más bajo valor, ambos contrastantes al aplicar las algaenzimas. Un comportamiento de menor respuesta entre genotipos, pero más estable, se registró al no aplicar el bioestimulante (Figura 1).

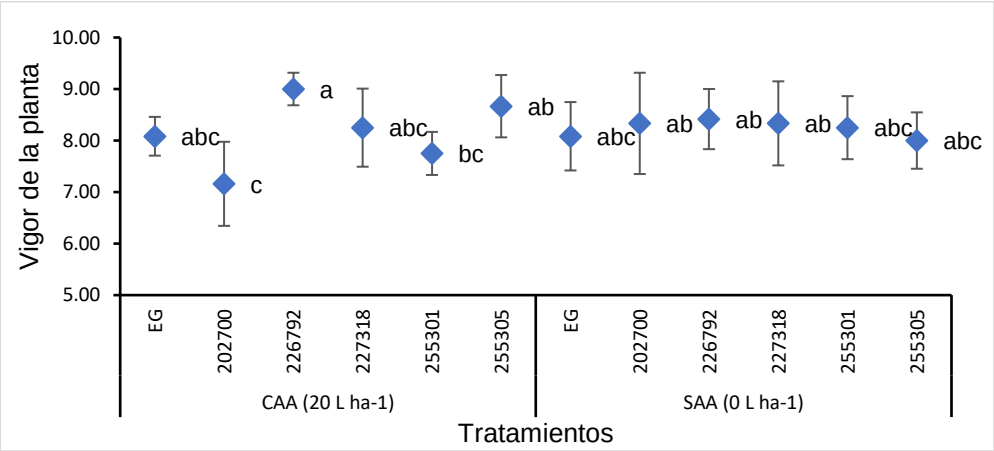


Figura 1. Vigor de la planta de trébol forrajero *Lotus corniculatus* en escala visual de 0 a 10 bajo tratamiento de bioestimulante a base de algaenzimas Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los puntos con las mismas letras no presentan diferencias estadísticas significativas. CAA = con aplicación de algaenzimas, SAA = sin aplicación de algaenzimas.

El índice de área foliar al estar directamente relacionado con el número de tallos por planta resulta en que los genotipos de SAA tengan valores mayores, el genotipo 255301 de SAA registró un índice de 2.31, en comparación con su contraparte de CAA, que registró un índice de 0.85, correspondiente a 63% más de área foliar (Figura 2).

Finalmente, el rendimiento en términos de producción de biomasa fresca, la mejor respuesta se obtuvo en la variedad Estanzuela Ganador, en tanto que, el de peor respuesta fue la accesión 202700 ambos efectos en SAA; el resto de los genotipos registraron valores intermedios, independientemente de si se aplicó o no las algaenzimas (Figura 3).

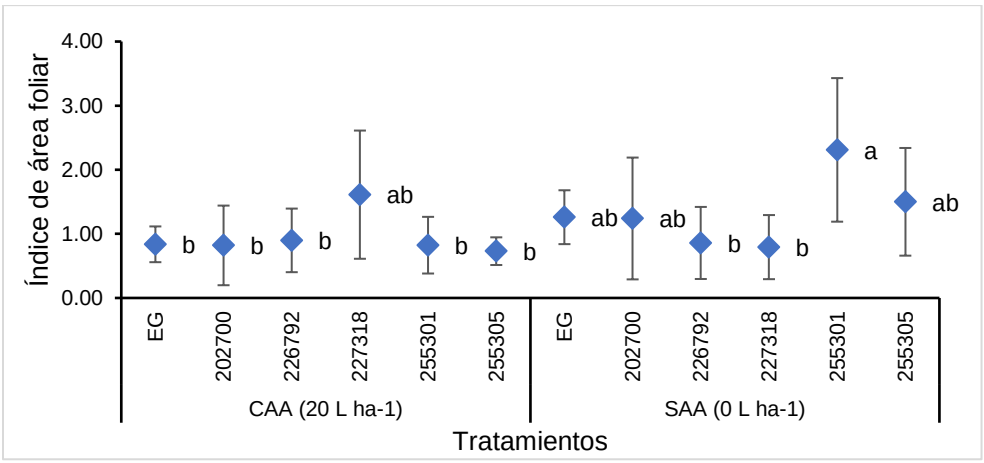


Figura 2. Índice de área foliar de trébol forrajero *Lotus corniculatus* bajo tratamiento de bioestimulante a base de algaenzimas. Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los puntos con las mismas letras no presentan diferencias estadísticas significativas. CAA = con aplicación de algaenzimas, SAA = sin aplicación de algaenzimas.

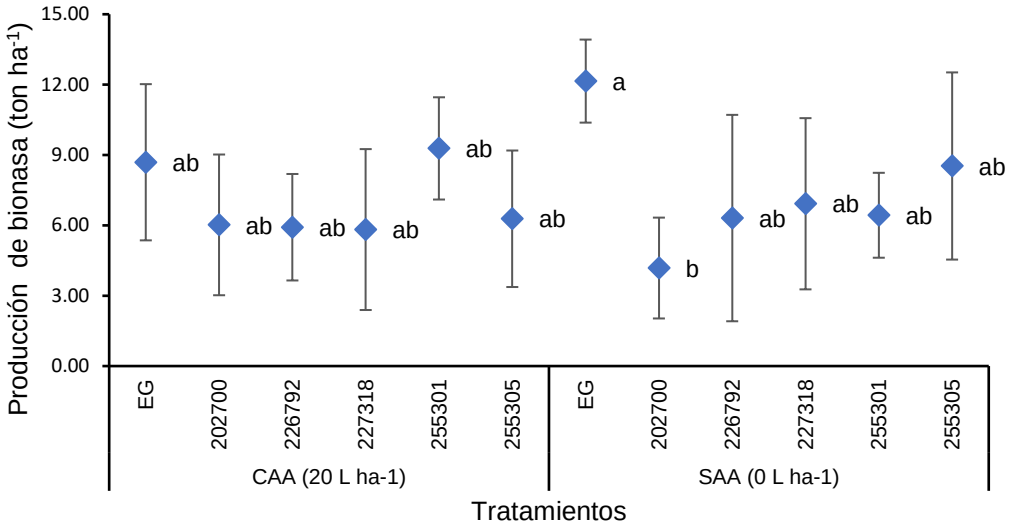


Figura 3. Rendimiento en biomasa fresca de trébol forrajero (*Lotus corniculatus*) bajo tratamiento de bioestimulante a base de algaenzimas. Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los puntos con las mismas letras no presentan diferencias estadísticas significativas. CAA = con aplicación de algaenzimas, SAA = sin aplicación de algaenzimas.

Conclusiones

El vigor de la planta mostró un comportamiento contrastante con el mayor y menor valor, al aplicar las algaenzimas y varió dependiendo del genotipo, aunque la mayoría de los genotipos con aplicación del bioestimulante fueron similares estadísticamente que donde no se aplicó. En índice de área foliar se observó una tendencia de que los genotipos sin aplicación de algaenzimas registraron mayores valores, lo cual sugiere que la presencia del bioestimulante puede limitar la brotación de nuevos tallos, al menos en esta etapa del primer corte y, por ello, se redujo la superficie foliar. En consecuencia, los mayores rendimientos de producción de biomasa se obtuvieron al no aplicar las algaenzimas, con una interacción genotipo-tratamiento, donde la variedad Estanzuela Ganador fue la de mayor respuesta, respecto a la accesión 202700 que fue la de menor rendimiento. Estos resultados indican que, en este primer avance del estudio, la aplicación del bioestimulante no aportó ventajas productivas y, en algunos casos, se asoció con respuestas menores en las variables medidas.

Referencias

Álvarez, P., Guerrero, J. D., García, G., Ortega, M. E., Mendoza, S. I., & Joaquín, S. (2020). Acumulación de forraje de Lotus corniculatus L., en función a diferentes estrategias de cosecha. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 11(4), 1087-1100. https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.4950

CONAGUA. (2018). Estadísticas del agua en México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 371–393.

Medina, G. G., Díaz, P. G., López, H. J., Ruíz, C. J. A., Marín, S. M. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango. (Periodo 1961 - 2003). Libro Técnico 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOCINIFAP. 224p.

CAMBIOS EN LA CALIDAD DE GUAYABA (*Psidium guajava*) DURANTE LA PERDIDA DE LA VIDA ÚTIL

Valentín Melero-Meraz[1]*, Jorge A. Zegbe Dominguez[2], Mayra Denise Herrera[1], Juan José Figueroa González[1], Enrique Barajas Hernández[3].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuariasn (INIFAP), Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Ctra. Zac-Fllo, Calera de V.R., Zacatecas, México. [2] INIFAP. Campo Experimental Pabellon, km 32.5 ctra Ags-Zac, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. [3]Escuela Preparatoria Estatal "Jesús Reyes Heroles". C. Benito Juárez No. 26. Zóquite, Gpe, Zacatecas. *Autor de correspondencia: melero.valentin@inifap.gob.mx

Introducción

Para México la guayaba es un frutal muy importante ya que se cultiva en aproximadamente 20, 000 ha en las que se producen casi 300, 000 t por año y genera ingresos por unos mil seiscientos millones de pesos. Por otro lado, la guayaba es un fruto climatérico de los más desperdiciados en el mundo. Durante la cadena productiva y de consumo se puede perder desde una 10 a un 40% de la fruta. La Organización de las Naciones Unidas define el desperdicio de alimentos como el descarte o uso alternativo de alimentos que son seguros y nutritivos para el consumo humano y se estima que un tercio tienen este destino que lo convierten en un problema de afectación mundial. Las pérdidas equivalen a aproximadamente 1,300 millones de t (FAO, 2022). Al igual que otras frutas frescas la guayaba es altamente perecedera, por su acelerado deterioro fisiológico, susceptibilidad a infecciones, plagas, entre otros factores que favorecen las pérdidas desde la cosecha, durante su acopio, distribución y después de ser adquiridas por el consumidor. La frecuencia y severidad de las afecciones se incrementa a medida la fruta no se maneja adecuadamente (Alférez, et al., 2003). Los frutos climatéricos, después de cosechados, pasan por cuatro estados de desarrollo fisiológico: pre-climatérico, climatérico, maduración de consumo y senescencia. En este tipo de frutas es muy importante prolongar al máximo del primer estadio (pre-climatérico), ya que en esta etapa se puede manipular su actividad metabólica con el fin de poder trasportarlos y distribuirlos (Barrera, et al., 2010; Blake, 1971). Durante la maduración, el sufre daños por frío y se ablanda rápidamente temoeraturas calidas (Yousaf, et al., 2006), limitando el potencial almacenamiento en anaquel, la manipulación y el transporte de la fruta por lo cual se consumen preferentemente antes de la senescencia. Por su condición perecedera, la guayaba después de ser desprendida de la planta sufre pérdidas de peso y deterioro significativos de firmeza, solidos solubles totales, ácidos orgánicos, y otros componentes desmejorando su apariencia y calidad que se reflejan en una reducida vida útil. Los cambios, aunque son muy variables, incluyen generalmente la modificación de la ultraestructura y textura de la pared celular, así como cambios en: turgencia, jugosidad, conversión de almidones en azúcares, incremento en la susceptibilidad a patógenos en la poscosecha, alteraciones en la biosíntesis de pigmentos y de compuestos responsables del sabor (Giovannoni, 2001); que en conjunto van a determinar la calidad de los frutos. Todos estos factores contribuyen y aumentan la pérdida del producto (Martínez et al., 2005) lo que conlleva la búsqueda de alternativas que permitan mantener la calidad, aumentar el tiempo de vida útil o bien alternativas que permitan el aprovechamiento de la fruta que ya no es apta para consumo en fresco. Dado que existe limitada información sobre las condiciones de calidad de la fruta en el momento que deja de ser apta para el consumo en fresco; el objetivo de este trabajo fue determinar sus características de calidad durante el proceso de senescencia en condiciones de mercadeo.

Materiales y Métodos

Para esta investigación se utilizaron frutos del ciclo agrícola 2022 en madurez comercial, cuando comienza a aparecer el color amarillo y desaparece el color verde en la epidemis del fruto; Cuadro 1. Los frutos provinieron de la variedad criolla Media China y fueron adquiridos de una empacadora en Calvillo, Aguascalientes. Los frutos se separaron en tres lotes de 180 frutas y se almacenaron en tres condiciones de almacenamiento (temperatura ambiente, 17 °C y 7 °C) hasta un máximo de 20 d. Periódicamente se midieron las variables de calidad (color, pérdida de peso, solidos solubles totales, firmeza y materia seca) dentro del laboratorio postcosecha del Campo Experimental Zacatecas. Peso fresco de pupa y semilla. Primero se pesó el fruto completo, posteriormente, se eliminó la mayor cantidad posible de pulpa utilizando un procesador de alimentos con aspas metálicas, y se pesó la semilla. Por diferencia se determinó la cantidad de pulpa. Para la Firmeza. Las mediciones se efectuaron en dos sitios opuestos (superficie sin exocarpio) de la zona ecuatorial de cada fruto con un penetrómetro (Modelo FT 327, Wagner Instruments, CT.) equipado con un punzón de 8 mm de diámetro. Se calculó la presión (Kg cm^{-2}) necesaria para romper el tejido (Bourne, 1980). La variable de Sólidos solubles totales se determinó por refractrometría con una alícuota obtenida al determinar la firmeza los resultados se expresaron en °Brix (AOAC, 1998). El color se determinò con mediciones en zona ecuatorial del fruto con cáscara con un espectrofotómetro (X-rite Modelo- SP64, Canadá). El cual considera las dimensiones cromáticas tri-estímulo a* b* y L* del espacio color propuesto por la Comisión Internacional de Color (CIE: Commission Internationale de l'Eclairage, por su siglas en francés) que en conjunto determinan el ángulo de matiz (ºHue), cromaticidad (C) y la luminosidad dentro del espectro de luz visible. Ángulo de matiz (ºHue). También es denominado color verdadero. Está representado por valores entre 0º y 360º. Un ángulo de 0º o 360º representa un color rojo, un ángulo de 90º color amarillo y 270º al color azul. Se calcula mediante la fórmula: ºHue= tan-1(a*/b*). Luminosidad (L). Esta variable se representa dentro del espacio color en un eje cuyos valores oscilan entre 0 (colores negros u obscuros) y 100 (colores luminosos o claros) (Abbott, 1999). La concentración de materia seca se obtuvo tomando una muestra de peso conocido. Las muestras se colocaron en papel aluminio y se introdujeron en una estufa 65 ºC hasta alcanzar un peso constante, posteriormente se separó y se pesó la semilla ese peso fue restado al total de materia seca.

Resultados

La fruta conservada a temperatura ambiente presentó signos de marchitamiento a partir del tercer día. No obstante, se mantuvieron hasta el día 20, momento en el cual la apariencia ya no era comercialmente aceptable (Figura 1). En contraste, la fruta almacenada a 7 °C y 17 °C se mantuvo en condiciones aceptables durante 10 días, periodo en el que se realizaron cinco mediciones. Aunque se observaron signos de deshidratación, la apariencia general seguía siendo agradable. Según Kader (2000, 2002), se considera tolerable hasta un 5 % de pérdida de agua en fruta fresca antes de que se vean comprometidas sus propiedades de calidad y valor nutricional; superado este umbral, el valor comercial disminuye o se pierde.

Figura 1. Apariencia física de frutos de guayaba después de 20 d a temperatura ambiente.

Al momento de la cosecha, la fruta presentaba un contenido de 80 % de agua y 20 % de materia seca, de la cual un 6.3 % correspondía a semilla (Cuadro 1). En la variedad Media China, al inicio del almacenamiento, aproximadamente el 5 % correspondía a semillas, y el resto a pulpa procedente de la placenta y el mesocarpio (Cuadro 1). Sin embargo, debido a la naturaleza criolla del genotipo, esta composición es heterogénea. Lo mismo ocurre con el color del fruto, el cual también varía en función del grado de madurez (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de calidad y composición de frutos de guayaba previo al almacenamiento

Característica	Media	Desviación típica
Pulpa (%)	95.3	0.4
Semilla (%)	4.7	0.4
Luminosidad	70.9	3.16
Cromaticidad	55.2	2.9
Angulo de matiz (ºHue)	90.4	2.9
Firmeza (Kg cm^{-2})	2.3	0.6
Solidos solubles totales °Brix	11.1	0.6
Materia seca pulpa (%)	14.4	0.6
Materia seca semilla (%)	6.3	0.9

Al momento de almacenar la fruta presento un 95 de pulpa y durante los primeros 8 d de almacenamiento hubo variaciones; sin embargo a partir de ese periodo la deshidratación evidencio la perdida masa y se mostró una tendencia a conservar constante el volumen de semilla o aumentarlo respecto a la proporción de pulpa (Figura 2). Los frutos carnosos aun después de cortados mantienen un metabolismo relativamente alto el cual se acelera en presencia de etileno, de tal manera que los carbohidratos estructurales se hidrolizan y son utilizados para la respiración; en cambio las semilla continúa acumulando reservas; lo que explica la disminuciòn de la masa del mesocarpio (Kader, 2002; Taiz y Zeiger, 2002; Alférez y Zacarías, 2003).

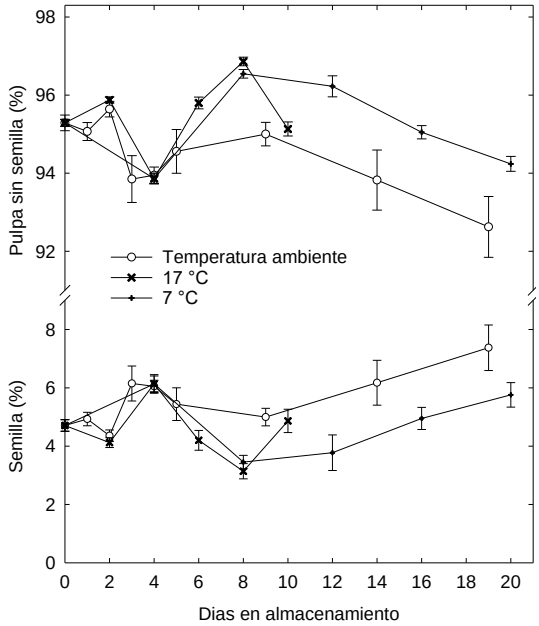


Figura 2. Proporción de pulpa y semilla en frutos de guayaba durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.

Durante el almacenamiento, la fruta perdió agua por transpiración y respiración, con una reducción del 6% de peso en los primeros tres días y un descenso drástico del contenido hídrico a partir del día 8 (Figura 3A). En consecuencia, la materia seca aumentó de ~20% al inicio a >24% al final, con incrementos tanto en semillas (~6%) como en pulpa (~14%) (Figuras 3B y 3D). El color epidérmico pasó de un matiz verde-amarillo (~90 °hue) a tonos amarillos por la degradación de clorofila y exposición de carotenoides (Figura 4A). La luminosidad disminuyó tras 12 días, reflejando pérdida de ceras y oxidación epidérmica (Lara et al., 2014). Este oscurecimiento es típico en frutos amarillos con restos verdes durante la senescencia, asociado a la destrucción parcial del sistema tilacoidal (Ketsa et al., 1999; Janave y Sharma, 2004; Coronado, 2014).

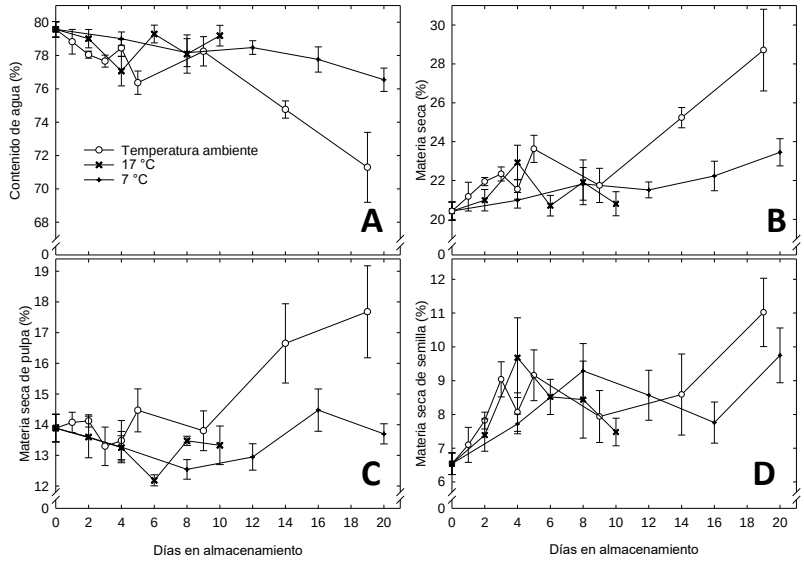


Figura 3. Contenido de agua y materia seca como componentes del fruto de guayaba durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.

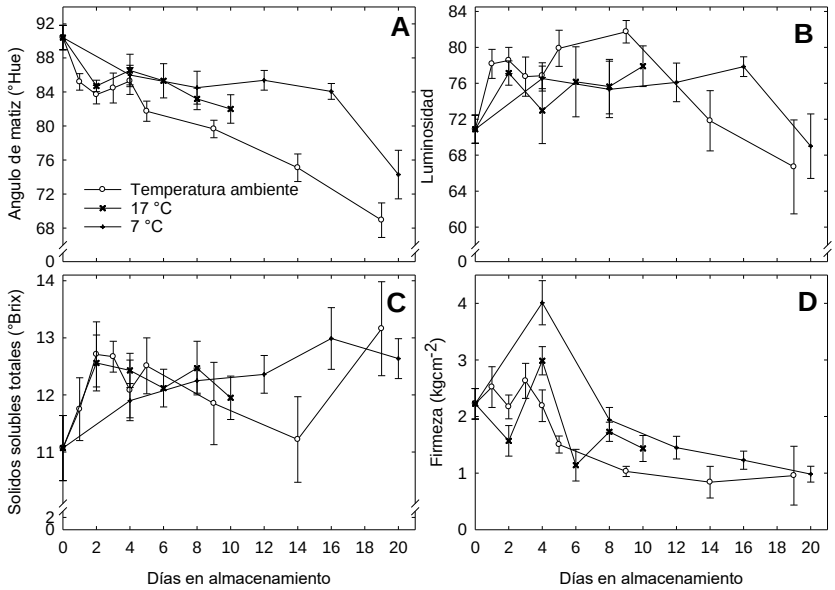


Figura 4. Color (A), luminosidad (B) y características de calidad del fruto de guayaba durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.

Conclusión

Este trabajo respalda la viabilidad de otorgar un aprovechamiento alternativo a la guayaba que ha dejado de cumplir con los estándares para consumo en fresco. Entre las opciones más relevantes se encuentran el deshidratado, la elaboración de tés o ates, así como la extracción de fitoquímicos de interés. Estos procesos permiten conservar sus propiedades nutricionales y funcionales antes de que se deterioren significativamente, lo cual ocurre en un periodo aproximado de 13 días según lo observado. De esta manera, se contribuye a disminuir el impacto negativo asociado a su desperdicio, tanto desde la perspectiva ambiental como desde la seguridad y aprovechamiento alimentario.

Referencias

A.O.A.C. Oficial method of analysis. Association of Official Analiytical Chemistry. 16th edición, Ed. By Hoorwitz, N., P. Chialo, y H. Reynold, Washington, USA (1990).

Abbott J.A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology 15:207-225.

Alférez, F., M. A. y Zacarías, L. 2003. Post harvest rind staining in Navel oranges is aggravated by changes in storage relative humidity: effect on respiration, ethylene production and water potential. Post harvest Biol. Techn. 28:143 – 152.

Barrera, J.; Arrazola, G.; Cayón, D. 2010. Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (Musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. Acta Agron.59 (1): 20- 29.

Blake, J. R.; Peacock, B. C. 1971. Effects of temperature on the preclimacteric life of bananas. Queen Island. Jou. Agric. Anim. Sci. 28:243-248

Bourne, M. C. (1974). Textural changes in ripening peaches. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 7(1), 11-15.

Coronado, A. P. (2014). Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba (Psidium guajava L.). Una revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 8(2), 314-327.

de Villavicencio, M. N., Hernández-Álvarez, R., Rodríguez-Álvarez, I., Rodríguez, J. L., & Torres-López, Y. (2017). Metodología para la estimación de la vida útil de los alimentos. I. Ciencia y Tecnología de Alimentos, 27(1), 58-64.

FAO, Food and Agriculture Organization (2022). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de Pérdida y desperdicio de alimentos. [En línea]. Disponible en: http://www.fao.org/food-loss-and-foodwaste/es/. Fecha de consulta: Dic, 2022.

Giovannoni, J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 52, 725-749. Doi: 0.1146/annurev. arplant.52.1.725

Janave M.T., Sharma A. 2004. Inhibition of chlorophyll degradation in stay-green Langra mango (Mangifera indica L.) fruits. Indian Journal of Plant Physiology, 273:80-87.

Kader A, 2000. Quality assurance of harvested horticultural perishables. Acta Horticulturae 553, 51-6.

Kader AA (2002) Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas. 3era edicion edn. UCANR Publications

Ketsa S., Phakawatmongkol W., Sunhadrabhandhu S. 1999. Peel enzimatic activity and color changes in ripening mango fruit. Journal of Plant Physiology 154:363-366.

Lara I, Belge B, Goulao LF (2014) The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. Postharvest Biology and Technology 87 (0):103-112.

Taiz L, Zeiger E (2002) Plant Physiology. Sinauer Associates, Incorporated.

PRECIPITACIÓN E ÍNDICE DE HUMEDAD ACUMULADOS DE JUNIO A AGOSTO PARA LOS AÑOS DEL 2020 AL 2025, EN ZACATECAS.

Nadiezhda Ramírez-Cabral[1]*, Dulce Selene Leyva-Mendez[1], Israel Casas-Flores[1], Nuria Aide López Hernández[2], Ricardo Sánchez-Gutiérrez[1], José Ángel Cid-Ríos

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Región Norte - Centro. Campo Experimental Zacatecas. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera. *Autora de correspondencia: ramirez.nadiezhda@inifap.gob.mx

Introducción

La agricultura de temporal, es una de las principales actividades económicas en Zacatecas, siendo de importancia para la seguridad alimentaria, como fuente de empleo e ingresos para la población rural. Esta actividad abarca una gran superficie, sin embargo, los rendimientos son bajos, por ejemplo, en el cultivo de frijol, el rendimiento promedio, en Zacatecas, para temporal es de 400 a 700 kg ton^{-1}, comparado con siembras de riego (dependiendo del tipo de variedad) que puede alcanzar las 2 ton ha^{-1}. Los rendimientos en temporal, dependen de varios factores, sin embargo, la precipitación y la temperatura son los que más influencia tienen (Rivas et al., 2021).

En las últimas décadas los patrones climáticos se han venido modificando, provocando desastres naturales y condiciones inestables para varios sectores, entre ellos la agricultura. Por ejemplo, los eventos climáticos extremos, que históricamente, ocurrían cada cierto periodo, hoy son más frecuentes, incluso ocurriendo año con año. Además, las temperaturas medias se han incrementado, y las precipitaciones, por ende, inestables, han incrementado esta inestabilidad con lluvias que caen fuera de las fechas de siembra, lluvias torrenciales que erosionan el suelo y destruyen los cultivos, o sequías que ocurren justo cuando se están desarrollando los cultivos; provocando que la agricultura, principalmente, la de temporal, se haya convertido en una actividad de alto riesgo, afectando, principalmente, a los agricultores de subsistencia (Monterroso et al., 2012).

Es por ello, que es de gran importancia el monitoreo continuo de las condiciones climatológicas, para conocer las variaciones en variables de importancia en la agricultura. En respuesta a esta demanda, el INIFAP ha establecido una Red de Monitoreo Agroclimático a lo largo del país. En el Campo Experimental de Zacatecas (CEZAC), INIFAP, se cuenta con 38 estaciones meteorológicas automáticas que miden la precipitación, la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar global. Estas estaciones están distribuidas en diferentes ambientes del Estado, en la parte norte, centro y sur. Las mediciones se realizan cada 15 minutos y se transmiten al Laboratorio SIG del CEZAC, donde son procesadas y pueden ser consultadas en tiempo real. A las estaciones se les da mantenimiento anual, una o dos veces, donde se revisan y limpian los sensores, de igual manera se deshierba el sitio donde está la estación. La red se mantiene monitoreada, y si ocurre algún error se revisa su origen y se corrige, ya sea dentro del mismo Lab SIG o visitando la(s) estación(es) que contienen datos dudosos (Medina y Casas, 2020).Este trabajo en extenso, tiene como objetivo mostrar las variaciones de la lluvia y el índice de humedad acumulados del 01 de junio al 31 de agosto de los años del 2020 al 2025.

Materiales y Métodos

Los datos de la primera, segunda y tercera decena de lluvia para cada estación fueron obtenidos y se realizó el acumulado de la lluvia para el periodo del 01 de junio al 31 de agosto mediante una suma aritmética para los años en cuestión. Además, se obtuvo la acumulación de la evapotranspiración(ETo) para este mismo periodo y años, para realizar el cálculo del índice de humedad (IH). El índice de humedad se calculó mediante la fórmula:

$$IH=P/ETo$$

Donde P= precipitación y Eto=Evapotranspiración potencial.

La precipitación es obtenida, directamente, de las estaciones meteorológicas, mientras que la ETo es estimada por el programa Addvantage Ver. 6.1. por el método Penman-Monteith. El índice de humedad nos sirve como indicador de la cantidad de agua que se pierde por la ETo y la cantidad de agua que es recuperada por la lluvia (Medina y Ruiz, 2004).

Finalmente, se realizaron mapas en IDRISI por interpolaciones, para poder visualizar, de manera sencilla y práctica, la precipitación e índice de humedad acumulados en el estado de Zacatecas. La simbología de colores en los mapas sigue el principio de un semáforo donde el color rojo representa bajas precipitaciones; el amarillo, lluvias regulares y el verde, lluvias apropiadas. En el cuadro 1, se pueden observar los valores para cada año. En cuanto al índice de humedad, el color rojo es para una humedad deficiente; el anaranjado, ligeramente, deficiente; el amarillo, adecuada; el verde claro, ligeramente excesiva y el verde obscuro, excesiva.

Cuadro 1. Rangos de la precipitación acumulada del 01 de Junio al 31 de Agosto.

Precipitación	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	100-190	100-200	38-150	21-100	20-100	0-100
	190-250	200-300	150-300	100-200	100-200	100-200
	250-300	300-400	300-450	200-300	200-300	200-300
	300-400	400-500	450-618	300-351	300-400	300-400
	400-455	500-630			400-515	400-514

Resultados y discusión

El año con menor precipitación durante el periodo de estudio fue el 2023, con la zona norte del estado, con 24.6 mm en la estación de Sombrerete, y el máximo valor registrado fue de 351 mm en la estación de Jerez; estas bajas precipitaciones se pueden apreciar en el mapa de índice de humedad, donde la mayor parte del estado, con excepción de algunas áreas (principalmente, en el sur) tuvo un índice de humedad deficiente. Este año es el que presenta una acumulación mayor de lluvia, donde el valor mínimo fue para la estación de Chaparrosa (181 mm), ubicada en el municipio de Villa de Cos, y el valor máximo correspondió a la estación de Santo Domingo, en Jalpa con 514 mm, con un promedio de 315 mm de lluvia en las estaciones, con un mapa de lluvia casi en su totalidad de verde obscuro; sin embargo, el mapa de índice de humedad nos muestra que en la mayor parte del estado el IH fue ligeramente deficiente, y sólo en algunos puntos y en la parte sur fue adecuada. Lo que indica que la humedad pudiera no ser suficiente para cubrir las demandas hídricas de los cultivos, una deficiencia en humedad puede originar problemas en el desarrollo del cultivo que se agravan en la etapa de llenado de grano, produciendo un efecto negativo en el desarrollo del cultivo, reduciendo las producciones obtenidas, aunque la precipitación ha sido significativa, las altas temperaturas presentes en el periodo pueden estar ocasionando que la humedad se pierda con mayor facilidad debido a la evaporación (Martínez y Alvarado, 1999).

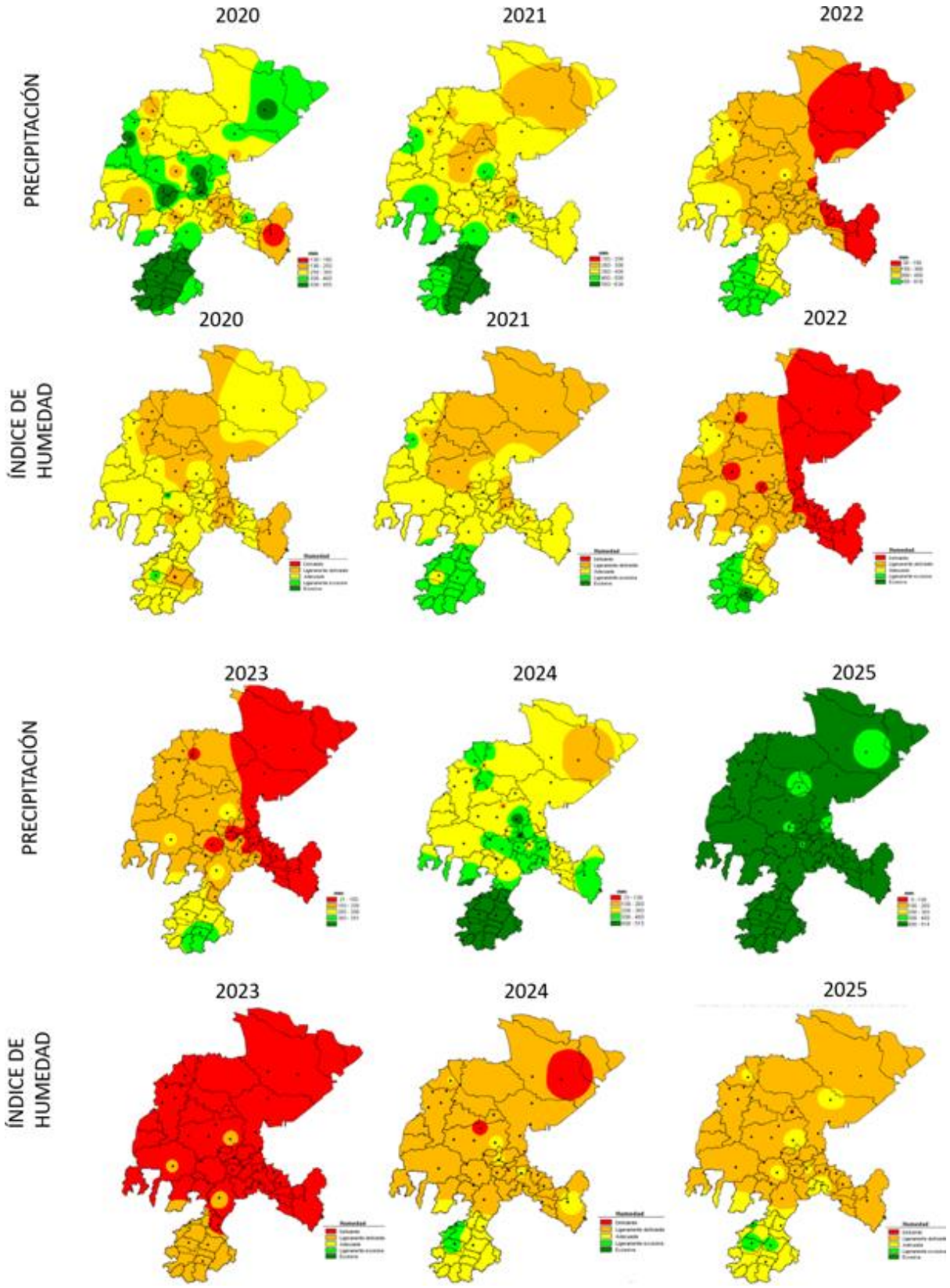


Figura 1. Mapas de precipitación e índice de humedad del 01 de junio al 31 de agosto de los años del 2020 al 2025 del estado de Zacatecas.

El periodo de estudio se tomó en cuenta porque es el periodo donde se establece y siembra el cultivo del frijol en Zacatecas, las lluvias de junio y principios de julio ayudan a que se establezca la humedad para la siembra, la lluvia de agosto y septiembre, son necesarias para el crecimiento y desarrollo del cultivo, y en el mes de octubre, las siembras tardías tendrían la oportunidad de llegar a término. En Zacatecas, generalmente, se realizan siembras de frijol negro con ciclos de 120 días, aunque en últimos años se han incrementado la siembra de frijoles pintos con ciclos más cortos, esto como alternativa de escape a las bajas y erráticas precipitaciones. Sin embargo, aunque estos índices y mapas son de utilidad, para conocer con mayor exactitud las necesidades hídricas del cultivo se necesitaría calcular un índice más específico como el índice de satisfacción de la demanda hídrica, el valor final de este índice nos indicaría si la demanda hídrica del cultivo fue cubierta por la precipitación y en qué medida (Medina et al., 2019).

Conclusión

La precipitación en Zacatecas es variable, se podría decir que la parte norte es la que recibe menor precipitación, seguida por la parte central y en el sur, en el área de los cañones, por lo general se tiene una precipitación mayor. Al comparar la precipitación y los índices de humedad podemos observar que aun cuando la precipitación sea significativa, pudiera no serlo para los cultivos, ya que dependerá de otros factores como la temperatura ambiental, la evapotranspiración y la distribución misma de la lluvia. Finalmente, se necesita realizar un balance hídrico de los cultivos para tener una mayor certeza si la demanda hídrica del cultivo fue cubierta.

Referencias

García, G. M., y Corral, J. A. R. 2004. Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Zacatecas período 1961-2003. INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental.

Martínez, J. D. L., y Alvarado, J. G. 1999. Contenido de humedad del suelo para decidir la siembra en agricultura de zonas áridas. Terra Latinoamericana, 17(1), 51-57.

Medina G. G y Casas F. J. I. 2020. Red de monitoreo agroclimático del estado de Zacatecas. Reporte agrometeorológico. Marzo. Folleto informativo No. 197. Abril de 2020.

Medina G. G., Casas F. J. I., González G. M. A., Corrales S. A. y González J. L. A. 2019. Red de monitoreo agroclimático del estado de Zacatecas. Reporte agrometeorológico. Junio. Folleto informativo No. 188. Junio de 2019.

Monterroso Rivas, A. I., Conde, A. C., Gay, C., Gómez Díaz, J. D., y López García, J. 2012. Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A; 8.

Rivas, E. R., Veyna, Ó. P., y Bernal, L. E. P. 2021. La productividad agrícola en zonas de riego de Zacatecas. Revista Dinámica Administrativa, Negocios, Gobierno y Sociedad, 1, 35-68.

DETERMINACIÓN DE SENSIBILIDAD Y ESPECIFICIDAD ENTRE LOS ENSAYOS iELISA Y PAL EN EL DIAGNÓSTICO DE BRUCELOSIS BOVINA

Aurora Martínez-Romero [1]*, José Luis Ortega-Sanchez[2], Jesús Borrego-Jimenez[1]

[1]Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Gómez Palacio. Universidad Juárez del Estado de Durango. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México. *Autor de correspondencia: aurora.martinez@ujed.mx

Introducción

La brucelosis es una enfermedad infectocontagiosa, aguda o crónica, causada por bacterias del género *Brucella*. Este microorganismo no tiene vida libre, por lo tanto, su hábitat son los animales y el hombre, estos patógenos tienen predilección por las vías y órganos reproductores y el sistema linfoide. La brucelosis es de las zoonosis bacterianas más frecuentes en todo el mundo (Legesse et al. 2018; Torres-Higuera et al. 2018), especialmente en países en desarrollo, causada por la bacteria intracelular del género Brucella (Alkan et al. 2022). La presencia de brucelosis en el ganado bovino es la causa de abortos, mortinatos y baja producción de leche, nacimiento de terneros débiles que pueden morir a días de su nacimiento, induce la presencia de retención placentaria y consecuente a esto puede ocurrir metritis y esto conlleva al incremento de días reproductivos de la vaca y estas causas producen perdida de lactancia. Después del primer aborto las gestaciones generalmente son normales, sin embargo, las vacas pueden eliminar la bacteria en la leche y en las descargas uterinas. La producción caprina en México es una opción importante de manutención para productores rurales de escasos recursos (Alva-Pérez et al. 2019).

Además de constituirse no solo en un problema de sanidad animal sino también en un grave riesgo a la salud humana, al ser una enfermedad zoonótica. La forma principal de contagio es la vía digestiva, esta se produce cuando los animales lamen fetos abortados, terneros recién nacidos y los genitales de otros animales, y si estos están brucelosos se produce una ingestión masiva de bacterias. La familia Brucellaceae, miembro del orden Rhizobiales una clase de Alphaproteobacteria incluye al género *Brucella*, que comprende especies con un alto grado de patogenicidad y constituye el agente etiológico de la brucelosis. Esta enfermedad es una de las zoonosis más difundidas y que incide negativamente en la salud del hombre y los animales, a la vez que ocasiona cuantiosas pérdidas económicas (Román-Cárdenas y Luna-Herrera 2017; de la Puente López et al. 2020).

El género *Brucella* infecta a muchos animales de granja, incluidos bovinos, ovinos, caprinos y cerdos (Lou et al. 2018). Se conoce que las especies de *Brucella* tienen predilección para establecerse en ciertos hospederos, por ejemplo: *B. melitensis* infecta a caprinos, *B. abortus* infecta ganado vacuno, y *B. suis* infecta cerdos. Además de estas tres especies, se identificaron otras más, como: *B. canis* que infecta perros, *B. ovis* que se asocia con la infección a ovinos, y *B. neotomae* que se aisló de una rata del desierto. Éstas conforman las seis especies clásicas que componen al género *Brucella*. Por lo que, estos animales silvestres se consideran como reservorios de la bacteria. Sin embargo, la mayoría de las especies del género *Brucella* también son capaces de infectar a otras especies animales (Kaba et al. 2022). *Brucella* spp consta hoy en día de dos grupos principales. La primera representa la especie denominada "clásica" y consta de las seis inicialmente reconocidas especies junto con las especies más recientes *B. ceti, B. pinnipedialis, B. microti* y *B. papionis*.

La subdivisión adicional en genotipos MLSA o MLVA demostró ser útil para la subtipificación de algunas especies. El primer grupo se ha caracterizado e investigado en detalle debido a su importancia para causar enfermedades en animales y humanos. El segundo grupo principal está representado por linajes filogenéticamente más distantes de las especies clásicas y todavía mal caracterizados (Cloeckaert et al., 2020).

Estos subgrupos representan varias especies nuevas potenciales, con *B. inopinata*, aislado de un caso humano, infección provocada por implante mamario, como único representante designado. Al ser genéticamente más distintos entre sí, en relación con las especies clásicas de *Brucella*, presentan fenotipos atípicos distintos y antígenos de superficie (Cloeckaert et al. ,2020). La transmisión de la brucelosis puede ser horizontal (vía fetos abortados, sacrificio de animales infectados, ingestión de leche o carne contaminada y en el aire) o vertical, es decir, de madre a recién nacido (en el útero, o durante el paso del recién nacido por vía pélvica). La brucelosis es la zoonosis bacteriana más frecuente en el mundo. El número de nuevos casos se estima en más de medio millón cada uno año.

La contaminación humana puede ocurrir tanto por vía cutáneo-mucosa (infección a través de heridas en las manos, en la mucosa oral o nasal, a través de manos contaminadas) o a través de los alimentos como carne, leche y derivados y vegetales (Kaba et al. ,2022). La brucelosis sigue siendo un problema importante de salud pública humana, especialmente en comunidades rurales en muchos países (Koyuncu et al. 2018). Los sistemas ELISAs para *Brucella*, detectan inmunoglobulinas específicas con alta sensibilidad y especificidad, en estrecha relación con la naturaleza del antígeno empleado. El método ELISA indirecto (iELISA) utiliza desde células completas hasta LPS semipurificados o extractos de polisacáridos, LPS y proteínas de *Brucella* spp, así como fragmentos antigénicos de los S-LPS, además de utilizarse un conjugado monoclonal de IgG anti-bovino que posee alta especificidad diagnóstica. La prueba anillo en leche (PAL) se fundamenta en detectar anticuerpos (Ac's) IgG e IgM atados a los glóbulos de grasa en la leche. Detecta Ac's aglutinantes anti-*Brucella* frente a la fracción O de la cadena de LPS de la membrana externa del agente etiológico. Se emplea un Ag preparado a partir de cultivos puros de *Brucella abortus* S99 o S1119-3 a una concentración celular del 4% coloreada con hematoxilina pH 3,3-3,7, según la NOM-041-ZOO-1995.

La brucelosis bovina es causante de grandes pérdidas económicas debido principalmente a abortos en el último tercio de la gestación, disminución en la producción de leche, desecho anticipado del hato, nacimiento de becerras débiles y nacimiento de becerras aparentemente normales, pero positivas a *B. abortus*. En México se encuentra difundida en todos los Estados, únicamente la parte Norte del Estado de Sonora se encuentra libre de la enfermedad. Las pérdidas económicas que ocasiona en las explotaciones pecuarias son cuantiosas, esto es debido a que afecta la capacidad reproductiva de los animales tanto machos como hembras, para algunos productores y médicos veterinarios, el aborto es el daño más importante, sin embargo, para otros la infertilidad y esterilidad son los más sobresalientes. Uno de los problemas principales para los ranchos ganaderos de la región es el control de dicha enfermedad bacteriana, así como generar las correctas técnicas de análisis a nivel laboratorio para poder tener un diagnóstico confiable y de esta manera generar un diagnóstico y tratamiento oportuno para el ganado. El objetivo de este estudio fue determinar la sensibilidad y especificidad entre los ensayos iELISA y PAL en la evaluación del desempeño diagnóstico de brucelosis bovina

Materiales y métodos

Investigación transversal, analítica, comparativa y observacional. El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Químicas (FCQ), Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), y en los laboratorios del Centro de Investigación y Diagnóstico en Salud Animal (CIDSA) del Comité de Campaña de la Erradicación de la Tuberculosis Bovina y Brucelosis de la Región Lagunera de Coahuila y Durango AC, durante el periodo de agosto del 2022 a julio del 2024. Los aspectos ético-legales referentes a la protección animal se consideran según la NOM-041-ZOO-1995, Campaña Nacional contra la Brucelosis en los Animales, tiene por objeto establecer procedimientos, actividades, criterios, estrategias y técnicas para el control y eventual erradicación de la brucelosis en las especies susceptibles en todo el territorio nacional, bajo la responsabilidad de operar los programas estatales de la campaña, debe compartirse entre el gobierno federal, los gobiernos estatales, los productores, propietarios, comerciantes, transportistas de ganado y otros que determine la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGARPA). La duración de la campaña será hasta declarar oficialmente libre de brucelosis a todo el país. Se seleccionó por casuística a una población de 276 bovinos hembra adultos lecheros de raza Holstein-Friesian de 38 a 48 meses de edad que hubiesen sido inmunizados contra brucelosis sólo por la vacuna RB51 cuya aplicación se haya efectuado en un lapso ≥12 meses. La presencia de *B. abortus* se determinó por la concentración de antígeno O e Ig's identificadas con las técnicas inmunológicas iELISA y PAL. El LPS de *B. abortus*. está estructuralmente compuesto por tres dominios: lípido A, oligosacárido nuclear o "core", y polisacárido-O (PSO), conocido también como cadena-O u Ag-O. En la técnica PAL todos los isotipos de Ac's en la leche (IgA, IgM, IgG1 e IgG2) pueden tomar parte en el anillo en leche positivo, pero la presencia de IgA en aquellas reacciones positivas, con o sin otro isotipo, indica que éste es el principal isótopo involucrado en la reacción junto a IgM (Sutra et al. 1986; Blasco & Díaz 1994). Se realizó el análisis estadístico utilizando sus resultados VP, VN, FP y FN a través de la prueba de X2 (Chi-cuadrada o Ji-cuadrada) de asociación, para un 95% de confianza en el software Minitab® versión 17.

Resultados y discusión

La selección de animales inmunizados contra brucelosis sólo por la vacuna RB51 en la presente investigación, coincide con Pazos-Salazar y colaboradores (2015) donde aclaran que existen diferentes cepas vacunales para prevenir la brucelosis bovina, *B. abortus* RB51 es una cepa rugosa que carece de la cadena-O en su LPS, por lo que no induce anticuerpos detectables en las pruebas de diagnóstico y esto ayuda a diferenciar entre animales vacunados e infectados. *B. abortus* S19 es una cepa lisa vacunal atenuada debido a la presencia de la cadena-O en su LPS, que induce Ac's detectables en los ensayos serológicos; éste es el mayor problema asociado a la vacunación con la cepa S19 y existe también un riesgo de aborto de 2-3%. Por lo tanto, los bovinos vacunados con cepas rugosas (RB51), aunque no producen Ac's contra la cadena O del LPS de cepas lisas, sí producen Ac's que reaccionan contra proteínas de estas cepas virulentas.

En este estudio se utilizaron dos métodos de diagnóstico serológico para establecer la existencia de infección por especies del género *Brucella*. Estos métodos fueron las pruebas PAL y iELISA. Los resultados de nuestras pruebas diagnósticas revelaron concordancia entre la positividad de las dos pruebas serológicas. Con la técnica PAL de un total de 276 muestras se obtuvo una frecuencia de 259 negativos y 17 muestras positivas y los de la prueba iELISA se tuvieron 77 negativos y 15 positivos y 4 control de la placa 1 con un total de 96 muestras. La brucelosis puede ser diagnosticada en muestras de leche y en suero de leche con la prueba PAL, cuyo diagnóstico de confirma con el Ensayo iELISA, análisis que ha sido estandarizado para muestras de leche confirmando la enfermedad clínica (Moreira-Zúñiga 2017; Nawaz et al. 2021).

En una muestra de 1 a 100 bovinos se obtuvo una sensibilidad relativa de 73,7% para el método PAL y de 77,8% para el método iELISA, la especificidad relativa para PAL fue de 94,8% y para iELISA de 93,7%. En una muestra de 101 a 200 bovinos se obtuvo una sensibilidad relativa de 90,9% para el método PAL y de 100% para iELISA, la especificidad relativa para PAL fue de 100% y para iELISA de 95%. En una muestra mayor a 201 bovinos se obtuvo una sensibilidad relativa de 100% para el método PAL y de 60% para iELISA, la especificidad relativa para PAL fue de 91.3% y para iELISA de 100%. La sensibilidad y especificidad entre las técnicas realizadas i-ELISA y PAL se debe al hecho de que iELISA detecta todos los isótopos de inmunoglobulina IgG mientras que, PAL se utiliza como evidencia presuntiva de la presencia de anticuerpos de la clase IgG

En este experimento se tiene una sensibilidad con mayor porcentaje de detección 93.93% a *B. abortus* en las muestras analizadas por medio de iELISA que con las muestras analizadas con PAL 80.95%. Por lo que, se puede deducir que la prueba iELISA presento más frecuencias positivas, lo que permite afirmar que iELISA es una prueba más sensible que la Prueba PAL. Al respecto, Getachew y colaboradores (2016), determinaron la sensibilidad y especificidad de iELISA resultando de 96,8 y 96,3%, respectivamente, Datos que estuvieron en concordancia con los resultados de sensibilidad del presente proyecto. Para analizar las características operativas de las pruebas diagnósticas es importante descomponer los constituyentes de la tabla 2*2; también denominada Matriz de Decisiones. Según Sierra-Arango (2003) esta matriz está constituida por dos elementos: 1) El estado “real” de la condición presentada en forma de un desenlace dicótomo; tener o no tener la enfermedad y, 2) Un resultado de la prueba de laboratorio también dicotómica, positiva o negativa. Las diferencias porcentuales revelaron una prevalencia y sensibilidad mayor en el ensayo de iELISA y en su defecto tenemos una especificidad más alta en la PAL.

Conclusiones

El índice de frecuencias es utilizado determinar una comparativa entre ambos ensayos y determinar costo beneficio, entre PAL y iELISA. Demostró que el ensayo de PAL es más específico 80.85% que el ensayo iELISA 76.13% y adicionalmente el ensayo iELISA es más sensible 93.93% que PAL 80.95% para diagnosticar brucelosis bovina en tanque de leche y de manera individual. Se deduce que el ensayo iELISA presento más frecuencias positivas, por lo que es un ensayo más sensible que el ensayo PAL. Sin embargo, el ensayo PAL es más rápido de realizar y es menos costoso que iELISA. El PAL puede ser utilizado principalmente en la industria de cárnicos y lácteos para la liberación contra reloj de corrales de producción. En estos ensayos se pudo determinar que PAL tuvo un índice de frecuencias menor al ensayo de iELISA. Por lo que se sugiere hacer siempre una confirmación de los dos ensayos en el análisis y determinación de presencia o ausencia de *B. abortus*. Ya que no existe una correlación directa entre ambos ensayos en esta investigación.

Referencias

Alkan, S., Kübra Dindar Demiray, E., Tarhan, N., & Önder, T. (2022). A case of *Brucella* pyelonephritis: a rare case. *Iberoam J Med*, 4(2):113-117.

Alva-Pérez, J., López-Corona, L. E., Zapata-Campos, C. C., Vázquez-Villanueva, J., & Barrios-García, H. B. (2019). Condiciones productivas y zoosanitarias de la producción caprina en el Altiplano de Tamaulipas, México. *Interciencia*, 44(3):154-160.

Cloeckaert, A., Vergnaud, G., & Zygmunt, M. S. (2020). Omp2b Porin Alteration in the Course of Evolution of *Brucella* spp. *Front Microbiol*, 11(284):1-9.

de la Puente-López, V., Cutiño-Jimenez, A. M., López-González, T. (2020). Marcadores moleculares para la taxonomía e identificación del género *Brucella* (Alphaproteobacteria). *Rev Cuba de Invest Biomed*, 39(1):1-14.

Getachew, T., Getachew, G., Sintayehu, G., Getenet, M., & Fasil, A. (2016). Bayesian Estimation of Sensitivity and Specificity of Rose Bengal, Complement Fixation, and Indirect ELISA Tests for the Diagnosis of Bovine Brucellosis in Ethiopia. *Vet Med Int*, 3:1-5.

Kaba, S., Acapovi-Yao, G., Dagnogo, K., Kallo, V., Sevidzem, S. L., & Bakou, S. (2022). Bovine Brucellosis Seroprevalence and Potential Transmission Risk to Workers at the Port-Bouët Abattoir, Abidjan, Côte d'Ivoire. 76-84.

Koyuncu, I., A. Kocyigit, A. Ozer, S. Selek, A. Kirmit and H. Karsen (2018). Diagnostic potential of *Brucella melitensis* Rev1 native Omp28 precursor in human brucellosis. Central European Journal of Immunology, 43(1): 81-89.

Legesse, M., Medhin, G., Bayissa M., & Mamo G. (2018). Knowledge and perception of pastoral community members about brucellosis as a cause of abortion in animals and its zoonotic importance in Amibara district, Afar Region, Ethiopia. Plos One, 13(11):e0206457.

Lou, L., W. Bao, X. Liu, H. Song, Y. Wang, K. Zhang, W. Gao, H. Li, Z. Tu and S. Wang (2018). An Autoimmune Disease-Associated Risk Variant in the TNFAIP3 Gene Plays a Protective Role in Brucellosis That Is Mediated by the NF-kappaB Signaling Pathway. J Clin Microbiol, 56(4):e01363-17

Moreira-Zúñiga, R. B. (2017). Concordancia entre la prueba del anillo en leche y ELISA indirecto en el diagnóstico de brucelosis bovina. Rev Med Vet, 33: 93-101.

Nawaz, M., Khan, I., Shakeell, M., Yousaf, A., Naseer, Z., Munibullah. Zohaib, A., Hussain, R., & Ullah, Q. (2021). Bovine and Caprine Brucellosis Detected by Milk.

NOM. 1995. NORMA Oficial Mexicana NOM-041-ZOO-1995, Campaña Nacional contra la Brucelosis en los Animales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106184/NOM-041-ZOO-1995.pdf

Pazos-Salazar, N. G., Benitez-Serrano, J. C., Calderon-Chamorro, J. L., Hernandez-Castro, R., Diaz-Aparicio, E., & Aguilar-Setien, J. A. (2015). Stability of the *B. abortus* S19 vaccine strain with a eukaryotic expression plasmid encoding the G glycoprotein from the rabies virus. Vet Mex. 2(2):1-13.

Roman-Cardenas, F., & Luna-Herrera, J. (2017). Revisión actualizada de la epidemiología de Brucelosis (*Brucella abortus, Brucella mellitensis, Brucella suis, Brucella canis*) en el Ecuador y el mundo. Centro de Biotecnologia, 6:82-93.

VALORACIÓN DE LA POTENCIA ANTIMICROBIANA DE LA OXITETRACICLINA EN UN PRODUCTO FARMACÉUTICO VETERINARIO INYECTABLE

Marmolejo-Ruiz, Giovanna S.[1], Alba-Romero, José J.[1], Ocampo-López, Jazmín S.[2], Rico-del-Rio, Adriana E.[2], Lozano-Moran, Martin[2], Castro-Hernández, Sandra I.[1], Martínez-Romero, Aurora[1], Téllez -López, Miguel Á.[1], Hernández-González, Sandra I.*[1]

[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Articulo123 s/n, Fracc. Filadelfia. C.P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México. [2]Comercializadora Pecuaria de México S.A. de C.V. C. Indé No. 824, Parque Industrial Carlos A. Herrera Araluce, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango, México. *E-mail: sandra.hernandez@ujed.mx

Introducción

La industria farmacéutica, tanto en el ámbito humano como veterinario, constituye un pilar fundamental en la prevención y tratamiento de enfermedades infecciosas. En el caso particular de la industria farmacéutica veterinaria, el principal reto se centra en la salud y bienestar animal, beneficiando la producción agropecuaria y la seguridad alimentaria así mismo su relación con el medio ambiente, (Mas, J. L., 2024).

La calidad de los productos farmacéuticos debe ser garantizada mediante procesos sistemáticos de evaluación que aseguren tanto su eficacia como su inocuidad. El objetivo de esta investigación fue determinar la potencia antimicrobiana de un producto farmacéutico veterinario inyectable a base de Oxitetraciclina. Este antibiótico, empleado en medicina veterinaria, pertenece al grupo de las tetraciclinas que, una vez dentro de la célula bacteriana, se une de manera reversible a la subunidad 30S del ribosoma, inhibiendo así la síntesis de proteínas (Soto Yange, 2022).

La evaluación de la potencia antimicrobiana se realizó por el método Turbidimétrico, el cual consiste en la siembra de un microorganismo en un recipiente con caldo de cultivo, al que se le añade una alícuota de antibiótico en solución. Tras la incubación del microorganismo, se realiza un análisis espectrofotométrico comparando el grado de turbidez del caldo de cultivo, el cual es inversamente proporcional a la potencia antimicrobiana, (USP, 2022).

Materiales y métodos

Se analizó la capacidad antimicrobiana de un producto farmacéutico inyectable con Oxitetraciclina como principio activo. La metodología utilizada para el método Turbidimétrico tiene como referencia el MGA 0100, Valoración Microbiológica de Antibióticos de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13a edición, (2021).

La investigación se llevó a cabo en colaboración con la industria privada en el Laboratorio de Control de Calidad en el área de Microbiología de la Comercializadora Pecuaria de México S.A de C.V. y el Laboratorio B de Investigación del departamento de Bacteriología Médica Diagnóstica y Salud Pública de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Químicas unidad Gómez Palacio, Durango.

Resultados y Discusión

Potencia antimicrobiana. En el cuadro 1, se muestran los datos obtenidos de la valoración de la Oxitetraciclina, se realizaron los cálculos iniciales y la verificación de la aptitud de la variabilidad. Para cada concentración, incluida la muestra, se promediaron tres valores de transmitancia, para evaluar el criterio de aptitud de la variabilidad, se determinó la desviación estándar, el límite sugerido es no mayor al 10%, de tal manera se considera aceptable. Este procedimiento se describe en el MGA 0100, Valoración Microbiológica de Antibióticos de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13a edición, pág. 284-288, (2021). Como resultado se obtiene la curva dosis-respuesta.

Cuadro 1. Valoración del método Turbidimétrico. Datos de la muestra Oxitetraciclina.

Solución de referencia	Concentración (µg/mL)	Transmitancia			Promedio (% T)	Σ
a	0.1536	33.843	32.816	33.758	33.472	0.570
b	0.192	44.927	47.597	44.805	45.776	1.578
c	0.24	50.866	51.249	51.894	51.336	0.520
d	0.3	66.321	64.921	64.537	65.260	0.939
e	0.375	67.055	70.489	70.989	69.511	2.142
m	Desconocida	52.459	51.149	51.133	51.580	0.761
					52.823	1.351

Donde σ es desviación estándar, c es la concentración central, a, b, d, e las concentraciones de SRef de Oxitetraciclina y m es la muestra.

En el cuadro 2 se presentan los valores promedio de transmitancia obtenidos para cada concentración de la solución de referencia (SRef). A partir de estos datos, se construyó la curva tipo, graficando la transmitancia promedio en función del logaritmo de las concentraciones. La regresión lineal no ponderada fue realizada mediante un software estadístico especializado, lo cual permitió obtener la ecuación de la línea que define la curva tipo.

Cuadro 2. Valores para obtener la curva dosis-respuesta

Solución de referencia	Valores promedio de % transmitancia (%T)	Concentración (µg/mL)
a	33.472	0.1536
b	45.776	0.192
c	51.336	0.24
d	65.260	0.3
e	69.511	0.375

Como recomendación de la FEUM, (2021), se puede utilizar el logaritmo natural o el logaritmo en base 10 para verificar la curva tipo y determinar la ecuación de regresión, ambos proporcionan el mismo resultado de prueba final. El coeficiente porcentual de determinación (%R^2) obtenido es aceptable únicamente si el valor excede el límite sugerido el cual es no menos de 90%. Por lo tanto, la regresión se considera válida para su uso en el análisis de la actividad antimicrobiana de la muestra.

En la figura 1, se muestra la línea de la curva dosis-respuesta de la SRef, datos necesarios para la obtención de la potencia antimicrobiana del producto farmacéutico veterinario inyectable a base de Oxitetraciclina.

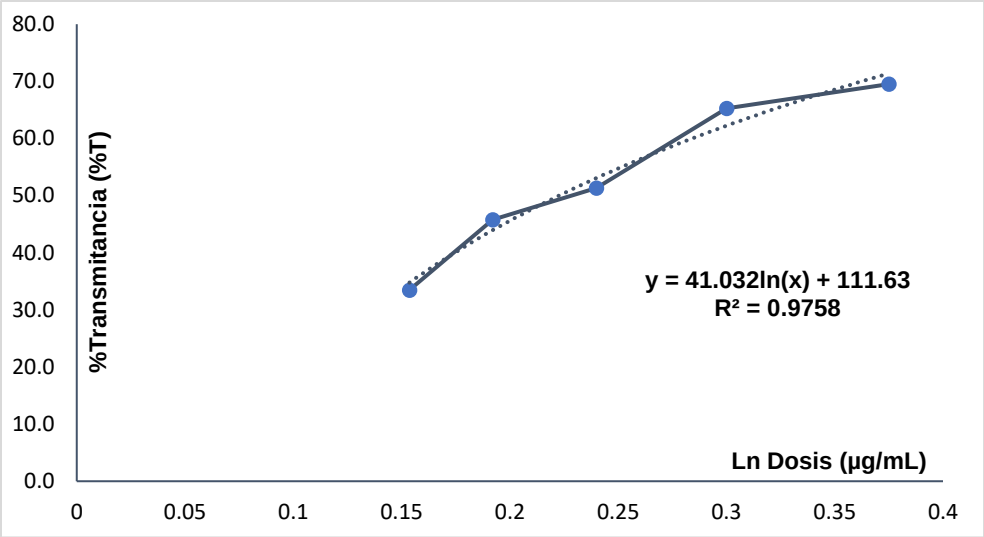


Figura 1. Gráfica de línea de la curva dosis-respuesta, valoración turbidimétrica de la Oxitetraciclina.

El límite sugerido según la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13ª edición, 2021, para el coeficiente porcentual de la muestra (R^2) es no menos del 90%.

En el cuadro 3 se presenta la determinación de la potencia antimicrobiana del producto farmacéutico inyectable veterinario a base de Oxitetraciclina. De acuerdo con la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (FEUM), 13a edición (2021), el criterio de aceptación se establece en un rango de 80 a 125 %. Asimismo, se considera aceptable si el coeficiente porcentual de la muestra excede el límite sugerido del 90%.

En este estudio, la potencia antimicrobiana obtenida para el producto farmacéutico inyectable veterinario con Oxitetraciclina fue de 109.91%, el cual es aceptable. Este resultado confirma que el fármaco inhibe el crecimiento del microorganismo de prueba, *Staphylococcus aureus* (ATCC 29373).

Cuadro 3. Determinación de la potencia antimicrobiana de la muestra

Concentración de la muestra	0.094492819
1.0991	
Potencia antimicrobiana de la muestra	
109.91	

* Para obtener el valor aproximado de la muestra se utilizó el inverso de la base del logaritmo natural, para poder determinar posterior el porcentaje de la muestra.

En investigaciones de las industrias farmacéuticas dirigidas a la medicina veterinaria se han realizado diversos estudios para garantizar la actividad del producto y además de las metodologías empleadas. En el estudio de da Trindade, M. T. y cols., (2021), sobre el método Turbidimétrico como una opción de evaluación de la potencia de antibióticos, analizaron la potencia antimicrobiana de la ceftriaxona sódica en polvo inyectable, utilizaron el criterio de aceptación en un rango de 90 a 115 % de acuerdo a la United States Pharmacopeia 43th ed. (2020). La potencia antimicrobiana del antibiótico obtenida fue de 98.94%, inhibiendo el crecimiento del microorganismo *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538).

En otro estudio realizado por Oliveira, A. S. y cols., (2023), también utilizaron el criterio de aceptación en un rango de 90 a 115% de acuerdo a la United States Pharmacopeia 43th ed. (2020), obteniendo una potencia antimicrobiana para el antibiótico Marbofloxacino en cuatro repeticiones de 98.97%, 96.60%, 95.37%, 96.98%, este antimicrobiano es de uso veterinario.

En el estudio de Galecio, J. S. y cols., (2022), determinaron por el método Turbidimétrico la potencia antimicrobiana de la Oxitetraciclina obteniendo 90%, inhibiendo el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, el antibiótico es utilizado en medicina veterinaria para tratar la mastitis en animales lecheros.

Conclusión

El método microbiológico Turbidimétrico para la valoración de potencia antimicrobiana de Oxitetraciclina, cumple con los parámetros de valoración recomendados por la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13a edición, (2021).

Referencias

da Trindade, M. T., Kogawa, A. C., & Salgado, H. R. N. (2021). Turbidimetric Method: A Multi-Advantageous Option for Assessing the Potency of Ceftriaxone Sodium in Powder for Injection. Journal of AOAC International, 104(1), 204–210. https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsaa085

de Oliveira, A. S., de Oliveira, N. R. L., de Oliveira Neto, J. R., Tavares, L. L., & Kogawa, A. C. (2023). Green Method for Evaluation of Marbofloxacin Tablets by HPLC and Evaluation of Interchangeability With UV and Turbidimetric Methods. Journal of AOAC International, 106(6), 1432–1437. https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsad102

Galecio, J. S., Escudero, E., Corrales, J. C., García-Romero, E., de la Fe, C., Hernandis, V., & Marin, P. (2022). Susceptibility of caprine mastitis pathogens to tildipirosin, gamithromycin, oxytetracycline, and danofloxacin: effect of serum on the in vitro potency of current macrolides. World journal of microbiology & biotechnology, 38(12), 221. https://doi.org/10.1007/s11274-022-03407-0

Mas, J. L. (2024). La industria farmacéutica y sus avances tecnológicos. Revista Anual de l'Acadèmia de Ciències Veterinaries de Catalunya, (1), 16-22.

MGA 0100, Valoración Microbiológica de Antibióticos de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 13a edición, (2021).

Soto Yange, J. M. (2022). Presencia de oxitetraciclina en carne bovina en la región litoral del Ecuador.

United States Pharmacopeia, (2022), “Antibiotics-Microbial Assays”, 43 NF 38., p.p. 1.21.

United States Pharmacopeia. 43th ed., (2020). The United States Pharmacopeia.

EFECTO DE LA COMPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA CON ENSILADO DE VAINA DE MEZQUITE EN LA PRODUCCIÓN DE CABRAS EN PASTOREO

Juan I. Sánchez Duarte[1*], Jorge A. Maldonado Jaquez[1], Omar Iván Santana[2], Esmeralda Ochoa Martínez[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, C.P. 27440. [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. C.P. 20660. *correo-e: sanchez.juan@inifap.gob.mx

Introducción

El mezquite (*Prosopis* spp.) es una especie endémica de las regiones áridas y semiáridas del mundo, en la Comarca Lagunera se ha adaptado a condiciones de baja precipitación y temperaturas extremas. Uno de los principales usos del mezquite es la utilización de sus vainas para la alimentación del ganado caprino en pastoreo (Armijo-Nájera et al., 2019). Sin embargo, el consumo directo y excesivo puede provocar problemas de timpanismo, neurológicos y mandibulares, derivados de laterognatismo o mandíbulas torcidas, por exceso de masticación de las vainas de mezquite completas (Cook et al., 2008; Tabasa, 2000). Además, otro problema es el corto periodo de en el que la vaina está disponible para ser consumida, debido a la producción estacional y la susceptibilidad al deterioro por escarabajos.

En este sentido, el tratamiento de las vainas a través del ensilaje, puede ser una alternativa para solucionar los problemas de consumo por los animales, así como la conservación y disponibilidad de esta por largos periodos. Una vez ensilada, puede ser utilizada como complemento alimenticio estratégico en la producción de leche del ganado caprino. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la complementación alimenticia con ensilado de vaina de mezquite sobre el peso vivo, condición corporal y producción de leche en cabras pastoreo en la época seca.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en 2024 en el ejido Ignacio Zaragoza, Viesca, Coahuila. El ensilado se elaboró en el mes de septiembre. La vaina se trituró con un molino de martillos a un tamaño de partícula aproximado de 4-5 mm. La vaina molida se mezcló con un trompo mezclador de concreto, agregando un 30% de agua en base a peso de la vaina triturada hasta obtener una mezcla homogénea. La mezcla se agregó a un tanque de plástico con capacidad de 200 L en capas de 30 cm, mismas que se compactaron con un pisón de madera hasta llenar por completo el tanque de plástico. Finalmente, se colocó una cubierta de plástico para evitar la entrada de aire en la parte superior del tanque y se selló herméticamente con la tapa.

El ensilado se dejó fermentar por 30 días antes de iniciar la prueba en animales. Una vez completado el periodo de fermentación, el ensilado se ofreció como complemento alimenticio para cabras gestantes en pastoreo durante 30 días antes del parto y durante la lactancia temprana (63 días postparto). Se utilizaron 18 cabras locales homogéneas en peso vivo y edad gestacional, que se distribuyeron en tres tratamientos bajo un diseño de bloques completamente al azar. Los tratamientos fueron: 1) Cabras en pastoreo + mezquite (n=6) que recibieron 300 g de ensilado de vaina de mezquite, 2) Cabras en pastoreo + alimento integral (n=6), mismo que recibió como complemento 470 g de una dieta completamente mezclada, y 3) Cabras en pastoreo (n=6) que no recibieron ningún tipo de complemento.

Todos los grupos estuvieron en pastoreo de vegetación nativa del semidesierto desde octubre a diciembre. La complementación se realizó por la tarde a la 20:00 h para evitar un efecto de sustitución del forraje en el agostadero. La complementación se realizó por 98 días después del parto.

Se midió el peso vivo y condición corporal de las cabras 15 y 7 días antes y 7 y 15 días después del parto utilizando una báscula digital Rhino® con capacidad de 300 kg ± 100 g. La condición corporal se midió en escala de 1 a 4, donde 1 representa un animal emaciado (excesivamente delgado) y 4 un animal obeso. Las mediciones de peso y condición corporal se realizaron en ayunas en horario de 8:00 h y se realizó siempre por el mismo evaluador, para evitar sesgos de medición. La producción de leche se midió de manera semanal en horario de 5:00 a 6:00 h, por medio de ordeño manual y se registró en kg utilizando una báscula digital Rhino® con capacidad de 10 kg ± 5g.

La información se analizó mediante análisis de varianza de una vía utilizando el PROC MIXED de SAS versión 9.3. El modelo incluyó como efectos fijos el tratamiento, la semana y la interacción tratamiento × semana. El bloque se utilizó como un efecto aleatorio. Se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias de los tratamientos ($p< 0.05$).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se incluyen los parámetros de fermentación, así como la composición nutrimental del ensilado de vaina de mezquite y del alimento integral. La fermentación indica un ensilado con un pH ácido y con reducidas pérdidas en forma de N-amoniacal. Además, la presencia de ácido acético es muy reducida y sin concentraciones de ácido butírico, los cuales podrían afectar el consumo del ensilado por los animales (Kung & Shaver, 2001). La composición nutrimental del ensilado indica un contenido de 68% de materia seca (MS) y con un contenido de 14.7% de proteína cruda (PC). El valor nutritivo del alimento integral indica una proteína similar al ensilado de mezquite, pero con menos fibra y mayor contenido de almidón.

Cuadro 1. Composición nutrimental del ensilado de vaina de mezquite y el alimento integral

Concepto	Ensilado de vaina de mezquite	Alimento integral
pH	5.0	-
N-amoniacal (% PC)	2.8	-
Ácido láctico	0.5	-
Ácido acético	0.1	-
Ácido propiónico	0.0	-
Ácido butírico	0.0	-
MS (% ensilado)	68.0	89.3
PC	14.7	14.0
aFDN	43.5	39.6
ADF	31.7	26.4
Almidón	7.3	13.7
TND	65.2	-
EN_L (Mcal/kg MS)	1.4	1.4
EN_G (Mcal/kg MS)	1.0	1.0
EN_M (Mcal/kg MS)	1.6	1.6
Ca	0.7	-
P	0.2	-

N=nitrógeno, MS=materia seca, PC=proteína cruda, aFDN=fibra detergente neutro corregida por almidón, FDA=fibra detergente ácida, TND=total de nutrientes digestibles, EN_L=energía neta para lactancia, EN_G=energía neta para ganancia, EN_M=energía neta metabolizable.

Los resultados del análisis de varianza, indican el efecto de los tratamientos, la semana y la interacción tratamiento × semana sobre el peso vivo y la condición corporal 15 y 7 días antes y después del parto y la producción de leche durante 63 días después del parto, se muestran en el Cuadro 2. No hubo interacción tratamiento × semana para ninguna de las variedades evaluadas (P>0.05). Sin embargo, la semana afectó significativamente el peso vivo, la condición corporal y la producción de leche (P<0.05). El análisis también indico que los tratamientos modificaron significativamente la producción de leche (P=0.0013).

Cuadro 2. Efectos de la complementación alimenticia con ensilado de vaina de mezquite durante 15 y 7 días antes y después del parto y la producción de leche durante 63 días post parto en pastoreo.

Efecto	Condición corporal	Peso vivo	Producción de leche
Tratamiento (T)	0.4109	0.2996	0.0013
Semana (S)	<.0001	<.0001	0.019
T × S	0.1126	0.9949	0.7868

En la Figura 1 se puede observar el efecto de la semana y los tratamientos en la condición corporal de las cabras. La condición corporal de las cabras fue similar entre los tratamientos evaluados (P=0.41), y donde todas las cabras presentaron una mayor condición corporal una semana antes del parto, con tendencia a la baja dos semanas después del parto (P<0.0001). De manera similar, el peso vivo de las cabras fue superior 7 días antes del parto (P<0.0001); sin diferencias 7 días antes del parto y 7 y 15 días después del parto (Figura 2). Los tratamientos no afectaron el peso vivo de los animales (P=0.29). Luna-Orozco et al. (2015) encontraron incrementos de peso y mejoras de la condición corporal en cabras alimentadas con 18% de proteína en lactación tardía. Sin embargo, cuando no se ha encontrado efectos de la suplementación, el aumento del peso vivo y mejoras en la condición corporal se le atribuye al aumento de peso de los fetos (Marques et al., 2016).

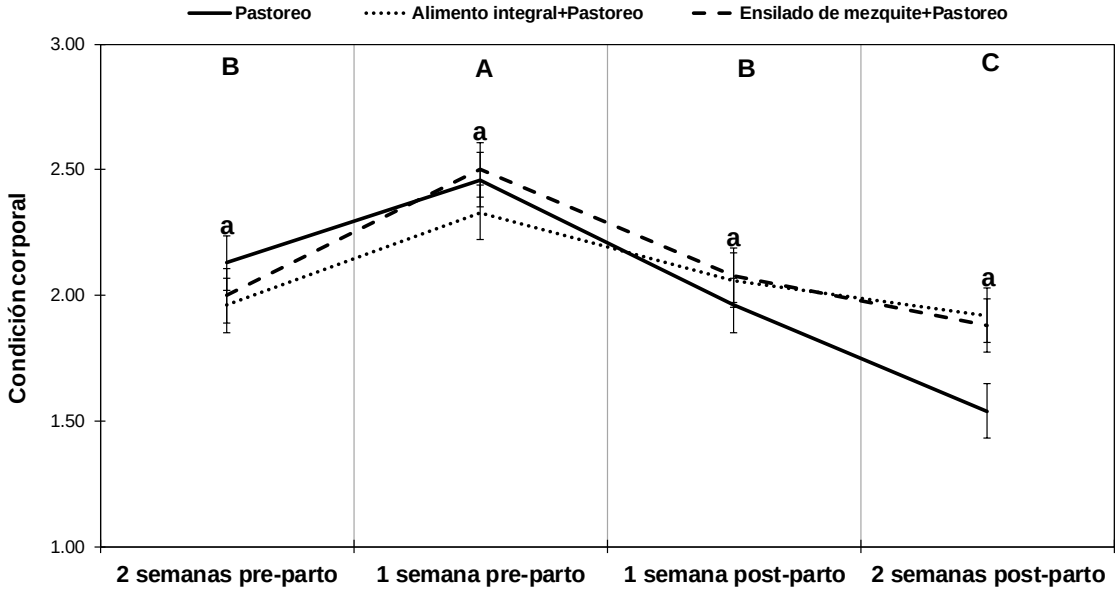


Figura 1. Condición corporal de cabras en pastoreo complementadas con ensilado de vaina de mezquite 15 y 7 días antes y después del parto. Literales mayúsculas indican comparación entre semanas y literales minúsculas indican comparación entre tratamientos. Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05).

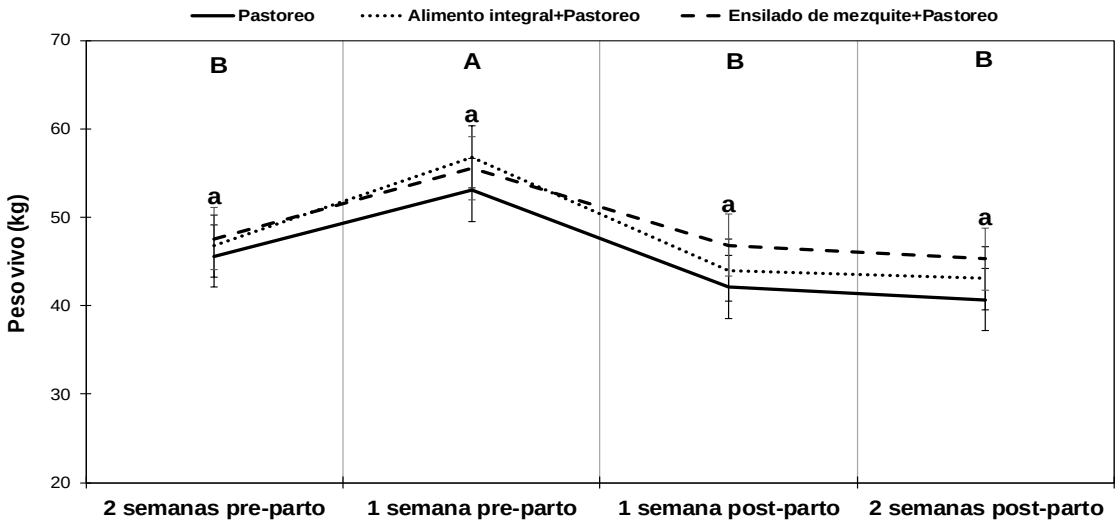


Figura 2. Peso vivo de cabras en pastoreo complementadas con ensilado de vaina de mezquite 15 y 7 días antes y después del parto. Literales mayúsculas indican comparación entre semanas y literales minúsculas indican comparación entre tratamientos. Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05).

La semana afectó significativamente la producción de leche de las cabras (Figura 3). La mayor producción de leche se observó en las semanas dos y cinco después del parto y la menor producción a partir de la semana siete (P=0.019). Curiosamente, en la semana tres y cuatro también se tuvo una menor producción de leche en los animales. Los resultados de mayor producción de leche en la semana dos después del parto coinciden con la perdida de condición corporal y peso vivo en los animales a partir de la semana dos después del parto. Esto indica, que a pesar de la complementación los animales se encuentran en un balance energético negativo (Ghosh et al., 2019).

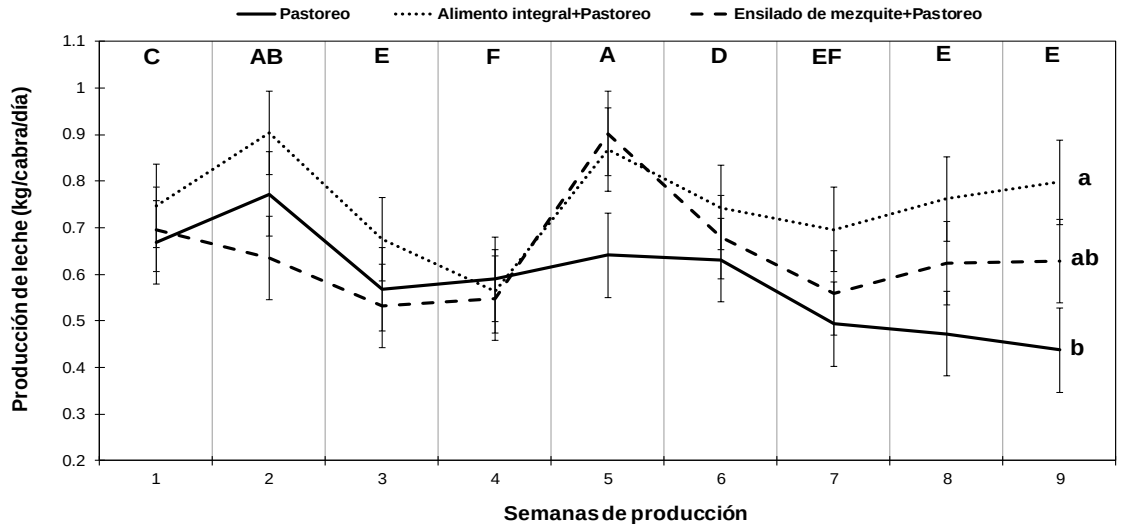


Figura 3. Producción de leche de cabras en pastoreo complementadas con ensilado de vaina de mezquite en lactancia temprana. Literales mayúsculas indican comparación entre semanas y literales minúsculas indican comparación entre tratamientos. Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05).

Los tratamientos también afectaron la producción de leche de las cabras (Figura 3; P=0.001). Las cabras que recibieron el alimento integral tuvieron en promedio la mayor producción de leche (0.751 kg/cabra/día) y estas fueron únicamente igualadas por las cabras que fueron complementadas con ensilado de vaina de mezquite (0.645 kg/cabra/día). Las cabras que estuvieron sin complemento alimenticio igualaron la producción (0.586 kg/cabra/día) de las cabras alimentadas con ensilado de vaina de mezquite; lo cual es debido a las buenas condiciones en las que se encontraba el agostadero durante la temporada que se realizó el estudio. Castillo et al. (2020) encontraron una mejor respuesta en producción de leche en cabras Sannen alimentadas con una dieta integral con maíz, heno de alfalfa, pasta de soya y pollinaza que, en una dieta basada en estos mismos ingredientes, pero adicionándole ensilado de maguey, nopal y vaina de mezquite.

Conclusiones

El ensilado de vaina de mezquite presenta buena fermentación y valor nutritivo y puede utilizarse como un complemento alimenticio para mejorar la producción de leche de cabras en pastoreo.

Referencias

Armijo-Nájera, M. G., A. Moreno-Resendez, E. Blanco-Contreras, V. J. Borroel-García y J. L. Reyes-Carrillo. 2019. Vaina de mezquite (*Prosopis spp*) alimento para ganado en el semidesierto. Rev. Mex. Cienc. Pec. 10(1):113-122.

Castillo, J. C. G., F. A. Rodriguez R., J. A. Rendon H., G. älvarez F., J. A. Morales R. y J. C. García L. 2020. Effect of a diet based on mesquite pod, maguey silage, and prickly pear on production and physicochemical quality of Saanen goat milk. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 21(1):3-15.

Cook, R. W., C. B. Scott, and F. S. Hartmann. 2008. Short-term mesquite pod consumption by goats does not induce toxicity. Rangeland Ecol. Manage. 61:566-570.

Ghosh C. P., S. Data, D. Mandal, A. K. Das, D. C. Roy, A. Roy, and N. K. Tudu. 2019. Body condition scoring in goat: impact and significance. J. Entom. Zool. Studies. 7(2):554-560.

Kung, L. and R. Shaver. 2001. Interpretation and use of silage fermentation analysis report. Focus on Forage. Vol. 3, Num. 9. University of Wisconsin Extension.

Luna-Orozco, J. R., C. A. Meza-Herrera, V. Contreras-Villareal, N. Hernández-Macias, O. Angel-García, E. Carrillo, M. Mellado, and F. G. Veliz-Meraz. 2015. Effect of supplementation during late gestation on goat performance and behavior under rangeland condition. J. Anim. Sci. 93(8):4153-4160.

Marques, R. O., H. C. Gonçalves, P. R. de L. Meirelles, G. I. L. Cañizares, G. M. de Olivera, H. F. B. Gomes, S. Fernandes, A. A. de Oliveira, E. P. Brito, and R. F. Carmo. 2016. Effect of concentrate supplementation during pre-kidding on the productive and reproductive perfomence of goats raised in Guinea grass (*Penicum maximum* cv. Tobiatã) pasture. Semina: Ciencias Agrárias, Londrina. v. 37, n. 3, p. 1489-1504.

Tabasa, I. M. 2000. Neuronal vacuolation of the trigeminal nuclei in goats caused by ingestion of *Prosopis juliflora* pods. Vet. Hum. Toxicol. 42(3):155-158.

INCLUSIÓN DE RESIDUO DE ORÉGANO EN COMPLEMENTO ALIMENTICIO PARA BOVINOS Y SU EFECTO SOBRE LA DEGRADABILIDAD

Krisstal Mena-Galván[1], Rafael Jiménez-Ocampo[2], Lucero Sarabia-Salgado[3], Jorge Alonso Maldonado-Jáquez[4], Rigoberto Rosales-Serna[2] y Pablo Alfredo Domínguez-Martínez[2]*

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Durango, Dgo. México. C.P. 34307. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Dgo. México. C.P. 34170. [3]Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Cd. Altamirano, Gro. México. C.P. 40660. [4]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coah. México. C.P. 27440. *Autor de correspondencia: dominguez.pablo@inifap.gob.mx

Introducción

El incremento en la demanda de productos de origen animal, junto con la necesidad de optimizar costos y mitigar el impacto ambiental, obliga la exploración de fuentes no convencionales de alimento para rumiantes, como los subproductos agroindustriales y los residuos generados durante el procesamiento de alimentos. La incorporación de estos ingredientes alternativos puede contribuir a reducir la huella ambiental de las cadenas productivas y, además, proporcionar energía, fibra o proteína para la formulación de dietas, previa evaluación de calidad y seguridad (Haile et al., 2017; Vastolo et al., 2022). Los residuos de hierbas y especias, ricos en compuestos fenólicos y aceites volátiles, pueden influir en la fermentación ruminal. Metabolitos secundarios como terpenoides, taninos, saponinas y flavonoides modifican el ambiente ruminal, los ácidos grasos volátiles (AGV's) y las emisiones entéricas, de acuerdo con su tipo y dosis (Ku-Vera et al., 2020; Lombrea et al., 2020).

El orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth) presenta altos porcentajes de monoterpenos fenólicos (carvacrol y timol), además de una cantidad importante de compuestos fenólicos y flavonoides. Su incorporación como ingrediente en raciones puede modificar la fermentación ruminal y la dinámica de degradación del sustrato. Revisiones y estudios experimentales con aceite esencial y extractos de *L. graveolens* demuestran actividad antimicrobiana y antioxidante, determinada por la composición química (proporción carvacrol: timol) y la dosis aplicada. Ensayos realizados en pequeños rumiantes reportan efectos sobre parámetros fermentativos y marcadores antioxidantes que varían según la presentación. Por lo tanto, el trabajo con polvo o residuos de *L. graveolens* requiere evaluar la relación dosis-respuesta para establecer rangos seguros y eficientes de inclusión (Bautista-Hernández et al., 2021; Muñoz-Cuautle et al., 2022; Orzuna-Orzuna et al., 2022; Marin-Tinoco et al., 2023).

Existe poca información sobre el uso de residuos de orégano, en especial sobre el polvo residual, en concentrados comerciales. Faltan estudios que determinen niveles seguros y efectivos para mejorar la fermentación sin afectar la degradabilidad del alimento. Esta carencia justifica realizar ensayos *in situ* para establecer recomendaciones (Ku-Vera et al., 2020; Vastolo et al., 2022). Con base en lo anterior, el presente trabajo evalúa el efecto de incorporar distintos niveles de residuo de orégano en un concentrado comercial sobre los parámetros de degradación *in situ* y degradabilidad efectiva, con el objetivo de determinar si el residuo modifica la fracción soluble y el potencial degradable del complemento alimenticio y de aportar evidencia para definir niveles de inclusión prácticos y seguros.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) - Campo Experimental Valle del Guadiana. El sitio se encuentra en las coordenadas 23° 59' 21" N, 104° 37' 33" O y a 1 877 m de altitud. El clima predominante es templado semiárido, con régimen de lluvias en verano, variación fuerte de temperatura y un promedio anual para esta variable de 17.4 °C (García, 1998). La lluvia acumulada durante el año alcanza 476 mm en promedio y los eventos de mayor volumen ocurren entre junio y septiembre (Medina *et al*., 2005).

Se utilizó polvo de orégano residual obtenido de la empresa Chiles Secos la Bufa, incorporándolo en proporciones de 0, 1, 3, 6 y 50 % al concentrado comercial 904 Becerros Engorda 12 %. La prueba de degradabilidad *in situ* se realizó en dos bovinos macho con fístula ruminal, en condiciones de pastoreo durante el estudio. Se empleó la metodología descrita por Rosado-Rivas y Ayala-Burgos (2001) para llevar a cabo la incubación de las muestras (5 g) correspondientes a cada tratamiento, en duplicado por animal, durante 0, 6, 12, 24 y 48 horas. Los parámetros de degradación *in situ* se estimaron según el modelo de Ørskov y McDonald (1979) modificado por McDonald (1981).

$$d = a + b\left(1 - e^{-kd*t}\right)$$

En donde: *d* = degradabilidad en el tiempo *t*, *t* = tiempo de incubación, *a* = fracción soluble, *b* = fracción potencialmente soluble y *kd* = constante de degradación de la fracción *b*.

Además, se calculó la degradabilidad efectiva:

$$DE = a + \left(\frac{b * kd}{kd + kp}\right)$$

En donde: *DE* = degradabilidad efectiva y *kp* = constante de la tasa ruminal de pasaje (5 % h^{-1}). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones para el análisis de varianza de los parámetros de degradación *in situ* y la degradabilidad efectiva. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey (P <0.05). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Sigma Plot 15 (Systat Software Inc. San Jose, CA, EUA).

Resultados y discusión

Los tratamientos presentaron diferencias significativas (P <0.05) en su fracción *a* y *DE*. Sin embargo, se encontró similitud entre tratamientos en la fracción potencialmente degradable y su respectiva constante de la tasa de pasaje (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la inclusión de distintos niveles de residuo de orégano (0, 1, 3 , 6 y 50 %) sobre la fracción soluble (*a*, %), fracción potencialmente soluble (*b*, %), constante de degradación de la fracción "*b*" (*kd*, h^{-1}) y degradabilidad efectiva (*DE*, %) de los suplementos incubados *in situ* durante 0, 6, 12, 24 y 48 horas.

Tratamiento	*A*	*B*	*kd*	*DE*
0 %	$22.1^{b} \pm 1.7$	48.0 ± 8.2	0.06 ± 0.02	$44.9^{b} \pm 0.58$
1 %	$21.2^{b} \pm 0.4$	45.1 ± 2.7	0.06 ± 0.01	$44.6^{b} \pm 1.75$
3 %	$26.0^{ab} \pm 1.8$	58.2 ± 9.3	0.03 ± 0.01	$45.7^{b} \pm 2.06$
6 %	$22.7^{ab} \pm 1.3$	48.6 ± 5.2	0.05 ± 0.01	$46.1^{b} \pm 0.90$
50 %	$28.8^{a} \pm 1.5$	37.8 ± 2.8	0.08 ± 0.02	$50.9^{a} \pm 3.50$

[a,b] Literales desiguales por columna denotan diferencias significativas entre los valores (P <0.05). Los valores que se presentan son el promedio de cuatro observaciones con su respectivo error estándar.

La fracción soluble del alimento con 50 % de residuo de orégano aumentó 6.7 a 7.6 puntos porcentuales, con respecto al testigo y tratamiento con 1 % de orégano. Los tratamientos con 3 y 6 % presentaron valores intermedios. Por otra parte, se observa que la inclusión de polvo de orégano más allá del 3 % podría disminuir la fracción potencialmente soluble del alimento. Por último, la degradabilidad efectiva del complemento alimenticio aumentó significativamente con la inclusión de 50 % de orégano.

Estas observaciones sugieren dos procesos relacionados que explican los cambios en *a*, *b* y *DE*. Primero, el residuo de orégano aporta compuestos solubles como aceites esenciales (carvacrol y timol) y fenoles que aumentan rápidamente la fracción *a* del complemento, lo que mejora su estimación en incubaciones *in situ*. Observaciones *in vitro* e *in vivo* confirman que dosis mayores de aceite esencial de orégano modifican parámetros fermentativos, AGV's, y alteran la dinámica de degradación (Zhou et al., 2020). Segundo, los compuestos bioactivos del orégano modifican la microbiota y fisiología ruminal. Complementar con aceites esenciales de orégano mejora la digestión en el rumen al cambiar la composición bacteriana y el desarrollo epitelial, lo que se asocia con mayor degradabilidad y mejor aprovechamiento del sustrato (Zhang et al., 2021; Liu et al., 2024). La reducción de la fracción *b* con el tratamiento al 50 % apunta un impacto negativo en la parte potencialmente degradable del suplemento. Esto puede deberse a que una mayor inclusión del residuo de orégano diluye la matriz del concentrado e incrementa componentes menos degradables; o bien, a la acción inhibidora de polifenoles y aceites esenciales sobre microorganismos y enzimas. Algunos estudios reportan que estos compuestos tienen efectos positivos a bajas dosis y negativos en mayores concentraciones (Vasta et al., 2019; Corredu et al., 2020).

Conclusiones

La adición del residuo de orégano modificó la degradación del concentrado. Aumenta de forma significativa la fracción soluble *a* y la degradabilidad efectiva *DE* ($P < 0.05$), en especial con el 50 % de residuo (*a*: 28.8 %, *DE*: 50.9 %). La fracción *b* y la constante *kd* no variaron entre tratamientos. Esto sugiere que los compuestos solubles del residuo de orégano incrementan la proporción rápidamente utilizable, pero al 50 % de inclusión disminuye la fracción potencialmente degradable, es posible que se deba a la dilución del complemento alimenticio o inhibición por polifenoles o aceites esenciales sobre el ambiente ruminal. Dada su baja viabilidad de uso en formulaciones y posible repercusión negativa, no se recomienda el uso comercial del 50 % de orégano sin más estudios.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Chiles Secos la Bufa por brindar el residuo de orégano que se empleó durante la ejecución del presente trabajo.

Referencias

Bautista-Hernández, I., Aguilar, C. N., Martínez-Ávila, G. C. G., Torres-León, C., Ilina, A., Flores-Gallegos, A. C., Kumar Verma, D., & Chávez-González, M. L. (2021). Mexican Oregano (*Lippia graveolens* Kunth) as Source of Bioactive Compounds: A Review. *Molecules*, 26(17), 5156. https://doi.org/10.3390/molecules26175156

García, E. (1998). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Institutito de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México, México. 90p.

Haile, E., Njonge, F. K., Asgedom, G., & Gicheha, M. (2017). Chemical Composition and Nutritive Value of Agro-Industrial By-Products in Ruminant Nutrition. *Open Journal of Animal Sciences*, 07(01), 8–18. https://doi.org/10.4236/ojas.2017.71002

Ku-Vera, J. C., Jiménez-Ocampo, R., Valencia-Salazar, S. S., Montoya-Flores, M. D., Molina-Botero, I. C., Arango, J., Gómez-Bravo, C. A., Aguilar-Pérez, C. F., & Solorio-Sánchez, F. J. (2020). Role of Secondary Plant Metabolites on Enteric Methane Mitigation in Ruminants. *Frontiers in Veterinary Science*, 7. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00584

Liu, T., Luo, Z., Zhang, T., Chen, H., Yi, X., Hu, J., Shi, B., An, Y., Cui, C., & Wang, X. (2024). Effects of Oregano Essential Oil and/or Yeast Cultures on the Rumen Microbiota of Crossbred Simmental Calves. *Animals,* 14(24), 3710. https://doi.org/10.3390/ani14243710

Lombrea, A., Antal, D., Ardelean, F., Avram, S., Pavel, I. Z., Vlaia, L., Mut, A.-M., Diaconeasa, Z., Dehelean, C. A., Soica, C., & Danciu, C. (2020). A Recent Insight Regarding the Phytochemistry and Bioactivity of Origanum vulgare L. Essential Oil. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(24), 9653. https://doi.org/10.3390/ijms21249653

Marin-Tinoco, R. I., Ortega-Ramírez, A. T., Esteban-Mendez, M., Silva-Marrufo, O., Barragan-Ledesma, L. E., Valenzuela-Núñez, L. M., Briceño-Contreras, E. A., Sariñana-Navarrete, M. A., Camacho-Luis, A., & Navarrete-Molina, C. (2023). Antioxidant and Antibacterial Activity of Mexican Oregano Essential Oil, Extracted from Plants Occurring Naturally in Semiarid Areas and Cultivated in the Field and Greenhouse in Northern Mexico. *Molecules*, 28(18), 6547. https://doi.org/10.3390/molecules28186547

McDonald, I. (1981). SHORT NOTE: A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *The Journal of Agricultural Science, 96*(1), 251–252. https://doi.org/10.1017/S0021859600032081

Medina-García, G., Díaz-Padilla, G., López-Hernández, J., Ruíz-Corral, J.A., & Marín-Silva, M. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA INIFAP CIRNOC Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México. 224p.

Muñoz-Cuautle, A., Ortega-Cerrilla, M. E., Herrera-Haro, J. G., Nava-Cuellar, C., Gutiérrez-Olvera, C., Ramírez-Bribiesca, J. E., & Zetina-Córdoba, P. (2022). Effect of Oregano (*Lippia graveolens*) Essential Oil as a Phytogenic Feed Additive on Productive Performance, Ruminal Fermentation, and Antioxidant Activity in Lamb Meat. *Agriculture*, 12(7), 973. https://doi.org/10.3390/agriculture12070973

Orskov, E. R., & Mcdonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science, 92*(2), 499–503. https://doi.org/10.1017/S0021859600063048

Orzuna-Orzuna, J. F., Dorantes-Iturbide, G., Lara-Bueno, A., Miranda-Romero, L. A., Mendoza-Martínez, G. D., & Santiago-Figueroa, I. (2022). A Meta-Analysis of Essential Oils Use for Beef Cattle Feed: Rumen Fermentation, Blood Metabolites, Meat Quality, Performance and, Environmental and Economic Impact. *Fermentation*, 8(6), 254. https://doi.org/10.3390/fermentation8060254

Rosado-Rivas, C. M., & Ayala-Burgos, A. J. (2001). FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA y ZOOTECNIA Técnica de Degradación Ruminal *in situ*. Universidad Autónoma de Yucatán. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16008.37128

Vastolo, A., Calabrò, S., & Cutrignelli, M. I. (2022). A review on the use of agro-industrial CO-products in animals' diets. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 577–594. https://doi.org/10.1080/1828051x.2022.2039562

Zhang, R., Wu, J., Lei, Y., Bai, Y., Jia, L., Li, Z., Liu, T., Xu, Y., Sun, J., Wang, Y., Zhang, K., & Lei, Z. (2021). Oregano Essential Oils Promote Rumen Digestive Ability by Modulating Epithelial Development and Microbiota Composition in Beef Cattle. *Frontiers in Nutrition,* 8. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.722557

Zhou, R., Wu, J., Lang, X., Liu, L., Casper, D. P., Wang, C., Zhang, L., & Wei, S. (2020). Effects of oregano essential oil on *in vitr*o ruminal fermentation, methane production, and ruminal microbial community. *Journal of Dairy Science,* 103(3), 2303–2314. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16611

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE ÁCIDO PALMÍTICO PROTEGIDO EN LA DIETA DE CABRAS LECHERAS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE

Lorenzo Danilo Granados-Rivera[1], Sandra Patricia Maciel-Torres[2], Jorge Alonso Maldonado-Jaquéz[3], Pablo Arenas-Báez[2]*

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Genera Terán, General Terán, Nuevo León, México. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: parenas@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La producción caprina en México destaca por su potencial para generar leche y carne en climas adversos, gracias a la alta rusticidad y adaptación de la especie (Torres-Hernández et al., 2022). En rumiantes, la suplementación con grasa vegetal ha cobrado interés porque aporta energía alternativa, modifica la composición lipídica de la leche, incrementa la producción láctea y reduce costos energéticos (Palmquist y Jenkins, 2017; De Souza y Lock, 2018). Estos efectos dependen de la cantidad, composición, grado de protección y digestibilidad de los ácidos grasos (AG) que se incluyan en la ración.

Al respecto, en el rumen la lipólisis y biohidrogenación limitan el aporte de AG insaturados (Kholif et al., 2018), mientras que los AG saturados o protegidos atraviesan el rumen con mínimas modificaciones, pueden reducir CH_4 (Yanza et al., 2021) y son absorbidos a nivel intestinal (Rico et al., 2017). Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre suplementación lipídica han sido en vacas lecheras y siguen siendo escasos estudios en cabras (Kholif et al., 2018; Lévesque et al., 2022). En este sentido, en vacas la suplementación con ácido palmítico (AP) ha demostrado incrementar la producción de leche (Rico et al., 2017; De Souza y Lock, 2018). Lo cual, se debe a la prioridad del AP en la glándula mamaria para la síntesis de triglicéridos (Harvatine et al., 2009).

Para cabras no se tienen datos sobre el efecto del ácido palmítico en la producción y composición química de la leche. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del AP en cabras lactantes sobre la producción y composición de leche.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el ejido Zaragoza, del municipio de Viesca, Coahuila, México. La altitud del sitio es 1100 msnm. El clima, se clasifica como cálido seco (BWh), con temperatura y precipitación media anual de 22.1 °C y 261.4 mm respectivamente.

Se utilizaron 21 cabras cruzadas, de tercer parto, con 35 kg de peso vivo, en inicios de lactancia. Las cuales fueron distribuidas aleatoriamente en tres grupos de siete cabras cada uno. Cada unidad experimental se distribuyó de forma aleatoria en cada grupo bajo un diseño completamente al azar. Las cabras tuvieron un periodo de adaptación de dos semanas y seis semanas experimentales. Los tratamientos fueron: 1) dieta base (formulada para cubrir los requerimientos nutricionales de las cabras de acuerdo al NRC (2007); 2) dieta base + 50 g de inclusión de AP; 3) dieta base + 100 g de inclusión de AP. El AP fue una mezcla de AG protegidos > 85 % de AP, (Jefo Dairy Fat 99 %®, JEFO, Canadá).

Las cabras fueron alojadas en corrales individuales de 3 x 2 m. Cada cabra recibió alimento dos veces al día (08:00 y 15:00) con relación a su peso vivo, satisfaciendo su consumo de alimento. El AP se proporcionó sobre el alimento para comprobar que era totalmente ingerido. La adaptación a la dieta fue acondicionada dos semanas previas al parto junto con el contenido de AP. La ordeña se realizó una vez por día (06:00 am).

La producción de leche se midió en cada cabra una vez por semana durante seis semanas posteriores al parto con una báscula portátil (Torrey® capacidad 10 kg ± 1g). De cada cabra en cada ordeña semanal se obtuvieron muestras de leche que se almacenaron en viales de plástico (120 mL) y se conservaron en refrigeración a 5 °C para después analizar su composición química. El consumo de alimento se determinó por diferencia entre el alimento ofrecido y el alimento residual. La determinación de proteína, grasa y lactosa en leche se realizó por espectrofotometría infrarroja (LactiCheck, EE. UU) en el laboratorio de lácteos del INIFAP, en Matamoros, Coahuila. La producción de leche se corrigió por energía con la ecuación de Rico et al. (2017): Producción de leche corregida energéticamente (ECM; kg d-1) = [0.327 × producción de leche (kg d^{-1})] + [12.95 × grasa (kg d^{-1})] + [(7.65 × proteína (kg d^{-1})].

Las variables respuesta se analizaron como un diseño completamente al azar en arreglo con medidas repetidas, utilizando el procedimiento del modelo MIXED de SAS.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se muestra el peso corporal, la MS consumida, producción y composición de la leche de cada tratamiento. El peso corporal, MS consumida y producción de leche fueron similares entre tratamientos ($p > 0.05$). Esto concuerda con lo reportado por Lévesque et al. (2022) y Delavaud et al. (2022), quienes observaron que no hubo cambio en la producción de leche de cabras por efecto de la inclusión de AP en la dieta, mientras que Mosley et al. (2007) y Piantoni et al. (2013) reportaron aumento de la producción de leche por efecto del AP suplementado a vacas lecheras. Es posible que estas diferencias de deben a la variación del metabolismo entre especies (Fougère et al., 2018).

Cuadro 1. Composición química de la leche en respuesta a la adición de diferentes dosis de acido palmítico a la dieta de caprinos.

	Tratamiento				p-Valor	
Variable	**Testigo**	**50 AP**	**100 AP**	**EEM**	**AP**	**A × T**
Peso Corporal (kg)	46.4	45.7	46.6	2.9	0.97	0.33
MS consumida (kg d^{-1})	2.2	2.2	2.1	0.1	0.71	0.69
Producción de leche (g d^{-1})	1453.9	1788.3	1579.2	124.2	0.19	0.63
ECM (g d^{-1})	1332.0b	1884.5a	1848.6a	158.4	0.04	0.53
Composición de leche (%)						
Proteína	3.3	3.4	3.3	0.12	0.92	0.15
Grasa	2.6b	3.6ab	4.5a	0.36	0.007	0.94
Lactosa	4.91	5.02	4.8	0.18	0.7	0.006

a, b, c Medias con distinta literal en la columna indican diferencias (Tukey P ≤ 0.05); EEM=Error estándar de la media; AP=Ácido palmítico; Testigo= Tratamiento dieta base; 50 AP= dieta base + 50 g; 100 AP= dieta base + 100 g de inclusión de AP; ECM=Leche corregida por energía.

Por otro lado, la producción de leche corregida por energía (ECM) fue más alta en las cabras suplementadas con AP. Lévesque et al. (2022) mostraron resultados similares en la ECM de cabras Alpinas suplementadas con 2 % de AP en comparación con el tratamiento control durante la lactancia media, resultados que difieren del presente estudio.

La diferencia se genera debido a que la estimación de la ECM compara los individuos en función de sus méritos genéticos o fenotípicos, además de que la grasa suplementada en rumiantes y su cantidad permite el aumento en la eficiencia de la producción de leche en comparación con dietas sin suplemento de grasa (De Souza y Lock, 2018) o como se observa en este caso los resultados difieren por el nivel de inclusión.

Conclusión

Bajo las condiciones experimentales del presente estudio, se concluye que el AP en la dieta de cabras cruzadas en inicios de lactancia incrementa la producción de leche corregida por energía y la concentración de grasa en leche. Pero no cambia el consumo de MS y la concentración de proteína y lactosa en leche.

Referencias

De Souza, J., & Lock, A. L. (2018). Long-term palmitic acid supplementation interacts with parity in lactating dairy cows: Production responses, nutrient digestibility, and energy partitioning. Journal of dairy science, 101(4), 3044-3056.

Delavaud, C., Fougère, H., Bertrand-Michel, J., & Bernard, L. (2022). Milk fat depression and plasma lipids in dairy cows and goats. Animal, 16(12), 100635.

Harvatine, K. J., Boisclair, Y. R., & Bauman, D. E. (2009). Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. Animal, 3(1), 40-54.

Kholif, A. E., Morsy, T. A., & Abdo, M. M. (2018). Crushed flaxseed versus flaxseed oil in the diets of Nubian goats: Effect on feed intake, digestion, ruminal fermentation, blood chemistry, milk production, milk composition and milk fatty acid profile. Animal Feed Science and Technology, 244, 66-75.

Lévesque J, Dion S, Rico DE, Brassard M-È, Gervais R and Chouinard PY. 2022. Milk yield and composition in dairy goats fed extruded flaxseed or a high-palmitic acid fat supplement. Journal of Dairy Research 89, 355–366.

Mosley SA, Mosley EE, Hatch B, Szasz JI, Corato A, Zacharias N, Howes D and McGuire MA. 2007. Effect of varying levels of fatty acids from palm oil on feed intake and milk production in Holstein cows. Journal of Dairy Science 90, 987–993.

Palmquist, D. L., & Jenkins, T. C. (2017). A 100-Year Review: Fat feeding of dairy cows. Journal of Dairy Science, 100(12), 10061-10077.

Piantoni P, Lock AL and Allen MS. 2013. Palmitic acid increased yields of milk and milk fat and nutrient digestibility across production level of lactating cows. Journal of Dairy Science 96, 7143–7154.

Rico JE, De Souza J, Allen MS and Lock AL. 2017. Nutrient digestibility and milk production responses to increasing levels of palmitic acid supplementation vary in cows receiving diets with or without whole cottonseed. Journal of Animal Science 95, 436–446.

Torres-Hernández, G., Maldonado-Jáquez, J. A., Granados-Rivera, L. D., Wurzinger, M., & Cruz- Tamayo, A. A. (2022). Creole goats in Latin America and the Caribbean: a priceless resource to ensure the well-being of rural communities. International Journal of Agricultural Sustainability, 20(4), 368-380.

Yanza, Y. R., Szumacher-Strabel, M., Jayanegara, A., Kasenta, A. M., Gao, M., Huang, H., & Cieślak, A. (2021). The effects of dietary medium-chain fatty acids on ruminal methanogenesis and fermentation in vitro and in vivo: A meta-analysis. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 105(5), 874-889.

EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE ÁCIDO PALMÍTICO PROTEGIDO EN LA DIETA DE CABRAS LECHERAS EN EL PERFIL DE ÁCIDOS EN LECHE

Lorenzo Danilo Granados-Rivera[1], Sandra Patricia Maciel-Torres[2], Jorge Alonso Maldonado-Jaquéz[3], Pablo Arenas-Báez[2]*

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Genera Terán, General Terán, Nuevo León, 67400, México. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, 35230, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, 27440, México. *Autor de correspondencia: parenas@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

En granjas especializadas, los suplementos de grasas secas e inertes en el rumen son ingredientes habituales de las dietas por su alto contenido energético y su versatilidad para añadirse con facilidad durante el mezclado de la dieta. Esto, pone de manifiesto la importancia de la energía como el elemento más importante en la dieta de cabras durante el inicio de la lactancia. Al respecto, cabras lecheras bajo condiciones de estabulación consumen dietas balanceadas, no obstante, es necesario seguir en búsqueda de ingredientes de mayor eficiencia dentro del metabolismo del animal, con el propósito de mejorar la rentabilidad de las granjas, a través del incremento de la producción de leche o de algún componente en la leche. Como parte de la búsqueda de ingredientes más eficientes, se han desarrollado técnicas de extracción y purificación de grasas, con lo cual ha sido posible evaluar ácidos grasos (AG) específicos y su importancia en el ganado lechero. En este contexto, el ácido palmítico (AP) (C16:0), es el de mayor concentración en la leche de cabra (Loften et al., 2014), interviene de forma importante en la síntesis de grasa láctea y es el AG de mayor transferencia de la dieta a la grasa láctea en rumiantes (Vyas et al., 2013). Asimismo, su inclusión en dietas para vacas ha incrementado la producción de leche (De Souza & Lock, 2018) y mejorado el BE (Rico et al., 2014), por lo tanto, se espera que en cabras pudiera tener similar efecto. Si bien, estos resultados han sido documentados en forma amplia en vacas lecheras (Piantoni et al., 2013, Vyas et al., 2013, De Souza & Lock, 2018) son escasos los estudios en cabras lecheras, por lo que este estudio será uno de los pioneros en documentar el efecto de la suplementación con AP en el perfil de ácidos grasos en leche de cabra.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el ejido Zaragoza, del municipio de Viesca, Coahuila, México. La altitud del sitio es 1100 msnm. El clima, se clasifica como cálido seco (BWh), con temperatura y precipitación media anual de 22.1 °C y 261.4 mm respectivamente.

Se utilizaron 21 cabras cruzadas, de tercer parto, con 35 kg de peso vivo, en inicios de lactancia. Las cuales fueron distribuidas aleatoriamente en tres grupos de siete cabras cada uno. Cada unidad experimental se distribuyó de forma aleatoria en cada grupo bajo un diseño completamente al azar. Las cabras tuvieron un periodo de adaptación de dos semanas y seis semanas experimentales. Los tratamientos fueron: 1) dieta base (formulada para cubrir los requerimientos nutricionales de las cabras de acuerdo al NRC (2007); 2) dieta base + 50 g de inclusión de AP; 3) dieta base + 100 g de inclusión de AP. El AP fue una mezcla de AG protegidos > 85 % de AP, (Jefo Dairy Fat 99 %®, JEFO, Canadá).

Las cabras fueron alojadas en corrales individuales de 3 x 2 m. Cada cabra recibió alimento dos veces al día (08:00 y 15:00) con relación a su peso vivo, satisfaciendo su consumo de alimento. El AP se proporcionó sobre el alimento para comprobar que era totalmente ingerido. La adaptación a la dieta fue acondicionada dos semanas previas al parto junto con el contenido de AP. La ordeña se realizó una vez por día (06:00 am).

La extracción de AG de la leche se realizó según la metodología de Feng et al. (2004). El perfil de AG de los componentes de la dieta y la leche se determinó utilizando la técnica de metilación de Palmquist y Jenkins (2003) en el cual los AG se presentan en forma de metil ésteres. Los metil ésteres de AG se determinaron en un cromatógrafo Hewlett Packard 6890 con inyector automático con una columna capilar de sílice (100 m x 0.25 mm x 0.20 µm de grosor, Sp-2560, Supelco) y Helio como gas acarreador. La identificación de los AG se realizó comparando los tiempos de retención de cada pico obtenido del cromatograma, con un estándar de 37 picos de AG de la compañía Supelco.

El análisis de la variable del perfil de AG en leche se utilizó solo los datos de las semanas 1, 3 y 6. El modelo contenía los efectos del tratamiento, semana y la interacción entre ambos. La cabra fue el efecto aleatorio, y el tratamiento, la semana y su interacción efectos fijos. Se obtuvieron los criterios de información Bayesiano de Schwarz y Akaike, con lo que se determinó la estructura de covarianza más adecuada para cada variable (auto regresión). La comparación de medias de mínimos cuadrados se realizó a través de la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

El perfil de AG de la leche vario de acuerdo con la inclusión de AP en la dieta para cabras lactantes (Cuadro 1). Los AG sintetizados de *novo* <C16 y los AG preformados >C16 disminuyeron a medida que aumentaba la suplementación de AP, mientras que la sumatoria de C16:0 y C16:1 aumentó a medida que incrementó la suplementación de AP.

En el estudio presentado por Delavaud et al. (2022), durante la suplementación de AP hidrogenado a cabras, encontraron que en plasma sanguíneo C16:0 incrementó su concentración, en tanto, Lévesque et al. (2022) observaron incremento de C16:0 en el perfil de AG de la leche de cabras, igual a lo observado en nuestro este estudio. Asimismo, Mosley et al. (2007) reportan esta misma situación en vacas lecheras. Esto, puede ser explicado por la mayor biodisponibilidad en la síntesis *de novo* mamaria del C16:0, al respecto, durante la formación e incorporación de triglicéridos en la leche, es el C16:0 uno de los preferentes para hacer parte de la posición sn-1 durante la acilación (Martínez et al., 2010).

En estudios en cabras lecheras (Delavaud et al., 2022; Lévesque et al., 2022) con suplementación de AP se evidenció una disminución de AG de <C16:0, al igual que en estudios en vacas lecheras (Mosley, et al., 2007), resultados que contrastan con el presente estudio. Aunque las concentraciones de AG como C6:0, C8:0, C10:0 y C12:0 son mayores en leche caprina que en bovina por el diferente grado de polimerización del acetato, formado por la actividad bacteriana del rumen sobre los alimentos que ingiere el animal (Ratto & Lopez, 1990). El fenómeno de disminución es el mismo; esto puede generarse debido a que la suplementación con AP puede aumentar la concentración de AG en plasma sanguíneo (Delavaud et al., 2022), también puede aumentar la concentración de insulina (De Souza et al., 2016), la cual estimula la activación de Acetil-CoA carboxilasa en glándula mamaria y esta enzima contribuye en la síntesis *de novo* AG de cadena media (Wright et al., 2006).

De manera que suplementar con AP inhibe la incorporación de AG <C16 en los triglicéridos a nivel de glándula mamaria. A su vez, en esta disminución de síntesis *de novo,* los AG menores de 16 carbonos son esterificados principalmente en las posiciones sn-2 y sn-3 del glicerol, dando preferencia a C16:0 y C16:1 (Martinez-Marin et al., 2010), como se evidencia en nuestro estudio.

Cuadro 1. Perfil de ácidos grasos (g/ 100 g del total de AG) de leche de cabras lactantes suplementadas con diferentes dosis de ácido palmítico protegido.

	Tratamiento					p-Valor
Ácido graso	Testigo	50 AP	100 AP	EEM	AP	AP × T
C6:0	3.03	2.90	2.80	0.14	0.52	0.03
C8:0	3.73 a	3.09 b	2.55 c	0.14	<.0001	0.07
C10:0	14.48 a	10.69 b	8.89 c	0.48	<.0001	0.66
C12:0	6.96 a	4.70 b	3.91 b	0.25	<.0001	0.81
C14:0	13.42 a	10.52 b	9.55 b	0.38	<.0001	0.15
C15:0	1.08 a	0.76 a	0.61 c	0.04	<.0001	0.40
C16:0	30.19 c	41.43 b	49.29 b	0.52	<.0001	0.13
C16:1	0.86 c	1.25 b	1.60 a	0.09	0.00	0.00
C17:0	0.78 a	0.55 b	0.38 c	0.02	<.0001	0.02
C17:1	0.21	0.19	0.12	0.03	0.06	0.20
C18:0	6.74 a	6.07 a	4.71 b	0.29	0.00	0.03
C18:1 *t9*	0.89 a	0.68 b	0.55 c	0.04	0.00	0.89
C18:1 *c9*	14.00	14.07	12.51	0.91	0.41	0.93
C18:2	1.61 a	1.46 a	1.17 b	0.08	0.00	0.61
C18:3	0.29 a	0.25 ab	0.17 b	0.03	0.01	0.58
<C16	43.33 a	33.16 b	28.73 c	1.21	<.0001	0.67
C16:0+C16:1	31.05 c	42.68 b	50.89 a	0.54	<.0001	0.09
>C16	24.91 a	23.56 a	19.83 b	1.07	0.01	0.74

[a, b, c] Medias con distinta literal en la columna indican diferencias (Tukey P ≤ 0.05); EEM=Error estándar de la media; AP=Ácido palmítico; Testigo= Tratamiento dieta base; 50 AP= dieta base 50 g de inclusión de AP; 100 AP= 100 g de inclusión de AP.

La relación que puede existir en la disminución de AG > C16 dada por el suplemento de AP consiste en que el AP aumenta el suministro de ceramidas en el organismo animal, las cuales predisponen al inicio de alteraciones patológicas a nivel del hígado, como consecuencia en el hígado se retienen AG en forma de diacilgliceroles impidiendo el viaje hacia la glándula mamaria y por consecuencia generando disminución de AG de cadena larga en la grasa de la leche (McFadeen y Rico, 2019). Aunque exista esa disminución, en la leche como mecanismo fisiológico se mantienen la relación de AG saturados e insaturados en la formación de triglicéridos para incluir en los glóbulos grasos de la leche ya que de esto depende la fluidez de esta (Loften et al., 2014).

Conclusiones

Bajo las condiciones experimentales del estudio se concluye que la suplementación dietaría de ácido palmítico protegido se transfiere en forma positiva a la grasa láctea. Por lo que es una estrategia nutricional eficaz para incrementar la grasa en leche.

Referencias

De Souza, J., & Lock, A. L. (2018). Long-term palmitic acid supplementation interacts with parity in lactating dairy cows: Production responses, nutrient digestibility, and energy partitioning. Journal of dairy science, 101(4), 3044-3056.

Delavaud, C., Fougère, H., Bertrand-Michel, J., & Bernard, L. (2022). Milk fat depression and plasma lipids in dairy cows and goats. Animal, 16(12), 100635.

Feng, S., Lock, A. L., & Garnsworthy, P. C. (2004). A rapid lipid separation method for determining fatty acid composition of milk. Journal of Dairy Science, 87(11), 3785-3788.

Lévesque, J., Dion, S., Rico, D. E., Brassard, M. È., Gervais, R., & Chouinard, P. Y. (2022). Milk yield and composition in dairy goats fed extruded flaxseed or a high-palmitic acid fat supplement. Journal of Dairy Research, 89(4), 355-366.

Loften, J. R., Linn, J. G., Drackley, J. K., Jenkins, T. C., Soderholm, C. G., & Kertz, A. F. (2014). Invited review: Palmitic and stearic acid metabolism in lactating dairy cows. Journal of dairy science, 97(8), 4661-4674.

Martínez M, A. L. M., Hernández, M. P., Alba, L. P., & Castro, G. G. (2010). Digestión de los lípidos en los rumiantes: una revisión. Interciencia, 35(4), 240-246.

Mosley, S. A., Mosley, E. E., Hatch, B., Szasz, J. I., Corato, A., Zacharias, N., Howes, D & McGuire, M. A. (2007). Effect of varying levels of fatty acids from palm oil on feed intake and milk production in Holstein cows. Journal of dairy science, 90(2), 987-993.

Palmquist, D. L., & Jenkins, T.C. (2003). Challenges with fats and fatty acid methods. Journal of Animal Science. 81, 3250-3254.

Piantoni P, Lock AL and Allen MS. (2013). Palmitic acid increased yields of milk and milk fat and nutrient digestibility across production level of lactating cows. Journal of Dairy Science 96, 7143–7154.

Ratto, G. F., & López, J. B. (1990). Lactación de la cabra y los factores que la regulan. Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental, (2), 47-78.

Rico, D. E., Ying, Y., & Harvatine, K. J. (2014). Comparison of enriched palmitic acid and calcium salts of palm fatty acids distillate fat supplements on milk production and metabolic profiles of high-producing dairy cows. Journal of Dairy Science, 97(9), 5637-5644.

Vyas, D., Moallem, U., Teter, B. B., Fardin-Kia, A. R. K., & Erdman, R. A. (2013). Milk fat responses to butterfat infusion during conjugated linoleic acid-induced milk fat depression in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 96(4), 2387-2399.

Wright, T. C., Cant, J. P., Brenna, J. T., & McBride, B. W. (2006). Acetyl CoA carboxylase shares control of fatty acid synthesis with fatty acid synthase in bovine mammary homogenate. Journal of Dairy Science, 89(7), 2552-2558.

PREVALENCIA DE ENFERMEDADES CONTAGIOSAS EN HATOS CAPRINOS DE TAMAULIPAS

María Genoveva Álvarez-Ojeda[*1], Lorenzo Danilo Granados Rivera[2], Isidro Humberto Almeyda-León[2], Melina López Pecina[3], Antonio Cantú Covarrubias[4]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo, ctra. Matamoros-Reynosa, km 61. C.P. 88900. Río Bravo, Tamaulipas, México; [2]INIFAP – CIRNE - Campo Experimental General Terán, km 31 ctra. Montemorelos - China Exhacienda Las Anacua, C.P. 67400. General Terán. [3]Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa - Aztlán. [4]Ex investigador del Campo Experimental Las Huastecas-INIFAP-CIRNE. *Autor para correspondencia: alvarez.genoveva@inifap.gob.mx

Introducción

La caprinocultura es una actividad que se ha convertido en una opción para los productores en países en vías de desarrollo. En México, esta actividad está tradicionalmente relacionada con los sectores marginados de la población, esto conlleva a que no se realice un seguimiento a los parámetros productivos ni reproductivos del hato, y no se conoce el estatus sanitario de los animales (Rodríguez Cortes et al., 2024). Además, otras de las limitaciones que enfrenta el sistema de producción caprino en estas zonas son: el bajo ingreso económico por el precio de la leche y del cabrito, así como la carencia de sanidad, debido a la ausencia de campañas contra enfermedades que ocasionan pérdidas en la disminución de la producción láctea y el retraso en la ganancia de peso, además brotes de muertes por diferentes agentes infecciosos (Palorames et al., 2021).

La producción de cabras en Tamaulipas, se encuentra en su mayoría en la zona de los municipios de Jaumave, Miquihuana, Bustamante, Tula, y del norte como Méndez y San Fernando, donde un gran porcentaje de las familias del área rural viven de esta actividad (Cantú et al., 2015). En el Estado, carece de información sobre las principales enfermedades que están afectando la productividad en la explotación caprina, se ha reportado la existencia anual de problemas como la alta mortalidad en algunas épocas del año, bajo desarrollo y ganancia de peso en animales jóvenes, así como una baja producción de cabritos. En este sentido, el objetivo de esta investigación fue conocer la prevalencia de brucelosis, paratuberculosis, neosporosis y artritris encefalitis caprina, en la zona del altiplano de Tamaulipas.

Materiales y métodos

Se colectaron 1047 muestras de suero de la zona del altiplano de Tamaulipas, los cuales fueron transportadas en condiciones de refrigeración, al laboratorio de Biotecnología Agropecuaria del Campo Experimental Río Bravo. Las muestras fueron centrifugadas a 2500 rpm durante 10 minutos con el fin de obtener el suero, el cual fue recolectado en tubos eppendorf y conservado en congelación a -20 °C hasta realizar su análisis.

Se eligió el total de las muestras de sueros de los municipios de Tula, Burgos, Miquihuana, Méndez y Bustamante, Tamaulipas, para el diagnóstico de brucelosis en cabras. El diagnóstico serológico para Brucelosis, se llevó a cabo por la técnica de aglutinación rápida en placa Rosa de Bengala, con un antígeno coloreado, acidificado y tamponado. Es una suspensión concentrada de *B*. *abortus* (Cepa S99 Weybridge), concentración celular 7,5 % - 8,5%, inactivada por el calor y el fenol al 0,5%, diluida en tampón ácido (pH 3,6) y coloreada con Rosa de Bengala (Instituto Pourquier, Montpellier, Francia).

El antígeno esta calibrado para dar reacción positiva a una dilución 1:45 y reacción negativa a la dilución 1:55, utilizando el suero estándar internacional, de la oficina internacional de epizootias. Se realizó la respectiva modificación a los volúmenes de reacción para la especie caprina y ovina (75µL de suero y 25µL de antígeno), recomendada para mejorar la sensibilidad de la prueba (OIE, 2004).

Diagnóstico de Mycobacterium avium subsp paratuberculosis. Se eligieron 431 sueros caprinos de los municipios de Tula, Méndez, Burgos y Bustamante, se realizó la técnica de ELISA indirecta, se siguió el protocolo de acuerdo como lo describe el fabricante para valoración de Acs (IgG) *Antimicobacterium avium paratuberculosis*, (IDEXX). La medición se realizó en un lector de ELISA (SIGMA), a una absorbancia de 450 nm. Se consideraron positivas las muestras con un S/P > 55 %, dudosas de 45 a 55 % y negativo < 45 %.

Diagnóstico de Neospora caninum. Se eligieron 569 sueros de los municipios de Tula, Mendez, Burgos, Bustamante y Miquihuana, Tamaulipas. La identificación de anticuerpos anti-*Neospora caninum* en los sueros se efectuó mediante ELISA (IDEXX).

Para conocer la seroprevalencia de Artritis Encefalitis Caprina, se utilizó un kit comercial de ELISA aceptados por la a Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, por sus siglas en francés), para el comercio internacional. Se utilizó un total de 531 sueros caprinos. Los sueros fueron diluidos 1/10 y los anticuerpos específicos se midieron usando una inmunoglobulina anti IgG de rumiantes conjugada con peroxidasa.

Para el caso de las pruebas de ELISA, se usó como substrato TMB ((3,3',5,5'-tetrametilbencidina). Las placas se leyeron con un Lector de Microplacas (Sigma Diagnostic) a una longitud de onda de 450 nm. Los resultados se expresaron en porcentajes de OD (densidad óptica), comparando la OD de las muestras y de los sueros controles positivos y negativos.

Resultados y discusión

Problemas bacterianos en la producción caprina: brucelosis. En México la seroprevalencia por brucelosis se ubica en valores que van de 0.7 a 40 %. A nivel nacional, estudios recientes demuestran que esta enfermedad está presente en la caprinocultura mexicana. En este estudio se evidenciaron datos de seroprevalencia de 4.91 % (52/1047), sin embargo, al analizar los datos positivos por municipio observamos que, en Tula, Burgos, Miquihuana y Bustamante fue de 15.38, 11.53, 65.38 y 7.69 % respectivamente (Cuadro 1), en caso de cabras vacunadas con Rev 1 a cualquier dosis, la campaña establece que no debe realizarse la prueba de tarjeta, hasta después de ocho meses post vacunación, ya que antes, esta prueba no es capaz de diferenciar entre anticuerpos vacúnales y de infección. Por lo cual se deben utilizar técnicas como la inmunodifusión radial (IDR) con hapteno nativo, que permite diferenciar a los animales vacunados de los infectados (Díaz et al., 1994).

Cuadro 1. Seroprevalencia de brucelosis en cuatro municipios de Tamaulipas, México

Municipio	**Casos positivos**	**Prevalencia (%)**
Tula	8	15.3
Burgos	6	11.5
Miquihuana	4	7.7
Bustamante	34	65.3

Problemas bacterianos en la producción caprina: paratuberculosis. Una de las principales enfermedades que afecta a los caprinos es la paratuberculosis (PTB) o enfermedad de Johne, ocasionada por *Mycobacterium avium* subespecie paratuberculosis (Map) que causa enteritis crónica, generando importantes pérdidas económicas en el ganado. En este estudio se evidencio que al analizar 479 sueros proveniente de los municipios de Miquihuana, Tula, Méndez y Burgos (266, 61, 80 y 72) respectivamente, todos fueron negativos para esta enfermedad. Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Hernández et al., en el 2017, donde reportan que no detectaron anticuerpos contra MAP en una población caprina de Aprisco Colombia. Con estos resultados, se puede predecir que la falta de anticuerpos detectables, se puede deber a que existen pocos anticuerpos o bien pudo deberse a los animales en etapas tempranas Esto sucede en las etapas tempranas de la infección puede pasar varios meses o años, antes de que el nivel de anticuerpos circulantes sea suficiente para desencadenar una reacción positiva, permaneciendo la respuesta humoral bajo el límite de detección de las pruebas serológicas actualmente disponibles.

Problemas parasitarios en la producción caprina: Neosporosis. Uno de los desafíos sanitarios que enfrentan las unidades de producción caprina son las enfermedades parasitarias, entre ellas la neosporosis, causada por el protozoario *Neospora caninum*. Esta enfermedad puede provocar abortos y fallas reproductivas, afectando significativamente la productividad del hato.

En el presente estudio se evaluaron 596 muestras de suero provenientes de caprinos de los municipios de Tula, Méndez, Burgos, Bustamante y Miquihuana, en el estado de Tamaulipas. Se detectó una seroprevalencia general de 3.35 % (21/596), lo que indica la presencia de anticuerpos contra *N. caninum* en los animales analizados (Cuadro 2). Al desglosar los resultados por municipio, la distribución de los casos positivos fue la siguiente:

Cuadro 2. Seroprevalencia de neosporosis en cinco municipios de Tamaulipas, México

Municipio	**Casos positivos**	**Prevalencia (%)**
Tula	2	9.52
Méndez	7	33.33
Burgos	8	38
Bustamante	1	4.76
Miquihuana	3	14.28

Estos resultados reflejan una variabilidad en la prevalencia entre municipios, lo cual podría estar relacionado con factores como el manejo sanitario, la densidad animal, y la presencia de hospederos definitivos como los caninos.

A nivel mundial, la seroprevalencia de *N. caninum* en caprinos es igualmente variable. Los hallazgos de este estudio son consistentes con reportes previos en otros países, como Brasil (3.27 %), Argentina (6.65 %) y México (3.85 %) (Faria et al., 2007; Moore et al., 2007; Huerta et al., 2011), lo que sugiere una circulación moderada del parásito en poblaciones caprinas.

Problemas virales en la producción caprina: Artritis Encefalitis Caprina. Se llevó a cabo un estudio serológico para determinar la prevalencia del lentivirus de Artritis Encefalitis Caprina (CAEV) en hatos caprinos del estado de Tamaulipas, México. Se analizaron un total de 531 muestras de suero provenientes de los municipios de Burgos, Méndez y Bustamante, obteniéndose un valor global de seroprevalencia de 5.83 %. Este resultado es semejante con investigaciones previas realizadas en la región (Álvarez et al., 2014), lo que sugiere una persistencia del virus en la población caprina local.

Al desglosar los datos por municipio, se observó una distribución desigual en la seropositividad: Burgos presentó el mayor porcentaje con 77.41 % de los casos positivos, seguido por Bustamante con 12.9 %, y Méndez con 9.67 %, prevalencia alta de casos en Burgos (Cuadro 3), lo cual podría estar relacionado con factores epidemiológicos locales, prácticas de manejo, introducción de sementales al hato, sin previo análisis o densidad poblacional caprina.

Cuadro 3. Seroprevalencia de artritis encefalitis caprina en cuatro municipios de Tamaulipas, México.

Municipio	**Casos positivos**	**Prevalencia (%)**
Burgos	24	77.4
Bustamante	4	12.9
Méndez	3	9.6

Conclusiones

La seropositividad frente a *Brucella* spp. mediante el antígeno RB fue del 4.91 %, lo que indica una presencia moderada de la enfermedad en la región. En cuanto a las pruebas inmunoenzimáticas, se detectó seropositividad de 3.52 % para *Neospora caninum* y de 5.83 % para el virus de la artritis encefalitis caprina (CAEV), evidenciando circulación activa de estos agentes en la población caprina evaluada.

Por otro lado, la detección serológica de *Mycobacterium avium* subespecie paratuberculosis resultó ausente, lo que sugiere que esta infección no está presente en el altiplano de Tamaulipas durante el periodo de estudio.

Estos hallazgos subrayan la importancia de continuar con estudios epidemiológicos en la región, con el fin de identificar los factores de riesgo asociados a estas enfermedades, mejorar las estrategias de prevención y fortalecer los programas de salud animal.

Referencias

Álvarez, O. M. G., López, P. M., Cantú, C. A., Díaz, A. E., & Palomares, R. E. G. (2014). *Detección de anticuerpos y genotipificación del virus de artritis encefalitis caprina en el noreste de México*. Reunión Nacional de Innovación Acuícola y Pesquera, p 31. México, Mérida, Yucatán.

Cantú, C. A., Álvarez, O. M. G., & Zapata Campos, C. C. (2015). *Situación epidemiológica de las Principales Enfermedades en cabras.* Zapata, C. C. C & Torres, R. M. L (Ed). *Avances en la producción de pequeños rumiantes en el noreste de Tamaulipas*. (pp. 55–75) Plaza y Valdes.

Efrén, D.A., Marín, C., Alonso, U. B., Aragón, M. V., Perez, O., Pardo, B. M., Ramón D. J. & Moriyón, I. (1994). *Evaluation of serological tests for diagnosis of Brucella melitensis infection of goats. Journal of Clinical Microbiology, 32*(5), 1159–1165. https://doi.org/10.1128/jcm.32.5.1159-1165.1994

Faria, E. B., Gennari, S. M., Pena, H. F. J., Athayde, A. C. R., Silva, M. L. C. R., & Azevedo, S. S. (2007*). Prevalence of anti-Toxoplasma gondii and anti-Neospora caninum antibodies in goats slaughtered in the public slaughterhouse of Patos city, Paraíba State, Northeast region of Brazil. Veterinary Parasitology, 149*(1-2), 126–129. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.07.009

Hernández, M., García, M., & Arturo, J. (2017). *Seroprevalencia de Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis en pequeños rumiantes de un aprisco de Antioquia, Colombia. Revista Ciencia Y Agricultura. 14*(2), 49–58 https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6070916.pdf

Huerta, P. J. C., Martinez, D. I., De, Á. E., & Flores, R. (2011). *Seroprevalence and risk factors associated with Neospora caninum in goats from municipalities of the tropical and subtropical agroecosystems*, *13*(13), 445–454.

Moore, D., Campero, C. M., Anselmo C. O., Posso A. M., Cano, D., Leunda, R. M., Basso, W., Venturini, M., & Späth, E. (2002). *Seroepidemiology of beef and dairy herds and fetal study of Neospora caninum in Argentina. Veterinary Parasitology*, *107*(4), 303–316. https://doi.org/10.1016/s0304-4017(02)00129-2.

Office International des Epizooties. (2004). Manual de la OIE sobre animales terrestres 2004 (Cap. 2.4.2, Brucelosis caprina y ovina [no debida a Brucella ovis], pp. 644–645). OIE.

Palomares, R. G., Aguilar, R. F., Flores P. C., Gómez, N. L., Gutiérrez, H. J., Herrera, L. E., Limón, G. M., Morales, Á. F., Pastor, L. F., & Díaz, A. E. (2021*). Enfermedades infecciosas de relevancia en la producción caprina, historia, retos y perspectivas. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *12*, 205–223. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5801.

Rodríguez, C. A. D., Montoya, C. C., Nájera R. H. D., Zaldivar, G. A., López, E. H., Rico, Ch. O., Álvarez, H. R., De, A., Díaz, A. E., & Cobos-M. L. (2024). *Retrospective seroepidemiological study of small ruminant lentivirus, paratuberculosis and brucellosis in goats from Mexico, based on multiplex assay*. *Austral Journal of Veterinary Sciences*, 59–66. https://doi.org/10.4206/ajvs.562.02

DETERMINACIÓN DE CARGA BACTERIANA EN NIEVE DE GARRAFA ELABORADA CON LECHE DE CABRA VS NIEVE COMERCIAL EN MATAMOROS, COAHUILA

Francisco J. Pastor-López[1]*, Luis M. Isidro-Requejo[1], Alfonso L. Muñoz-Benítez [2], Gabriela Palomares-Resendiz[3], Enrique Herrera-López[3], Mayra Y. Luna-Porres[4].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Blvd. José Santos Valdez No. 1200, Col. Centro, Matamoros, Coahuila. [2]Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo; [3] INIFAP, CENID, Salud Animal e Inocuidad, , Ctra. México - Toluca, Colonia Palo Alto, Ciudad de México, [4]Universidad Iberoamericana, Torreón, Coahuila. * Autor de correspondencia: pastor.francisco@inifap.gob.mx

Introducción

La Región Lagunera se distingue por aportar más del 50 % de la producción nacional de leche de cabra en México, principalmente bajo sistemas extensivos y semi-extensivos que se concentran en zonas marginadas. En 2023, la producción anual de leche de cabra en esta región alcanzó aproximadamente 59 millones de litros, generando ingresos por 335 millones de pesos (SAGARPA-SIAP, 2024).

No obstante, durante el proceso de ordeña, frecuentemente no se aplican Buenas Prácticas de Higiene, lo que favorece la proliferación de microorganismos patógenos como coliformes totales y fecales, *Escherichia coli*, *Salmonella spp*., *Staphylococcus aureus* y *Brucella melitensis*. Estos agentes pueden causar enfermedades transmitidas por alimentos, como la fiebre malta, entre otras patologías (Isidro-Requejo et al., 2024).

Según Araya et al. (2008), la leche de cabra, al igual que la de vaca, puede ser una fuente importante de microorganismos patógenos, ya sea por contaminación primaria, secundaria o terciaria. La presencia de estas bacterias no solo pone en riesgo la salud de los consumidores, también puede generar repercusiones económicas negativas para los productores (Isidro-Requejo et al., 2024). Morales et al. (2012) destacan el riesgo de consumir leche o derivados lácteos elaborados con leche cruda, por lo que resulta fundamental evaluar las condiciones de ordeña, transporte y procesamiento.

Frente a este riesgo, la Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010 establece la obligatoriedad de la pasteurización para reducir la carga microbiana permitida en la leche cruda y sus derivados. En este contexto, es relevante evaluar la inocuidad microbiológica de la nieve elaborada con leche de cabra y compararla con productos comercializados en el municipio. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo identificar las principales bacterias patógenas presentes en nieve que representan un riesgo para la salud del consumidor.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en el ejido Sacrificio de Matamoros, Coahuila, durante el mes de septiembre de 2024, en una granja caprina comercial cooperante, donde se colectaron 10 litros de leche de la ordeña de la mañana (se realizan dos ordeñas al día, mediante ordeña manual); las cabras son de raza Saanen y Alpina Francesa, las cuales se mantienen en confinamiento durante todo el año.

La leche se filtró y pasteurizó para elaborar la nieve de forma artesanal, lo cual se realizó el mismo día de la colecta. El muestreo inicio con una porción de 100 ml de leche filtrada antes de pasteurizar del tanque de almacenamiento y otra muestra posterior a la pasteurización, en ambos casos se usaron frascos con tapa de rosca estériles; la pasteurización se realizó como lo indica la NOM-243-SSA1-2010.

Así mismo, con el fin de comparar la carga bacteriana de la nieve, se adquirió un litro de nieve en una nevería en el centro de la ciudad de Matamoros y también se compró nieve a un vendedor ambulante (ambos de leche de vaca o derivados); productos que se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis en el laboratorio de Inocuidad Alimentaria del CELALA-INIFAP en Matamoros.

Los análisis bacteriológicos se realizaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010. Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. La identificación de *E. coli* y *Salmonella spp*. se basó en la Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994 y la Norma Oficial Mexicana NOM-114-SSA1-1994.

Resultados y discusión

El recuento de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL) de leche y nieve se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Recuento de coliformes en leche y nieve

	Coliformes totales	Coliformes fecales	Bacterias
Leche cruda	$27x10^3$	$25x10^3$	*E. coli*
Leche pasteurizada	Ausente	Ausente	Ausente
Nieve de vendedor ambulante	860	260	*E. coli*
Nieve de nevería	<1000	<1000	*E. coli*
Nieve del artesanal	Ausente	Ausente	Ausente
Leche cruda NOM-243-SSA1-2010	≤20 UFC/g	Ausente	Ausente
Nieve NOM-243-SSA1-2010	≤100 UFC/g	Ausente	Ausente

En la leche cruda se presentó carga bacteriana con coliformes totales (CT) 27x103, coliformes fecales (CF) 25x103 y se aisló *E. coli*, por lo que el recuento de UFC sobrepasa los valores límite marcados en la NOM-243-SSA1-2010. En este sentido, Morales et al. (2012) indican que un número elevado de CT constituye una evidencia del inadecuado manejo sanitario de la leche; mientras que para la presencia de CF indican que es común altos recuentos en granjas del sistema estabulado, como ocurrió en este trabajo. Por su parte Araya et al. (2008) reportaron 76% de las muestras de leche presentaron valores de CF por encima de lo estipulado, este tipo de bacterias indica contaminación directa con materia fecal.

En contraste a la leche cruda, en la leche pasteurizada no hubo carga bacteriana, por lo que en esta muestra se cumple los límites establecidos en la norma, lo que garantiza la inocuidad de este alimento.

En cuanto a la muestra de la nieve elaborada artesanalmente en el INIFAP, no hubo UFC de CT, CF, ni bacterias aisladas; en contraste, la nieve adquirida con el vendedor ambulante y la muestra de la nevería, exceden los límites de la NOM-243-SSA1-2010, lo que indica contaminación con microorganismos patógenos que comprometen la salud de los consumidores. En un estudio realizado en Sonora se muestreo nieve de vendedores ambulantes, algunas muestras excedieron lo indicado por la norma, ya que presentaron 23 a >1100 número más probable por gramo de CT, mientras en CF, hubo <3 a >1100 número más probable; cabe mencionar que en ese estudio no fueron detectadas las bacterias patógenas *E. coli*, *Salmonela spp*. y *S. aureus* (de la Cruz y Rivero, 2023). En el presente estudio no se aisló *Salmonella spp.* en leche, ni en la nieve del INIFAP, resultados similares a Araya et al. (2008) y Morales et al. (2012).

Conclusiones

Los resultados de los análisis bacteriológicos, muestran que la nieve artesanal elaborada en este trabajo cumple la norma oficial mexicana, siendo apta para consumo humano. En contraste los lácteos adquiridos en la nevería y con el vendedor ambulante, exceden los límites marcados en la norma, por lo que no son aptos para el consumo; debido a esto se recomienda capacitar a los negocios que elaboran nieve o helado en Buenas Prácticas de Manejo, con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos que comercializan.

Referencias

Araya, V., Gallo, L., Quesada, C., Chaves, C., Arias, M.L. (2008). Evaluación bacteriológica de la leche y queso de cabra distribuidos en el Área Metropolitana de San José, Costa Rica. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 58(2): 182-186. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222008000200010&lng=es&tlng=es

de la Cruz Paredes-Aguilar, M., & Rivero-Montes, L. K. (2023). Calidad microbiológica de alimentos que se venden al exterior de escuelas primarias. South Florida Journal of Development, 4(4), 1751-1757. https://ojs.southfloridapublishing.com/ojs/index.php/jdev/article/view/2576

Diario Oficial de la Federación, 2008. Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. https://dof.gob.mx/normasOficiales/4156/salud2a/salud2a.htm

Isidro-Requejo, L.M., Pastor-López, F.J., Maldonado-Jáquez, J.A., Figueroa-Viramontes, U., Salinas-Gonzalez, H. (2024) Microbiological quality of raw milk under a scheme of good milking and storage practices in a goat production system in the Lagunera Region, Mexico. Emirates Journal of Food and Agriculture 36: 1-7. https://doi.org/10.3897/ejfa.2024.121230

Morales-Pablo, R., Avalos de la Cruz, D.A., Leyva-Ruelas, G., Ybarra-Moncada, Ma.C. (2012). Calidad bacteriológica de leche cruda de cabra producida en Miravalles, Puebla. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 11(1):45-54. https://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v11n1/v11n1a4.pdf

MAÍCES NATIVOS vs. MAÍZ COMERCIAL: EVALUACIÓN *in situ* DE LA DEGRADABILIDAD DEL GRANO EN BOVINOS

Airam Guadalupe Ortega-Félix[1], Pablo Alfredo Domínguez-Martínez[2], Donaji Sierra-Zurita[2], María Denisse Montoya-Flores[3] y Rafael Jiménez-Ocampo[2]*

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Durango, Dgo. México. C.P. 34307. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Dgo. México. C.P. 34170. [3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, Ajuchitlán, Qro. México. C.P. 7280. *Autor de correspondencia: jimenez.rafael@inifap.gob.mx

Introducción

La degradabilidad ruminal del almidón del maíz es un factor importante del aporte de energía en raciones para rumiantes; sin embargo, no solo depende de la composición química del grano sino también de sus características físicas y del grado de procesamiento previo (Knowlton et al., 1998; Kang et al., 2021). Los maíces nativos de México son un recurso genético y agroalimentario fundamental; no obstante, su potencial aún está en exploración. En particular, existen pocas investigaciones que analicen de forma comparativa cómo se degradan sus granos en el rumen en comparación con los maíces comerciales, información clave para el sector primario del país (Perales & Golicher, 2014). Estudios previos demuestran que propiedades físicas del grano, como la vitreosidad, explican la forma en que se degrada el almidón en el ambiente ruminal (Philippeau et al., 1999; Ramos et al., 2009). También se sabe que el procesamiento del grano aumenta la fracción rápidamente soluble y acelera su fermentación (Kang et al., 2021; Kokić et al., 2022). Aun así, los estudios que comparen genotipos mexicanos, sin procesar el grano, son escasos. La ausencia de esta información impide entender si las diferencias en sus parámetros de degradación (fracción soluble y potencialmente soluble, y su tasa de degradación) se deben a la estructura física del grano o a su composición química. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar y comparar la degradabilidad ruminal de cuatro maíces (tres nativos y uno comercial) en bovinos, mediante el modelo clásico de Ørskov & McDonald (1979).

Materiales y métodos

El estudio se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) - Campo Experimental Valle del Guadiana. El sitio se encuentra en las coordenadas 23° 59’ 21” N, 104° 37’ 33” O y a 1 877 m de altitud.

Se utilizó el grano de tres maíces nativos (Cónico norteño, Elotes occidentales y Cristalino de Chihuahua) que se obtuvieron en la comunidad de Candelaria del Alto, en el municipio del Mezquital, Durango. De manera adicional se adquirió grano de maíz en Durango capital que, para fines del presente trabajo, se denominó Maíz común.

La prueba de degradabilidad *in situ* se realizó en dos bovinos machos con fístula ruminal, alimentados en condiciones de pastoreo durante el estudio. Se empleó la metodología propuesta por Rosado-Rivas y Ayala-Burgos (2001) para la incubación de las muestras (5 g) correspondientes a cada maíz, en duplicado por animal, durante 0, 12, 24, 48 y 72 horas. Los parámetros de degradación *in situ* se estimaron según el modelo de Ørskov y McDonald (1979) modificado por McDonald (1981).

$$d = a + b\left(1 - e^{-kd*t}\right)$$

En donde: *d* = degradabilidad en el tiempo *t*, *t* = tiempo de incubación, *a* = fracción soluble, *b* = fracción potencialmente soluble y *kd* = constante de degradación de la fracción *b*. También se calculó la degradabilidad efectiva de la siguiente manera:

$$DE = a + \left(\frac{b * kd}{kd + kp}\right)$$

En donde: *DE* = degradabilidad efectiva y *kp* = constante de la tasa ruminal de pasaje (5 % h^{-1}).

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones para el análisis de varianza de los parámetros de degradación *in situ* y la degradabilidad efectiva. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey (α = 0.05). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Sigma Plot 15 (Systat Software Inc. San Jose, CA, EUA).

Resultados y discusión

El grano de los maíces evaluados mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en las fracciones *a* y *b* de la degradación *in situ*. Por el contrario, la constante de degradación (*kd*) de la fracción *b* y la degradabilidad efectiva registraron similitud entre los maíces (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fracción soluble (a, %), fracción potencialmente soluble (b, %), constante de degradación de la fracción "*b*" (*kd*, h^{-1}) y degradabilidad efectiva (*DE*, %) de cuatro maíces incubados in situ durante 0, 12, 24, 48 y 72 horas.

Maíz	*a*	*b*	*kd*	*DE*
Cónico norteño	$11.6^{a} \pm 1.30$	$88.4^{ab} \pm 1.30$	0.01 ± 0.004	27.2 ± 4.03
Elotes occidentales	$15.2^{a} \pm 0.72$	$84.8^{ab} \pm 0.72$	0.02 ± 0.003	41.6 ± 2.24
Maíz común	$7.3^{b} \pm 0.68$	$95.1^{a} \pm 1.86$	0.01 ± 0.003	26.8 ± 3.59
Cristalino de Chihuahua	$14.1^{a} \pm 0.52$	$81.0^{b} \pm 4.95$	0.01 ± 0.007	31.2 ± 4.76

[a,b] Literales desiguales por columna denotan diferencias significativas entre los valores (Tukey; α = 0.05). Los valores que se presentan son el promedio de cuatro observaciones con su respectivo error estándar.

La fracción rápidamente soluble del Maíz común fue 37 a 51 % menor en comparación con el resto de los materiales. En contraste, la porción potencialmente soluble del Maíz común fue 14 % mayor en comparación con el grano del maíz Cristalino de Chihuahua. Este patrón (baja fracción *a* / alta fracción *b*) es consistente con la literatura que vincula mayor vitreosidad del endospermo con menor disponibilidad inicial del almidón para los microorganismos ruminales. Se ha demostrado que la degradabilidad ruminal del almidón es mayor en maíces dentados (~61.9 %) que en maíces vitreos (~46.2 %), y que la vitreosidad explica gran parte de la variación en la degradabilidad (Philippeau et al., 1999). La menor fracción *a* que se observa en el Maíz común sugiere que, en comparación con los maíces nativos, tiene mayor proporción de endospermo vitreo o una testa más dura que limita el acceso inicial de los microorganismos ruminales (Philippeau et al., 1999; Ramos et al., 2009).

La *kd* de la fracción *b* fue baja y no difirió entre los genotipos; esto indica que la velocidad de hidrólisis de la fracción potencialmente degradable es similar entre los materiales evaluados. Este resultado coincide con trabajos que demuestran que la mayor variación entre granos enteros está en la fracción *a*; mientras que la constante de degradación registra valores más homogéneos entre genotipos (Phillippeau et al., 1999; Kang et al., 2021).

Los efectos del procesamiento del grano (molido, rolado, gelatinización) demuestran que la reducción del tamaño de partícula y la modificación física del endospermo aumentan la fracción *a*, la *kd* y en consecuencia la *DE*. Por el contrario, granos enteros o poco procesados presentan *kd* y *DE* reducidas (Knowlton et al., 1998; Kang et al., 2021). La mayor *DE* en Elotes occidentales se debe a su alta fracción *a* (15.2 %), que facilita la degradación ruminal; en cambio, el Maíz común, con menor fracción *a* y mayor fracción *b*, protege más almidón en el rumen y muestra menor *DE* con igual constante de degradación.

Conclusiones

Los maíces evaluados presentaron diferencias significativas en las fracciones *a* y *b* de la degradación *in situ*. El Maíz común registró la fracción rápidamente soluble más baja (7.3 %) y la fracción potencialmente degradable más alta (95.1 %). En contraparte, Elotes occidentales tuvo la más alta fracción *a* (15.2 %). La *kd* y *DE* fueron similares entre los genotipos, lo que sugiere que la variación en los materiales se debe a la disponibilidad inicial del almidón (fracción *a*). Lo anterior, se relaciona con mayor vitreosidad o una testa resistente en el Maíz común, más que con diferencias en la velocidad de hidrólisis de la fracción *b*. Procesos como el molido podrían incrementar la fracción *a* y la *DE* en genotipos con solubilidad instantánea reducida.

Referencias

Kang, H., Lee, M., Jeon, S., Lee, S. M., Lee, J. H., & Seo, S. (2021). Effect of flaking on the digestibility of corn in ruminants. *Journal of Animal Science and Technology*, *63*(5), 1018–1033. https://doi.org/10.5187/jast.2021.e91

Knowlton, K. F., Glenn, B. P., & Erdman, R. A. (1998). Performance, ruminal fermentation, and site of starch digestion in early lactation cows fed corn grain harvested and processed differently. *Journal of Dairy Science*, *81*(7), 1972–1984. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75771-6

Kokić, B., Dokić, L., Pezo, L., Jovanović, R., Spasevski, N., Kojić, J., & Hadnađev, M. (2022). Physicochemical changes of heat-treated corn grain used in ruminant nutrition. *Animals, 12*(17), 2234. https://doi.org/10.3390/ani12172234

McDonald, I. (1981). SHORT NOTE: A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *The Journal of Agricultural Science, 96*(1), 251–252. https://doi.org/10.1017/S0021859600032081

Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science, 92*(2), 499–503. https://doi.org/10.1017/S0021859600063048

Perales, H., & Golicher, D. (2014). Mapping the diversity of maize races in Mexico. *PLoS ONE, 9*(12), e114657. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114657

Philippeau, C., Le Deschault de Monredon, F., & Michalet-Doréau, B. (1999). Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. *Journal of Animal Science*, *77*(1), 238–243. https://doi.org/10.2527/1999.771238x

Ramos, B. M. O., Champion, M., Poncet, C., Mizubuti, I. Y., & Nozière, P. (2009). Effects of vitreousness and particle size of maize grain on ruminal and intestinal in sacco degradation of dry matter, starch and nitrogen. *Animal Feed Science and Technology*, *148*(2–4), 253–266. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.04.005

Rosado-Rivas, C. M., & Ayala-Burgos, A. J. (2001). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Técnica de Degradación Ruminal *in situ*. Universidad Autónoma de Yucatán. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16008.37128

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO (2010-2025) - INTERACCIÓN CALOSTRO - MICROBIOTA EN BECERRAS Y SU IMPACTO EN LA SALUD NEONATAL, CRECIMIENTO Y MADURACIÓN PUBERAL

Karla Quetzalli Ramirez-Uranga[1]*, Blanca I. Sánchez-Toledano[2], César A. Meza-Herrera[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo 35230, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Calera, Zacatecas, México. *Autor de correspondencia: kramirezu@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La industria lechera se ha consolidado como una actividad estratégica de los sistemas agroalimentarios contemporáneos, no únicamente por su aporte nutricional, sino también por la profunda derrama económica que genera (Priyashantha, 2025; FAO, 2022). Al respecto, la Comarca Lagunera, región agroecologica del norte de México, destaca como uno de los principales clústeres de producción de leche bovina a nivel continental, concentran más de 500,000 vacas Holstein en sistemas intensivos, tecnificados y modernos, que generan más de 3,000 millones de litros de leche anuales con un valor estimado de 1,420 millones de dólares, en estrecha vinculación con una estructura de industrialización láctea con proyección nacional e internacional (Navarrete-Molina et al., 2019; Navarrete-Molina et al., 2024).

Un sistema de crianza artificial exitoso es fundamental para la sostenibilidad económica y productiva del sistema industrial del bovino lechero (Ram et al., 2020). Al basarse en la separación temprana de la madre, la calidad del calostro es un factor clave ya que define la transferencia de inmunidad y la viabilidad productiva a largo plazo (Lombard et al., 2020). El calostro es la primera secreción posparto y se caracteriza por poseer una alta concentración de inmunoglobulinas, principalmente IgG1, así como lactoferrina, lisozima, leucocitos, vitaminas liposolubles, minerales y factores de crecimiento (IGF-I & IGF-II), cuya ingestión en las primeras horas de vida es clave para establecer una inmunidad pasiva, reducir la incidencia de enfermedades neonatales y favorecer el crecimiento (Godden et al., 2019; Lopez & Heinrichs, 2022).

En consecuencia, la ingesta temprana y adecuada de calostro de alta calidad se ha identificado como condición indispensable para la salud y supervivencia de los recién nacidos (McGuirk & Collins, 2004).Además de la inmunidad pasiva, el calostro también se vincula estrechamente con la colonización inicial del tracto gastrointestinal, dado origen a la microbiota gastrointestinal (Puppel et al., 2020; Malmuthuge et al., 2015), fundamental en la ontogénesis del sistema inmune ya que estimula la diferenciación de linfocitos, la expansión de antígenos celulares, y el establecimiento de rutas de señalización que integran la respuesta inmunitaria con la homeostasis intestinal y el crecimiento del hospedero (Amin & Seifert, 2021).

En la etapa temprana posnatal, una microbiota equilibrada es central en la regulación del eje endocrino reproductivo al modular hormonas clave como leptina, IGF-1, estrógeno y progesterona, esenciales para la maduración sexual (Amin & Seifert, 2021; Fantuz et al., 2024; Khan et al., 2024). Por ello, la interacción calostro-microbiota no se restringe solamente a la supervivencia neonatal, sino que se proyecta hacia etapas críticas del desarrollo, influyendo en la edad al primer parto y en la eficiencia reproductiva-productiva de los hatos lecheros (Fantuz et al., 2024; Ault-Seay et al., 2022; Quereda et al., 2020).

Por lo anterior, es fundamental organizar y sistematizar información disponible que aborden dichos procesos para obtener una visión integral de su dinámica temporal. Bajo esta perspectiva, comprender el estado del arte en un campo específico es esencial para reconocer vacíos de información bibliográfica, identificar dinámicas emergentes y fundamentar proyectos científicos con mayor pertinencia; éste enfoque define trayectorias cronológicas e interrelaciones que facilita la formulación de hipótesis y líneas de investigación más sólidas (Oliveira, 2024). Sin duda, los análisis bibliométricos, concebidos como el análisis cuantitativo de la producción científica y sus metadatos (v.g., palabras clave, citas, resúmenes), constituyen una herramienta clave ya que permite identificar patrones de investigación, dinámicas emergentes y redes de colaboración (Michán & Muñoz-Velasco, 2013; Passas, 2024; Manterola et al., 2024). El objetivo del presente estudio fue analizar la producción científica publicada en librerías de metadatos electrónicas respecto a la interacción calostro-microbiota en becerras y su impacto en la salud neonatal, el crecimiento y la maduración puberal durante el periodo 2010-2025.

Materiales y métodos

El análisis bibliométrico consideró la metodología propuesta por Michán y Muñoz-Velasco (2013) y consideró las siguientes etapas:

Recuperación de información y estrategia de búsqueda: Se diseñó una búsqueda sistemática en Scopus, ScienceDirect y Google Scholar, orientada a estudios en becerras que abordaran la calidad del calostro, la modulación de la microbiota intestinal, la salud neonatal, el crecimiento y la maduración puberal. Se consideraron artículos científicos y de revisión publicados entre 2010 y 2025. Se emplearon operadores booleanos, destacando: (“colostrum quality” OR “passive immunity” OR “IgG”) AND (“gut microbiota” OR “intestinal microbiota”) AND (“puberty onset” OR “dairy calves”).

Criterios de inclusión y exclusión: Posteriormente, se aplicaron criterios de selección para la depuración de registros. Únicamente se consideraron artículos en inglés que trataran de manera directa el tema de investigación la producción animal o medicina veterinaria, y que involucraran las palabras clave utilizadas en la estrategia de búsqueda (Kumar et al., 2024).

Migración y depuración: Los registros obtenidos se exportaron en formato .RIS (Research Information Systems Incorporated) y se conformó una base única. Durante la depuración se eliminaron duplicados, se corrigieron inconsistencias y se unificaron los datos para garantizar la coherencia del análisis.

Análisis bibliométrico: La base depurada se procesó con el software VOSviewer 1.6.20 (Universidad de Leiden, Países Bajos), especializado en la construcción y visualización de redes bibliométricas. Se generaron mapas de coocurrencia de palabras clave, coautoría y cocitación de referencias, con el fin de identificar clústeres temáticos, patrones de colaboración y la estructura intelectual del campo. El análisis descriptivo se complementó con Microsoft Excel, empleado para la sistematización y visualización de la información relativa a la frecuencia y evolución temporal de las publicaciones.

Visualización e Interpretación: Se realizó la construcción de mapas de redes y gráficos descriptivos para identificar clústeres temáticos, niveles de colaboración y tendencia temporales en la producción científica (Van Eck & Waltman, 2010). Las representaciones generadas fueron la base para la interpretación; la contextualización de las tendencias globales ofreció una visión integrada de los patrones identificados en el análisis bibliométrico (Lim & Kumar, 2024).

Resultados y Discusión

Producción Científica (2010-2025). En total, entre 2010 y 2025 se identificaron 173 publicaciones relacionadas con el tema de estudio (calostro, microbiota y pubertad) (Figura 1). En los primeros años (2010-2014) el número de trabajos fue reducido (≤2 por año), lo que reflejó el carácter incipiente del área. Este patrón coincide con lo señalado en otras revisiones, que documentan cómo la investigación en salud neonatal y microbiota en becerras se consolidó principalmente en la última década (Davies *et al.,* 2022; Cardoso *et al.,* 2021). A partir de 2015 inició un crecimiento sostenido, con un punto de inflexión entre 2019 y 2021, donde se cuantificaron hasta 25 documentos anuales. El máximo histórico ocurrió en 2024 con 37 publicaciones, lo que confirmó la expansión reciente del campo. Resultados similares fueron observados en estudios recientes que destacaron la importancia del calostro en la programación temprana de la salud y el crecimiento de las becerras (Silva *et al.,* 2024; Duan *et al.,* 2024). Estos autores señalaron que el calostro no solo es esencial para la transferencia de inmunidad pasiva, sino también para la modulación inicial del microbiota intestinal y la maduración de los sistemas digestivo y reproductivo.

El análisis de la serie completa mostró una media anual de 11.5 ± 10.8 publicaciones, lo que evidenció un comportamiento irregular en la primera etapa y un marcado ascenso a partir de 2015, con más del 75% de los documentos concentrados entre 2019 y 2024. Dentro de esta trayectoria destacaron los aportes de Hang et al. (2020), quienes analizaron el papel de la microbiota del calostro en el establecimiento intestinal temprano; Kim et al. (2025), documentaron la maduración progresiva del microbioma desde el nacimiento hasta la pubertad; y van Niekerk et al. (2021), vincularon la nutrición inicial con la transición hacia la pubertad, aportando evidencia directa de su impacto en la productividad futura.

Figura 1. Producción científica anual en el periodo 2010-2025.

En el Cuadro 1 se observa una marcada asimetría en la distribución de registros entre bases de datos; Google Scholar aportó la mayoría de coincidencias, seguido de ScienceDirect y Scopus. Esta diferencia reflejó la amplia cobertura de Google Scholar, que prioriza cantidad, frente a la selectividad de ScienceDirect y Scopus, centradas en revistas con mayor arbitraje. Mientras que la primera ofrece una recuperación exhaustiva, las otras muestran una depuración por calidad. La mayoría de los estudios se concentraron en sistemas intensivos y en climas templados, con escasa atención a ambientes áridos. Esta focalización restringe la extrapolación de los hallazgos y subraya la necesidad de generar evidencia en regiones como la Comarca Lagunera, donde la producción lechera se desarrolla en condiciones áridas y, al mismo tiempo, constituye un motor económico estratégico.

Cuadro 1. Coincidencias obtenidas en las bases de datos consultadas (2010-2025).

Base de datos	Coincidencias
Google Scholar	95
ScienceDirect	55
Scopus	23
Total	173

Con respecto a la distribución geográfica de la producción científica, se observó un claro liderazgo de China y Estados Unidos, seguidos de Canadá y Reino Unido. Este patrón no es fortuito: responde a la capacidad instalada de investigación y financiamiento, factores que históricamente han condicionado la generación de conocimiento.

Mapas de Visualización de Red

Mapa de clústeres temáticos de la coocurrencia de palabras clave. El mapa de coocurrencia de palabras clave (Figura 2) identificó 205 términos; de éstos,162 cumplieron con el criterio de ocurrencia mínima de dos apariciones, agrupándose en cinco clústeres. El primero integró conceptos como “colostrum”, “early weaning” y “dry matter intake”, y representó un eje centrado en la nutrición animal, y el desempeño productivo-ambiental. El segundo reunió “microbial community”, “lactobacillus” y “16S rRNA gene”, vinculado estudios experimentales y moleculares en microbioma bovino. El tercero agrupó términos “calf”, “dairy cattle” e “intestinal microflora”, reflejando una línea emergente en fisiología, inmunidad y desarrollo digestivo. El cuarto incorporó “feeding”, “immunity” y “androgen”, orientado a la interacción entre nutrición, sistema inmune y endocrinología reproductiva. Finalmente, el quinto incluyó “digestive system”, “body weight gain” y “lipid storage”, asociado a fisiología digestiva, crecimiento y metabolismo energético. En conjunto, estos clústeres confirmaron la naturaleza interdisciplinaria del campo, integrando nutrición, microbiología, fisiología y reproducción bovina. No obstante, la escasa densidad de vínculos que conecten de manera simultánea la calidad del calostro, la modulación de la microbiota y la pubertad revela un nicho temático poco integrado**,** cuya exploración sistemática permitiría robustecer la comprensión de estos procesos en el mediano plazo.

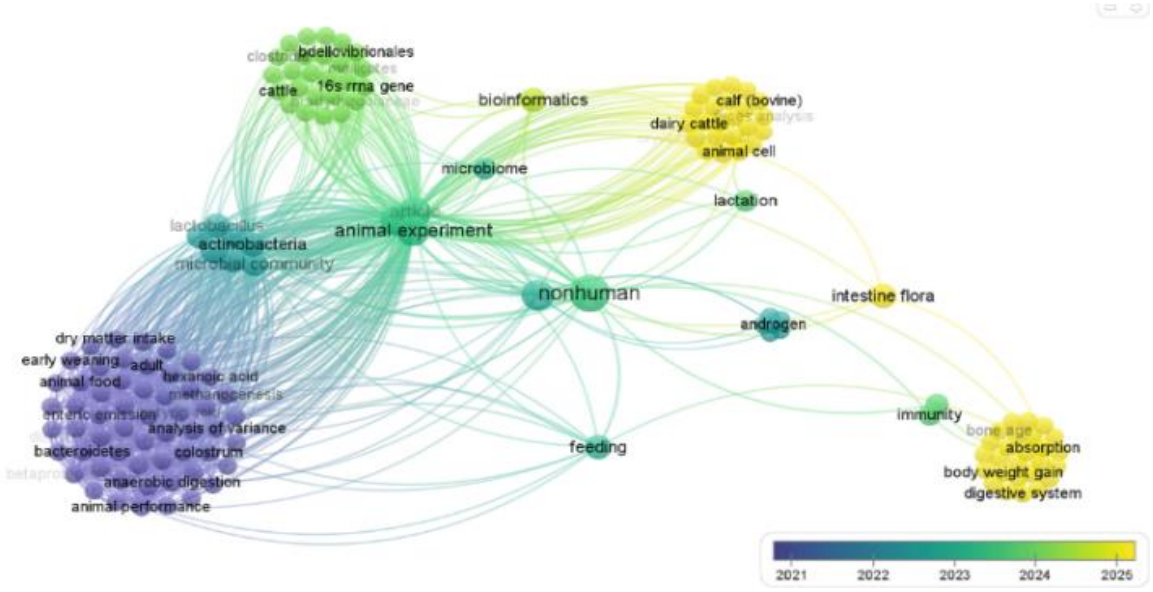


Figura 2. Mapa de clústeres temáticos de la coocurrencia de palabras clave en la literatura. Los colores indican distintos clústeres temáticos y el gradiente muestra el año de publicación.

Mapa de coautoría y cocitación de referencias: El análisis de coautoría (Figura 3) mostró la configuración de las redes de colaboración generadas en 2010-2025. Se identificaron varios clústers de investigadores, destacando tres núcleos: El liderado por Ma, J., mostrando vínculos estrechos con Sun, X., Liao, J. y Zhang, L., reflejando un trabajo colaborativo consolidado. El segundo liderado por Wang, Y., en interacción con Cong, J., Rao, S. y Xu, Z., y el tercero lo encabezó Chen, X., con investigadores como Yao, J., Wu, S. y Zhu, Y. Dicho escenarios destacaron núcleos cohesionados y formación de redes emergentes en años recientes. Ambos esquemas conformaron nodos de alta centralidad en la red de conocimiento sobre calostro, microbiota intestinal y desarrollo fisiológico de becerras. La concentración en instituciones asiáticas, en especial chinas, apoya un liderazgo regional en ciencia animal, documentado en análisis bibliométricos y de editoriales de Asia-Pacífico (Ha, 2023). Sin embargo, la escasa representación latinoamericana y europea reveló un panorama fragmentado que plantea el reto, y a la vez la oportunidad de fortalecer la proyección global del campo.

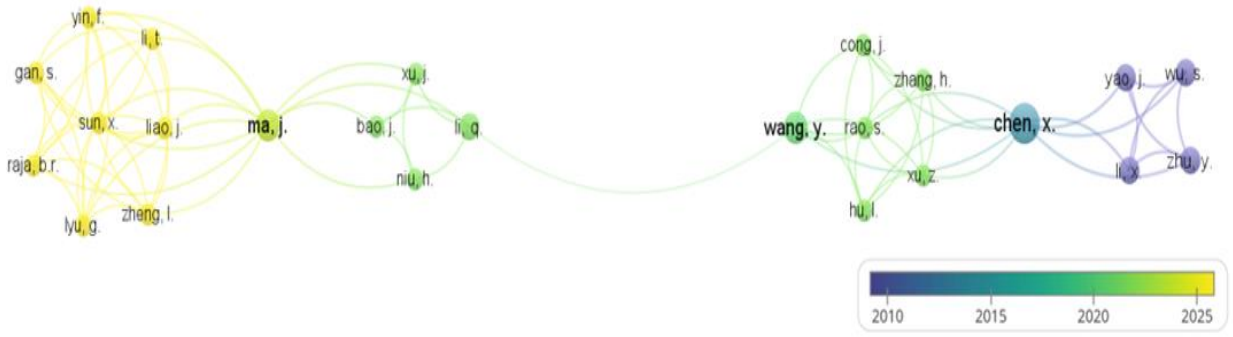


Figura 3. Mapa de clústeres de coautoría y cocitación de referencias. Los colores distinguen agrupaciones de autores y el gradiente muestra el año de publicación.

Conclusiones

El análisis bibliométrico (2010-2025) evidenció 173 publicaciones, con incrementos sostenidos a partir de 2015 y un máximo en 2024. La escasa conexión entre calostro, microbiota y pubertad subraya un vacío crítico de investigación. Su abordaje en entornos áridos permitirá avanzar hacia un fortalecimiento reproductivo y un aprovechamiento más eficiente de los sistemas lecheros.

Referencias

Amin, N., & Seifert, J. (2021). Dynamic progression of the calf's microbiome and its influence on host health. *Computational and Structural Biotechnology Journal, 19*, 989-1001.

Ault-Seay, T. B., Brandt, K. J., Henniger, M. T., Payton, R. R., Mathew, D. J., Moorey, S. E., Schrick, F. N., Pohler, K. G., Smith, T. P. L., Rhinehart, J. D., Schneider, L. G., McLean, K. J., & Myer, P. R. (2022). Bacterial communities of the uterus and rumen during heifer development with protein supplementation. *Frontiers in Animal Science, 3*, 903909.

Cardoso, C. L., King, A., Chapwanya, A., & Esposito, G. (2021). Ante-natal and post-natal influences on neonatal immunity, growth and puberty of calves: A review. *Animals, 11*(5), 1212.

Davies, S. J., Esposito, G., Villot, C., Chevaux, E., & Raffrenato, E. (2022). An evaluation of nutritional and therapeutic factors affecting pre-weaned calf health and welfare, and direct-fed microbials as a potential alternative for promoting performance: A review. *Dairy, 3*(3), 648-667.

Duan, H., Sun, Q., Chen, C., Wang, R., & Yan, W. (2024). The effect of bovine colostrum on immunity in people of all ages: A review. *Nutrients, 16*(13), 2007.

Fantuz, F., Fatica, A., Salimei, E., Marcantoni, F., & Todini, L. (2024). Nutrition, growth, and age at puberty in heifers. *Animals, 14*(19), 2801.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *Dairy market review: Emerging trends and outlook 2022*. FAO.

Godden, S. M., Lombard, J. E., & Woolums, A. R. (2019). Colostrum management for dairy calves. *Journal of Dairy Science, 102*(7), 5813-5830.

Ha, J. K. (2023). Leadership of AAAP scientists and journals in animal science: Achievements, limitations, and challenges. *Animal Bioscience, 36*(1), 1-9.

Hang, B. P. T., Wredle, E., & Dicksved, J. (2020). Analysis of the developing gut microbiota in young dairy calves: Impact of colostrum microbiota and gut disturbances. *Tropical Animal Health and Production, 53*(1), 50.

Khan, I., Nassar, N., Chang, H., Khan, S., Cheng, M., Wang, Z., & Xiang, X. (2024). The microbiota: A key regulator of health, productivity, and reproductive success in mammals. *Frontiers in Microbiology, 15*, 1480811.

Kim, H. S., Lee, J. Y., Whon, T. W., & Bae, J. W. (2025). Assembly and maturation of calf gut microbiome from neonate to post-puberty. *Scientific Data, 12*, 376.

Kumar, M., Kumari, S., Guntipally, S. S., Chhabra, A., Kumar, A., & Kumar, P. (2024). A step-by-step guide of bibliometric study for healthcare and allied research. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences, 16*(Suppl 4), S4114-S4116.

Lim, W. M., & Kumar, S. (2024). Guidelines for interpreting the results of bibliometric analysis: A sensemaking approach. *Global Business and Organizational Excellence, 43*(2), 17-26.

Lombard, J. E., Urie, N. J., Garry, F. B., Godden, S. M., Quigley, J. D., Earleywine, T. J., McGuirk, S. M., Moore, D. A., Branan, M. A., Chamorro, M. F., Smith, G. W., Shivley, C. B., Catherman, D. R., Haines, D. M., Heinrichs, A. J., James, R. E., Maas, J., Sterner, K. E., & Paiva, D. (2020). Consensus recommendations on calf- and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. *Journal of Dairy Science, 103*(8), 7611-7624.

Lopez, A. J., & Heinrichs, A. J. (2022). Invited review: The importance of colostrum in the newborn dairy calf. *Journal of Dairy Science, 105*(4), 2733-2749.

Malmuthuge, N., Chen, Y., Liang, G., Goonewardene, L. A., & Guan, L. L. (2015). Heat-treated colostrum feeding promotes beneficial bacteria colonization in the small intestine of neonatal calves. *Journal of Dairy Science, 98*(11), 8044-8053.

Manterola, C. D., Rivadeneira, J. D., & Salgado, C. C. (2024). Estudios bibliométricos: Una opción para desarrollar investigación en cirugía y disciplinas afines. *Revista de Cirugía, 76*(2), 147-156.

McGuirk, S. M., & Collins, M. (2004). Managing the production, storage, and delivery of colostrum. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 20*(3), 593-603.

Michán, L., & Muñoz-Velasco, I. (2013). Cienciometría para ciencias médicas: Definiciones, aplicaciones y perspectivas. *Investigación en Educación Médica, 2*(6), 104–110.

Navarrete-Molina, C., Rivas-Jacobo, M. A., Meza-Herrera, C. A., & González-Bulnes, A. (2024). Circular economy, dairy cow feed leftovers, and *Withania somnifera* supplementation: Implications for reproductive outcomes in small ruminants. *Biology, 13*(7), 587.

Navarrete-Molina, C., Meza-Herrera, C. A., Ramirez-Flores, J. J., Herrera-Machuca, M. A., Lopez-Villalobos, N., Lopez-Santiago, M. A., & Veliz-Deras, F. G. (2019). Economic evaluation of the environmental impact of a dairy cattle intensive production cluster under arid lands conditions. *Animal, 13*(10), 2379–2387.

Oliveira, O. J. (2024). *Bibliometrics: An essential methodological tool for research projects*. IntechOpen.

Passas, I. (2024). Bibliometric analysis: The main steps. *Encyclopedia, 4*(2), 1014–1025.

Priyashantha, H. (2025). World dairy system sustainability: A milk quality perspective. *Frontiers in Sustainable Resource Management, 4*, 1572962.

Puppel, K., Gołębiewski, M., Konopka, K., Kunowska-Slósarz, M., Slósarz, J., Grodkowski, G., Przysucha, T., Balcerak, M., Madras-Majewska, B., & Sakowski, T. (2020). Relationship between the quality of colostrum and the formation of microflora in the digestive tract of calves. *Animals, 10*(8), 1293.

Quereda, J. J., García-Roselló, E., Barba, M., Mocé, M. L., Gomis, J., Gómez-Martín, Á., & Rodellar, C. (2020). Vaginal microbiota changes during the estrous cycle in dairy heifers. *Frontiers in Veterinary Science, 7*, 371.

Ram, P. K., Singh, S. K., Srivastava, A., Kumar, G., Jaiswal, A. K., Yadav, B., & Garg, S. K. (2020). Effects of injectable trace minerals (ITMs) on Th1/Th2 cytokine balance of newborn calves with tropical theileriosis. *Biological Trace Element Research, 195*(1), 307-316.

Silva, F. G., Silva, S. R., Pereira, A. M. F., Cerqueira, J. L., & Conceição, C. (2024). A comprehensive review of bovine colostrum components and selected aspects regarding their impact on neonatal calf physiology. *Animals, 14*(7), 1130.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics, 84*(2), 523-538.

van Niekerk, J. K., Fischer-Tlustos, A. J., Wilms, J. N., Hare, K. S., Welboren, A. C., Lopez, A. J., Yohe, T. T., Cangiano, L. R., Leal, L. N., & Steele, M. A. (2021). ADSA Foundation Scholar Award: New frontiers in calf and heifer nutrition: From conception to puberty. *Journal of Dairy Science, 104*(8), 8341-8362.

CUANTIFICACION DE CELULAS SOMÁTICAS EN LECHE DE VACA HOLSTEIN FRIESIAN SUPLEMENTADAS CON VITAMINA C Y E

José Luis Ortega-Sanchez[1], Aurora Martínez-Romero[2]*, Mariel De Hoyos-Ramirez[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México. [2]Facultad de Ciencias Químicas Unidad Gómez Palacio. Universidad Juárez del Estado de Durango. *Autor de correspondencia: joeortega899@gmail.com

Introducción

En México, la producción de leche de bovino, es una de las ramas de la ganadería de mayor importancia, ya que no solo se le confiere de un alto valor por el tipo de alimento que aporta, sino que juega un papel fundamental dentro de la economía del sector primario e industrial. Además de presentar el mayor potencial de expansión a fin de sustituir el importante componente de abasto procedente del exterior (Quevedo- Winston 2018). La mastitis, definida como la inflamación de la glándula mamaria, se debe a varios factores. Los agentes infecciosos pueden ser virus, micoplasmas u hongos, pero la mayoría son bacterias. El daño tisular causado por el proceso inflamatorio puede persistir mucho tiempo después de la eliminación de la infección causada por el patógeno (Merin 2024). El inicio y la propagación de la respuesta inflamatoria inmunovascular están mediadas por mediadores moleculares, de los cuales se ha demostrado que los mediadores lipídicos desempeñan un papel importante en el ganado lechero (Seroussi 2018). La mastitis puede ser clínica o subclínica, dependiendo del tipo y presentación de los síntomas. La mastitis clínica se detecta visualmente, mientras que la mastitis subclínica solo puede diagnosticarse específicamente mediante medidas como el recuento de células somáticas (RCS), la prueba de mastitis de California (CMT) y/o pruebas bacteriológicas. El tratamiento de la mastitis clínica es obligatorio debido a las normas de bienestar animal. Por lo tanto, el control de la mastitis clínica durante la lactancia incluye la administración de antibióticos o antiinflamatorios no esteroideos. Sin embargo, el tratamiento antibiótico de la mastitis no es completamente eficaz contra los patógenos ambientales. Además, durante el tratamiento, se descarta leche debido a la presencia de leche anormal y residuos de antibióticos, lo que aumenta considerablemente las pérdidas económicas (Leitner 2018). Por lo tanto, es necesario desarrollar nuevos enfoques para el tratamiento de la mastitis subclínica, como lo reflejan los estudios destinados a disminuir el uso de antibióticos en la producción lechera. Actualmente, una herramienta útil es el RCS, como indicador en la resistencia de la mastitis bovina. Las células somáticas son, entre otras, células blancas propias del organismo que le sirven como defensa a la glándula mamaria de la vaca contra agentes bacterianos. La determinación del contenido de células somáticas de la leche del tanque, o de los cuartos de la glándula mamaria de las vacas, es el medio auxiliar de diagnóstico más importante para juzgar el estado de salud de la ubre de un hato. Con los resultados de las células somáticas se corrobora la calidad de la leche, lo que le garantiza a la población consumir productos de buena calidad y de buena presentación, y al ganadero obtener una mayor producción al tener su hato sano y, por lo tanto, mayores ingresos por venta de la leche. La determinación del contenido de RCS de la leche del tanque, o de los cuartos de la glándula mamaria de las vacas, es el medio auxiliar de diagnóstico más importante para juzgar el estado de salud de la ubre de un hato. De igual manera una de las estrategias para reducir el RCS es la aplicación de vitaminas C y E, sin embargo, la información es escasa. El objetivo de la presente investigación fue cuantificar el número de células somáticas en leche de vacas Holstein Friesian suplementadas con vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina E (α-tocoferol).

Materiales y métodos

Investigación transversal, analítica, comparativa y observacional. La presente investigación inicio en la Unidad de Producción de Bovinos Lecheros “18 de Julio”, propiedad de la Universidad Autónoma Chapingo. La unidad de producción está ubicada en Tlahualilo, Durango, con coordenadas 25° 54´08” N y 103° 35´07” y a una altitud de 1, 137 msnm, el clima de la región es cálido- seco BW, la temperatura media anual es de 21.2°C y la precipitación pluvial es de 239 mm anuales y en los laboratorios del Centro de Investigación de la Universidad Autónoma Chapingo, durante el periodo de agosto del 2020 a julio del 2022. A partir del universo que concierne a todos los bovinos raza Holstein de la Región de La Comarca Lagunera, se seleccionó por casuística a una población de 50 vacas Holstein no gestantes y con más de 60 días en producción láctea, de la Unidad de Producción de Bovinos Lecheros “18 de Julio”, propiedad de la Universidad Autónoma Chapingo.

La norma mexicana que establece el procedimiento para el recuento de células somáticas en leche de bovino es la PROY-NMX-F-706-COFOCALEC-2019. Esta norma utiliza la citometría de flujo para el RCS, tanto en leche cruda de vacas individuales o de tanque, como en leche conservada químicamente y en leche cruda de cabra, así como para la evaluación de la calidad de la leche y la detección de mastitis. El tratamiento fue cuantificar el número de células somáticas en leche suplementadas con vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina E (α-tocoferol) en vacas Holstein. Para la producción de leche se consideraron dos grupos uno que era ≤ 40 L y el otro a < 40 L. Tratamiento 1 (T1), control (n= 12); tratamiento 2 (T2), Vitamina E (VE) (n=13); tratamiento 3 (T3), Vitamina C (VC) (n=10); tratamiento 4 (T4), Vitamina E, C (VEC) (n=15).

En el diseño se incluyeron 5 vacas de cada tratamiento para realizar el experimento sumando en total 20 vacas para ser muestreadas durante los 9 días establecidos, cabe mencionar que estas fueron completamente al azar. Las vacas recibieron la misma alimentación durante todo el experimento. Las vacas del tratamiento 1 (T1) recibieron una inyección salina como placebo. Las vacas del tratamiento 2 (T2) recibieron 3000 mg de vitamina E (α-tocoferol, Sigma Aldrich®) por vía intra muscular. Las vacas del tratamiento 3 (T3) recibieron tres aplicaciones de 3000 mg de vitamina C (L- ácido ascórbico, Sigma Aldrich®), 500 mg por vía intravenosa y 2500 mg por vía sub cutánea. Las vacas del tratamiento 4 (T4) recibieron la inyección de vitamina E así como la de vitamina C en los tiempos descritos en el tratamiento 2 (T2) y tratamiento 3 (T3).

Toma de muestra de leche y método analítico. Se recolectaron 20 muestras durante 9 días, las muestras se recolectaron en la ordeña de la mañana. De cada pezón de la vaca se exprimía un chorro, al quinto día se pusieron los pesadores para de ahí recolectar la leche; se recolectaba en un frasco recomendado para uso en sistemas analíticos de leche marca Fossomatic® (FOSS®) - Fossomatic cell conter- Dinamarca, soluciones automatizadas para analizar la leche y los productos lácteos (Guerrero-Quiceno et al., 2018). Cada frasco llevaba etiquetado el número de la vaca y el día de recolección. Después de recolectadas las muestras para el procedimiento con FOSS® fueron enviadas en tubo con conservante bronopol (2-bromo-2-nitropropano-1,3-diol) al laboratorio de Industria LALA® de la Comarca Lagunera para su posterior análisis. El FOSS® efectúa el RCS mediante el método de citometría directa emitiendo fluorescencia de color rojo, la que es detectada por el equipo para realizar el conteo de cada una de las células. Además de la precisión, este equipo analiza un gran número de muestras por hora. Estas razones y el hecho de ser considerada en la actualidad como la prueba referencian por su precisión y sensibilidad.

Análisis estadístico. La variable RCS fue evaluada bajo un modelo experimental completamente al azar para tipo de vitaminas suministrado, con mediciones repetidas en los 9 días de muestreo de leche. Mediante el PROC GLIMMIX de SAS ver. 9.3 usando DIST= POISSON en el LINK=log, con la finalidad de comparar con la prueba de cuadrados medios los efectos de la aplicación del tipo de Vitamina (C, E, C y E) empleando la prueba de t para comparaciones múltiples.

Resultados y discusión

El conteo promedio de células somáticas en leche en las 20 vacas muestreadas fue de 134.01± 26.12 células $X10^3$ /mL de leche. En 18 de las vacas el conteo celular al inicio del experimento se ubicó debajo del límite tolerable para mastitis y solo dos vacas tuvieron cuentas superiores a dicho límite. El Cuadro 1 muestra los niveles de probabilidad, donde la diferencia de variación promedio entre grupo de vacas a las que se les aplico vitamina fue no significativa (P>0.88). Por el contrario, la variación de células somáticas en leche en los nueve días de muestreo fue amplia (P≤0.01). Según Philpot (2001) dicho comportamiento fue asociado a una infección subclínica de mastitis, sin embargo, no afecto el RCS por el rango establecido de 200,000 células mL-1. Al respecto, García (2004), menciona que el nivel promedio de RCS por vaca sana es de 20,000 a 50,000 células mL-1, y que por tanque debe de haber de 100,000 a 200,000 o hasta un límite de 300,000 células/mL, pero cuando el nivel de RCS es mayor ya se tiene una mastitis subclínica. También la variación conjunta entre grupos de vacas que se les aplicaron las diferentes vitaminas y la variación en los días de muestreo fue importante (P≤0.01). Por lo anterior, solo será descrito el comportamiento de las células somáticas considerando el efecto conjunto de interacción entre grupo y días de muestreo.

El promedio de células somáticas para los grupos de vacas a las cuales se les aplico vitaminas (C o E) fue de 232 ± 72 células $x10^3$ mL^{-1} y con promedio similar a las vacas del grupo control y a las cuales se les aplicó vitamina C y E con un valor de 39.5 ± 7.2 células $x10^3$ mL^{-1}(Cuadro 2).

Cuadro 1. Nivel de probabilidad de células somáticas por efecto fijo de variación en el modelo.

Efecto	Pr>F
Grupo	0.8836
Día	<0.0001
Grupo*Día	<0.0001

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos y error estándar (EE) de células somáticas $x10^3$ en leche de vacas Holstein al aplicar diferentes tratamientos de vitamina C y E.

Grupo	Media ± EE
Control	31.17 ± 4.98[a]
Vitamina C	238.5 ± 70.48[a]
Vitamina E	227.59 ± 75.14[a]
Vitaminas E y C	48.85 ± 8.71[a]

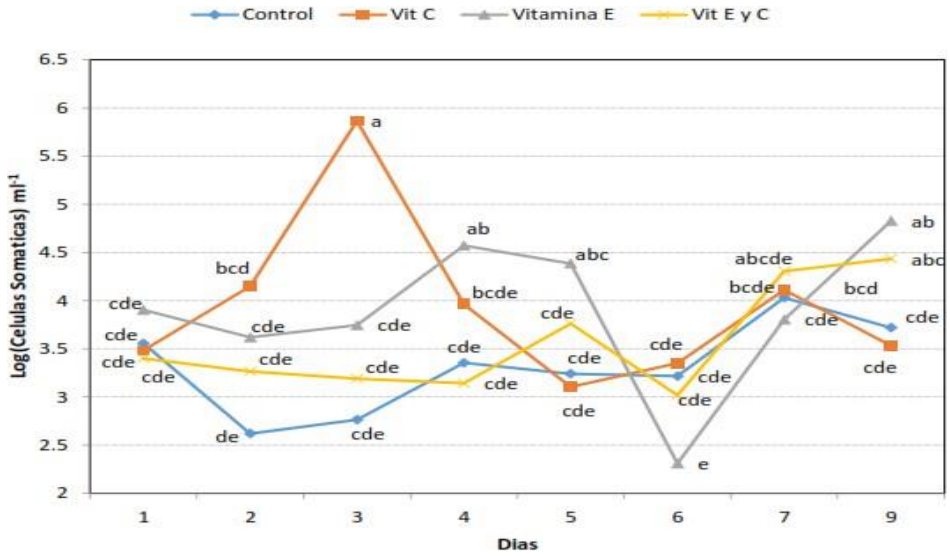


Figura 1. Media de Cuadrados mínimos del logaritmo del RCS con medición diaria en 9 días post-aplicación de vitamina en vacas Holstein sometidas a estrés calórico por tipo de vitamina aplicada.

El comportamiento del conteo de células somáticas en leche se muestra en la Figura 1. Se observó un incremento fuerte en el día 3 por tratamiento para vacas que recibieron vitamina C, en cambio las células somáticas se incrementaron en vacas tratadas con vitamina E en el día 4 y 5 después de aplicada la vitamina. La tendencia del grupo de vacas que no recibieron vitaminas y la aplicación conjunta de vitamina C y E fueron similares, manteniendo el mínimo RCS en leche. El conteo de células más bajo se obtuvo en el día 6 postratamiento en el grupo de vacas que recibieron la Vitamina E. Posterior a este día, se observó un incremento importante en el número de células somáticas.

Asimismo, Ramírez y colaboradores (2011) mencionan que los factores de riesgo para la presentación de la mastitis bovina pueden ser del animal, ambientales o del agente patógeno. Es así como la incidencia de la infección aumenta con la edad, el manejo deficiente, el alojamiento inadecuado, la viabilidad y virulencia del agente y su susceptibilidad frente a los antimicrobianos. Entre los factores de riesgo más fuertemente asociados con mastitis se han encontrado: alta producción de leche, bajo RCS y sellado de los pezones. Así mismo, son determinantes el tamaño del hato, hacinamiento, tipo de ordeño, materiales de cama, etapa productiva, higiene y técnicas de ordeño (Quezada et al., 2022).

La enfermedad aparece también cuando los factores del medio y el manejo de los animales interactúan de tal manera que la ubre es expuesta a microorganismos patógenos (Bonifaz et al., 2024). Quevedo y colaboradores (2018) publican que existen los factores asociados al animal: Presencia o ausencia de resistencia natural a la mastitis y mecanismos de defensa Está relacionada con la predisposición genética, anatomía, estado nutricional, parto y lactancia. Todo esto tiene incidencia directa sobre la susceptibilidad de la glándula mamaria a la infección.

Asimismo, Iturralde-García y colaboradores (2021) comentan que la mastitis clínica se caracteriza por presentar cambios exteriores como inflamación de la ubre aspecto y consistencia de la leche producida, de ahí que la mayoría de los productores se centren en ésta. Al respecto, en Quito, Ecuador, Puga-Torres y colaboradores (2024), después de implementar un programa de capacitación enfocado en trabajar en el manejo de los animales, mejorar la alimentación y administrar suplementos nutricionales a vacas lecheras, se evidenció que la capacitación en buenas prácticas de ordeño fue beneficiosa, pues los productores siguieron a cabalidad las recomendaciones indicadas, lo que conllevó a una disminución numérica considerable en el conteo de células somáticas, lo que se traduce en aumento del volumen de producción de leche de los pequeños productores. Sin embargo, se recomienda reforzar la capacitación de nutrición, alimentación, manejo de pasturas para mejorar la calidad de la leche.

Conclusiones

Se logró cuantificar el número de células somáticas en leche de vacas Holstein Friesian suplementadas con vitamina C y vitamina E. En base a los resultados se recomienda aplicar la vitamina C y E por separado para reducir el conteo de células somáticas, y posiblemente contribuir a producir leche de mejor calidad desde el punto de vista bacteriológico. La mastitis bovina, es la enfermedad que más afecta a la industria lechera, porque ocasiona disminución de fertilidad y producción, así como también, menor calidad de la leche, pérdidas económicas y, potencialmente un problema de salud pública. El éxito económico en la ganadería de producción láctea no es sólo depende del nivel de producción de leche, sino también que las vacas cuenten con longevidad y buena calidad de vida.

Referencias

Bonifaz, N., Galarza, X., Fuertes, B., & Beltrán, J. (2024). Determinación molecular del agente etiológico de la mastitis bovina de muestras provenientes de unidades productoras andinas. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida, 39(1):139-55.

Guerrero-Quiceno, J., Campos-Gaona, R., & Vélez-Terranova, M. (2018). Factores ambientales asociados y métodos de determinación de células somáticas en leche de tanque. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 16(1), 80-90.

Iturralde-García, RD, Borboa-Flores, J, Sánchez, RI, Cortez, MO, Cinco-Leitner G, & Shefy S (2018) Assessment of acoustic pulse therapy (APT), a non-antibiotic treatment for dairy cows with clinical and subclinical mastitis. PLoS ONE 13 (7): e0199195.

Merin U, Gilad D, Jacoby S, Keynan B, Hefer Y, … & Lavon Y. (2024) Retrospective evaluation of udder recovery of cows with subclinical mastitis following treatment with acoustic pulse technology (APT) on commercial dairy farms and its economic impact. PLoS ONE 19(5): e0303947.

Moroyoqui, FJ, Wong-Corral, FJ. (2022). Prevalencia y relación de mastitis con niveles séricos de vitaminas E y A y estatus microbiológico en vacas criollas doble propósito, en época de verano. Biotecnia, 24(1), 79-86.

Puga-Torres, B., Meneses-Cunama, D.C, Meneses-Pineda, J.O., Montenegro-Almeida, M.C., Morales-Pérez, I.D., & Villarreal, T. (2024). Plan piloto para el mejoramiento de la calidad nutricional y conteo de células somáticas de leche bovina, producida por pequeños productores de la provincia de Pichincha-Ecuador, aplicando un programa de capacitación. Siembra 11 (1): e4493.

Quevedo-Winston. (2018). Recuento de células somáticas (RCS), como indicador en la resistencia de la mastitis bovina. Revista Ciencia, Tecnología e Innovación. 16(17): 1001-1012.

Quezada, M. M., Morales-Cauti, S. (2022). Evaluación de la resistencia antibiótica de bacterias aisladas de mastitis subclínica en bovinos de establos lecheros de Lurín, Lima. Salud y Tecnología Veterinaria, 10(1), 8-15.

Ramírez Vásquez, N., Arroyave Henao, O., Cerón-Muñoz, M., Jaramillo, M., Cerón, J., & Palacio, L. G. (2011). Factores asociados a mastitis en vacas de la microcuenca lechera del altiplano norte de Antioquia, Colombia. Rev Med Vet, (22), 31-42

Seroussi E, Blum SE, Krifucks O, Lavon Y, Leitner G (2018) Application of pancreatic phospholipase A2 for treatment of bovine mastitis. PLoS ONE 13(8): e0203132.

ENFERMEDADES TRANSMISIBLES POR MORDEDURAS Y ARAÑAZOS DE PERROS Y GATOS

José Luis Ortega-Sanchez[1]*, Aurora Martínez-Romero[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México. [2]Facultad de Ciencias Químicas Unidad Gómez Palacio. Universidad Juárez del Estado de Durango. *Autor de correspondencia: joeortega899@gmail.com

Introducción

Las mordeduras de animales representan un gran problema de salud pública en México, pues cursan con una alta morbilidad y, en algunos casos aislados, con mortalidad. Los perros (*Canis lupus familiaris*) y los gatos (*Felis silvestris catus*) son las mascotas favoritas del ser humano (Driscolla, 2009). Las domesticaciones de Los gatos fueron llevadas a cabo con el objetivo de eliminar roedores y otras plagas de casas y graneros (Vigne, 2004; Driscoll et al., 2007; Frantz et al., 2016;), mientras que los perros han sido utilizados como animales de compañía, protección, guardia, pastoreo y caza (Driscoll et al., 2009; Frantz et al., 2016). Muchos estudios han confirmado los valiosos roles de las mascotas en la vida humana. Algunos estudios han demostrado que tener una mascota puede reducir el colesterol sérico, los niveles de triglicéridos y la cantidad de eventos cardiovasculares. Otros estudios muestran que los dueños de mascotas sufren menos de depresión y estrés mental, además tienen una mayor autoestima.

En la actualidad, debido a su cercana asociación con los humanos los ha convertido en los carnívoros más abundantes del planeta (APPA, 2017; Peterson et al., 2012; Wierzbowska et al., 2016). Esta relación también trajo algunos riesgos incluidas las lesiones por mordeduras ya que los perros y los gatos poseen el potencial de morder y en el caso de los gatos también de arañar (Caffrey et al., 2019). Las lesiones por mordida de perro y gato pueden variar desde laceraciones, desgarres y lesiones por aplastamiento. En cualquier caso, la contaminación en el sitio también es un riesgo potencial para la salud. Es importante comprender los factores que llevan a casos de agresión canina y felina es fundamental al considerar los métodos para reducir los impactos en la salud del problema. Hay numerosos factores a tener en cuenta, incluidos la demografía humana y animal, el comportamiento animal y las circunstancias individuales del incidente, como el lugar donde ocurrió y la familiaridad entre el animal y la víctima.

Las circunstancias en las que un perro muestra agresión pueden informar a los manejadores experimentados y conocedores sobre la disposición del animal. En un estudio realizado durante los años 2000 y 2009 en EE. UU. Con 256 casos fatales de mordeduras de perro se consideraron los siguientes factores potencialmente prevenibles como influyentes: mala gestión de los perros por parte de los dueños (37.5 %), dueños con antecedentes de abuso o negligencia (21%) y perros mantenidos aislados de interacciones humanas positivas regulares (76.2%) (Patronek, 2013).

Las mordeduras de perros y gatos son un gran problema de salud pública que también implica el bienestar animal, con resultados negativos como la reubicación o la eutanasia para los animales agresores. Las mordeduras cursan con una alta morbilidad y, en casos aislados, con mortalidad (Álvarez, 2021). Se estima que hay 700 millones de perros en todo el mundo y decenas de millones de personas resultan heridas Macpherson (2013).

En el Reino Unido hay 9 millones de perros, lo cual equivale a que el 25% de los hogares poseen un perro, Estados unidos cuenta con 75 millones y en México hay 43.8 millones y se estima que el 69.8% de los hogares mexicanos cuentan con un canino. En el Reino Unido se realizan 6473 ingresos hospitalarios por mordeduras de perros al año (HSCIS, 201E4), mientras que en EE.UU. ocurren 9500 ingresos (HCaU P 2008, 2010), mientras que en México hubo 59,795 agresiones en el año 2023.

En el año 2022 fueron atendidos en urgencias pediátricas del hospital general de México “Dr. Eduardo Liceaga” un total de 95 pacientes por motivos de mordida de perro. En este estudio se observó que los perros agresores eran perros de familiares o propios de los pacientes agredidos (75.79. %), la edad más frecuente de las personas agredidas fue de 3 años, en relación al sexo el 54. 74 % de los pacientes atendidos fueron del sexo masculino, 8 de los pacientes eran lactantes (8.42%) 34 preescolares (35.78%), 21 escolares (22.1%) y 32 adolecentes (33.68). el área anatómica más afectada por lesiones derivadas de la mordedura de perro en los pacientes atendidos fue la cabeza (64%), seguida de la extremidad superior (24.49%), extremidad inferior (8.16%) y abdomen (3.06%). La incidencia de infección por mordida es del 15-20% y suele aparecer a las 24-72 horas.

Los traumas por mordida pueden cursar con la transmisión de enfermedades zoonóticas, lesiones físicas y/o daño psicológico. Los perros manifiestan distintos tipos de agresividad y en general, los ataques son expresiones comportamentales dependientes de la crianza y el aprendizaje que se expresan según situaciones del entorno brindadas por el ser humano.

La transmisión de enfermedades entre animales y humanos puede ocurrir de varias maneras: i). Por sus fluidos corporales como sangre, saliva, orina o heces de animales infectados, ii). Por contacto con superficies o hábitats, iii). Por picaduras de vectores artrópodos infectados como garrapatas, mosquitos, pulgas, ácaros que se han alimentado de animales infectados, mordidas y rasguños de animales que son fuentes comunes de infecciones graves. Cualquier animal doméstico o salvaje puede morder si se siente amenazado, está protegiendo a sus crías o su territorio, o está herido o enfermo. Las infecciones causadas por heridas de mordida o rasguños pueden resultar en enfermedades graves o muerte en humanos.

Transmisión de enfermedades por Mordida y Rasguño

Rabia. Los perros y los gatos pueden ser una fuente de varias enfermedades zoonóticas, entre estas la rabia es la más temida ya que esta siempre es fatal en pacientes que no reciben tratamiento. Los perros y los gatos pueden ser una fuente de varias enfermedades zoonóticas importantes, entre ellas la rabia es sin duda la más temida ya que siempre es fatal si el ser humano no recibe tratamiento se estima que cada año más de 59,000 personas mueren de rabia cada año en más de 150 países, y el 95 % de los casos se producen en África y Asia (WHO,2018).

El 99 % de los casos de rabia se transmiten por perros, y la carga de la enfermedad recae de forma desproporcionada sobre las poblaciones rurales pobres, atribuyéndose aproximadamente la mitad de los casos a niños menores de 15 años (WHO, 2018) La rabia transmitida por perros se ha erradicado de Europa Occidental, Canadá, Estados Unidos, Japón y algunos países latinoamericanos. Australia y muchos países insulares del Pacífico siempre han estado libres de rabia transmitida por perros (WHO, 2018).

En México, en la década de los 90's la rabia en humano se redujo drásticamente por las acciones emprendidas; de 69 casos ocurridos en 1990, de los cuales 60 fueron ocasionados por agresión de perro, pasando a tres casos en 1999 y con los últimos dos casos transmitido por perro ocurridos en el 2006 en el estado de México. En el año 2019 la OMS emitió la declaratoria a México como el "Primer País que ha Eliminado la Rabia en Humano Transmitida por Perro" (Secretaria de Salud ,2021). Resulta importante destacar que este logro fue gracias a la aplicación promedio de anual de 18 millones de dosis de vacuna antirrábica en perros y gatos lo que permitió la disminución de casos de rabia, de 3,049 en 1990 a tres casos registrados en el 2017.

Pasteurelosis. Las *Pasteurelas* Bacilos pequeños, no móviles, gramnegativos y de tinción bipolar que habitan en la región nasal, gingival y tonsilar, de 12-92% de los perros, y de 52%-99% de los gatos. Se aísla más frecuentemente de las mordeduras de los gatos las especies *P. multocida* (50%) y *P. séptica* (30%) de las mordeduras de los perros son más frecuentes las especies *P. canis* (27%), *P. multocida* (13%) y *P. séptica* (13%) (Greene, 2008; Ward, 2013).

Las pasteurelas tienen un espectro amplio en hospederos animales, la *Pasteurella multocida* es una bacteria común en la boca de los perros y gatos y es la causa más frecuente de infección después de una mordida o arañazo de estas mascotas la enfermedad se manifiesta típicamente por una celulitis o infección de tejidos blandos, secreción serosanguinolenta o purulenta sin embargo, también pueden presentarse infecciones respiratorias y otras infecciones invasivas graves como bacteriemias, meningitis y endocarditis especialmente en ancianos personas inmunodeprimidas y neonatos.

***Streptococcus* spp.** Es una causa de infección en perros la cual puede ser transmitida por mordedura de perros, aunque no es el patógeno más común en estas situaciones.

Staphylococcus aureus meticilino resistente (SARM). Causa infecciones recurrentes en piel y se ha comprobado por medio de técnicas moleculares que se trata de la misma cepa, tanto en animales domésticos como en sus dueños (Díaz, 2009).

***Neisseria* spp.** Algunas especies de Neisseria como *N. weaveri* están asociadas a la flora bacteriana de perros y pueden ser transmitida por la mordida de un perro. es un evento raro, pero bien documentado en la literatura médica. Neisseria weaveri y Neisseria canis se asocian a infecciones respiratorias en pacientes con bronquiectasias (Panagea, 2002).

Capnocytophaga canimorsus. Es una bacteria que puede causar infecciones graves en humanos a través de mordeduras de perros y gatos especialmente en personas con sistema inmune debilitado.

***Fusobacterium* spp.** La bacteria Fusobacterium puede estar presente como flora normal de la boca del animal, pero no es el patógeno más comúnmente asociado a este tipo de lesiones.

***Bacteroides* spp.** *Bacteroides fragilis* puede causar infecciones graves tras una mordida de perro ya que se encuentra formando parte de la flora bucal canina.

***Porphyromonas* spp.** Existen varias especies de la bacteria del género *Porphyromona* formando parte de la flora bucal del perro estas bacterias pueden causar serias infecciones en las personas mordidas.

***Prevotella* spp.** Las bacterias del género *Prevotella* forman parte de la flora bucal e intestinal del perro y suelen causar infecciones en heridas ocasionadas por mordidas de perro.

Bartonella henselae. Es una infección bacteriana causada por la bacteria gramnegativa *Bartonella henselae* y transmitida por arañazo o mordida de gato infectado. La mayoría de los gatos domésticos están infectados por Bartonella la mayoría de los gatos infectados tienen la bacteria en la sangre, pero no enferman ni muestran signos de enfermedad, las personas se infectan por una mordedura o arañazo de un gato ya que la bacteria, los niños son los más afectados. Los síntomas de la enfermedad aparecen en 3 a 10 días y se observa un bulto rojo con costra y algunas veces contiene pus. La enfermedad se caracteriza por la aparición de adenopatías regionales dolorosas que persisten durante varias semanas o meses después de sufrir el arañazo del gato. Puede producir adenopatías generalizadas y manifestaciones generales que se confunden con linfomas. El 60% de los casos en E.E.U.U. afecta a los niños, y ocurre generalmente cuando hay exposición a gatos. Los síntomas generales son malestar general, anorexia y pérdida de peso, pero en pacientes inmunocompetentes se presenta encefalitis, convulsiones y coma (niños), meningitis, mielitis transversa, hepatitis granulomatosa y esplenitis, osteomielitis e infección diseminada.

Materiales y métodos

Se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos PUB-MED The British Medical Journal, SciELO con la siguiente estrategia de búsqueda: (“Bites, Human” [Mesh]) OR “Bites and Stings” [Mesh]) AND “Infection” [Mesh]. También se consultaron diversas guias gubernamentales y otras publicaciones nacionales.

Resultados y discusión

Las mordeduras son como lo indican los diferentes estudios un problema de salud pública en todo el mundo por las consecuencias físicas y mentales que ocasionan. De acuerdo con el estudio realizado por Enciso A (2023) y en comparación con lo reportado por la OMS es en menores de 6 años el mayor número de agresiones reportadas en contraste con los registros de países como Inglaterra y E.E.U.U. que mencionan que el mayor número de agresiones ocurre entre 6 y 17 años de edad en nuestra población se observa que la edad más frecuente es entre los 2 y 3 años, esta es un área de estudio para investigar porque ocurren estas diferencias de edad. Los reportes de la OMS mencionan que los niños y niñas durante la primera infancia son el grupo más afectado lo cual concuerda con los estudios realizados por Enciso en el hospital general de la ciudad de México.

Conclusiones

Las mordeduras causadas por animales tienen un alto impacto en términos de consulta y tratamiento e impacto emocional sobre la víctima. Existe una importante subnotificación, la mayoría de las personas mordidas por animales no consulta los servicios de emergencia y son manejadas en el hogar, por lo tanto, es un problema subdimensionado. Se debe prevenir y educar especialmente a los niños y sus apoderados acerca de los riesgos asociados a estos accidentes. Las mordeduras por animales continúan teniendo una alta morbilidad en pacientes de todas las edades, presentándose como una de las 10 primeras causas de lesiones no fatales en niños.

Las mordeduras de perro y gato son lesiones no intencionales, predecibles y evitables en lugar de accidentales. Prevenir lesiones por mordeduras de perro es complejo debido a la cantidad de factores involucrados (es decir, el perro, el niño, el entorno la supervisión parental y la interacción perro niño). Al considerar la prevención de lesiones infantiles, la supervisión entre padres e hijos y las intervenciones para mitigar el riesgo de peligros son factores esenciales a considerar.

Referencias

Álvez, F. (2011) Infecciones por mordeduras y heridas punzantes. Protocolos diagnóstico-terapéuticos de la AEP: Infectología pediátrica. 3a. ed. Madrid, España: Asociación Española de Pediatría; 2011, pp. 177-188.

Díaz, V. (2009). Mordedura de perros y gatos relacionados con síndromes sépticos. Revista de Enfermedades infecciosas en Pediatría. 23 (90).

Driscolla, C.A., Macdonalda D.W., & O'Brien S.J. (2009). From Wild animals to domestic pets, an evolutionary view of domestication. PNAS 106(1): 9971-9978.

Driscoll, C. A., Menotti-Raymond, M., Roca, A. L., Hupe, K., Johnson, W. E., & Geffen, E. (2007). The near Eastern origin of cat domestication. Science, 317, 519–523.

Enciso A. (2023). Características Clínico Epidemiológicas de Mordeduras de perro en Urgencias Pediátricas. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina División de Estudios de Posgrado. Hospital General de México Dr. Eduardo Liceaga. Ciudad de México 2023.

Frantz, L. A. F., Mullin, V. E., Pionnier-Capitan, M., Lebrasseur O., Ollivier, M., Perri, A. et al. (2016). Genomic and archaeological evidence suggests a dual origin of domestic dogs. Science, 352, 1228–1231.

Greene, C. (2008). Infecciones de Heridas por Mordedura. Enfermedades Infecciosas del Perro y el Gato. (3ra ed., pp 553-566). Buenos Aires Argentina: Editorial intermédica.

HSCIS. Provisional monthly topic of interest: admissions caused by dogs and other mammals: Health and Social Care Information Centre, 2014.

HCaU P. Statistical Brief #101: Emergency Department Visits and Inpatient Stays Involving Dog Bites, 2008, 2010.

Jakeman M, Oxley JA, Owczarczak-Garstecka SC, et al. (2020) Pet dog bites in children: management and prevention. BMJ Paediatrics.

Macpherson CN, Meslin FX, Wandeler AI (2013). Dogs, zoonoses and public health. Wallingford, U.K: CABI Publishing

National Canine Research Council Growling, Snarling, Snapping, and Biting Behavior: Incidence and Correlates; ALiterature Review. 2017. https://www.nationalcanineresearchcouncil.com/research-library/ growling-snarling.

snapping-and-biting-behavior-incidence-and-correlates-literature.

Panagea S, Bijoux R, Corkill J E, Al Rashidi F, Hart C A. (2002) A case of lower respiratory tract infection caused by Neisseria weaveri and review of the literature. J Infect; 44: 96-8.

Patronek, G.J.; Sacks, J.J.; Delise, K.M.; Cleary, D.V.; Marder, A.R. (2013) Co-occurrence of potentially preventable factors in 256 dog bite-related fatalities in the United States (2000–2009). J. Am. Vet. Med. Assoc. 243, 1726–1736.

Secretaria de Salud (2021). Programa de acción específico. Prevención y Control de Enfermedades Zoonóticas y Emergentes 2020-20254. Ciudad de México 2021.

Ward, M. (2013). Bite Wound Infections. Clinical Pediatric Emergency Medicine. 14 (2): 88-94.

WHO Expert Consultation on Rabies Third repor (2018). Italy

World Health Organization (2018) Animal Bites: Dog bites https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/animal bites.

VALIDACIÓN DE UN INMUNOENSAYO PARA EL DIAGNÓSTICO DE *Chlamydophila abortus*

María Genoveva Álvarez-Ojeda*[1], Lorenzo Danilo Granados Rivera[2], Isidro Humberto Almeyda-León[2], Melina López Pecina[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo, carretera Matamoros-Reynosa, km 61. C.P. 88900. Río Bravo, Tamaulipas, México; [2]INIFAP-CIRNE-Campo Campo Experimental General Terán, km 31 carretera Montemorelos-China Exhacienda Las Anacua, C.P. 67400. General Terán. [3]UAT, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán. Autor para correspondencia: alvarez.genoveva@inifap.gob.mx

Introducción

Chlamydophila abortus es un organismo intracelular obligado y la principal causa mundial de aborto enzoótico en ovinos y caprinos (The Center for Food Security & Public Heath, 2021). Las ovejas y los corderos se infectan con mayor frecuencia durante el parto, cuando excretan grandes cantidades de cuerpos elementales (CE) infecciosos, que posteriormente son ingeridos o inhalados por animales no expuestos (Essig & Longbottom, 2015). Se cree que, una vez infectada una oveja, *Chlamydophila abortus* permanece latente en el tejido linfoide, controlado por citosinas del huésped como el IFNγ (Turin *et al*., 2022). A través de un análisis bibliográfico, destacaron la urgente necesidad de profundizar en la investigación sobre la transmisión ambiental, debido a que representa un riesgo significativo no solo para los pequeños rumiantes, sino también para mujeres embarazadas, personas inmunocomprometidas y diversas especies, incluida la fauna silvestre.

Además, *C. abortus* puede sobrevivir en el medio ambiente, incluso en condiciones desfavorables, desde unos pocos días hasta unos meses, gracias a la presencia de una pared celular similar a una espora, que le confiere una considerable resiliencia (Kerr et al., 2005). La pared celular de *Chlamydophila abortus* contiene lipopolisacáridos (LPS) y proteínas de la membrana externa, como la proteína principal de la membrana externa (MOMP) y proteínas ricas en cisteína, pero carece de ácido murámico, a diferencia de la pared celular bacteriana típica (Christiansen*, et al*., 1996). En este estudio se eligió trabajar con la proteína MOMP de *C*. *abortus* debido a que ha demostrado ser un excelente inmunogéno (Zhang *et al*., 2024). El objetivo de este trabajo es estandarizar un inmunoensayo a partir de una proteína recombinante (MOMP), para el diagnóstico inmunoenzimático de *C*. *abortus*.

Materiales y métodos

Material Biológico*:* Para validar la tecnología, se realizó un muestreo en cabras y ovejas del estado de Nuevo León durante el periodo 2017–2018. Las muestras de suero se obtuvieron mediante punción de la vena yugular, utilizando una aguja estéril por animal. Posteriormente, se depositaron en tubos al vacío sin anticoagulante, correctamente identificados. Tras permitir la formación del coágulo, las muestras fueron transportadas al laboratorio de biotecnología del Campo Experimental Río Bravo-INIFAP, en condiciones de refrigeración (4–8 °C) dentro de una hielera portátil. Para separar el suero, los tubos se centrifugaron a 3000 rpm por 5 min, posteriormente se almacenaron a -20 °C hasta su procesamiento. Las muestras fueron comparadas y analizadas previamente usando un estuche comercial de ELISA ID Screen® *Chamidophila abortus* Indirect Multi-species kit. Con los resultados obtenidos se pudo establecer límites de referencia conocidos, es decir valores promedio de la densidad óptica (DO).

Antígeno recombinante de C. abortus*.* En investigaciones previas, se logró clonar y expresar exitosamente una proteína heteróloga correspondiente a la proteína de membrana externa mayor (MOMP) de *Chlamydophila abortus* en *Escherichia coli* BL21 (DE3). Para la expresión, se empleó dicha cepa transformada con el vector pET-22b (+), el cual incorpora un gen de resistencia a la ampicilina, un sitio de reconocimiento para enzimas de restricción y una etiqueta de seis histidinas (His-tag) que facilita la unión de la proteína recombinante para su posterior purificación (Alonso et al., 2023). Esta propiedad permitió su purificación eficiente mediante cromatografía de afinidad en columnas empacadas con resina de níquel.

Determinación del antígeno por el método de Bradford*.* Para cuantificar la cantidad apropiada del antígeno se realizó una curva estándar con Albumina de suero Bovino (BSA), usando concentraciones de 0.2 hasta 1 mg/ml. Posteriormente fue cuantificado en espectrofotómetro (Sigma Diagnostics, EIA multi-well reader) a λ= 450 nm.

Determinación de la concentración óptima*.* Se realizaron ensayos empleando concentraciones crecientes del antígeno MOMP de *C*. *abortus*, junto con sus respectivos controles positivo, negativo y blanco (PBS-T al 0.05 %). El objetivo fue identificar la concentración que generara señales de densidad óptica (DO) más adecuadas para el recubrimiento, en relación con los controles utilizados. El procedimiento se desarrolló en dos etapas: la sensibilización de placas de poliestireno y la ejecución del protocolo ELISA.

Sensibilización de la microplaca*.* Se hicieron ensayos por triplicado, usando una placa de poliestireno (PS) estéril con fondo plano (Costar® 3370 Corning, NY 14831) la cual fue tapizada con concentraciones de 2 hasta 10 µg de proteína MOMP, a razón de 100 µl por pocillo, diluidas en amortiguador carbonato-bicarbonato de sodio (Na2CO3, NaHCO3; 50 mM, pH 9.6). Enseguida, se colocó a 37 °C durante una hora y después fueron colocadas en refrigeración de 4 a 8 °C por 18± 2 horas. Transcurrido ese tiempo, la placa fue lavada tres veces con 200 µl de PBS-T. Se bloquearon los sitios de unión inespecífica con BSA 3 % en PBS pH 7.4, durante 1 hora a 37 °C. Después se lavó tres veces con PBS-T al 0.05 % para eliminar los restos de proteína no adsorbida.

Procedimiento de la técnica de ELISA Screen® Chamidophila abortus Indirect Multi-species*.* Los controles positivos y negativos fueron obtenidos de un kit de ELISA (Screen®) y como blanco reactivo se usó el PBS-T. La dilución maestra de trabajo fue 1/100 en amortiguador PBS-T. Para hacerlos reaccionar frente al antígeno recombinante, se dispensó 100 µl de la dilución mencionada y se dejó incubar una hora a 37 °C en cámara húmeda; después se realizaron tres lavados con 200 µl de PBS-T y se añadió a cada pocillo 100 µl del conjugado anticabra -peroxidasa de rábano diluido 1/5000 en BSA 1 %, como agente estabilizador. De nuevo se incubó por una hora a 37 °C en cámara húmeda. Se hicieron tres lavados y se agregó el sustrato TMB/H_2O_2 (trimetilbencidina/peróxido de hidrógeno) de la marca Life Tecnologies®, y se colocó en oscuridad por 15 minutos a temperatura ambiente. Finalmente, la reacción se detuvo con 100 µl de H_2SO_4 2 M. La lectura de la placa se realizó en un espectrofotómetro (Sigma Diagnostics, EIA multi-well reader) a λ= 450 nm. Al finalizar el procedimiento del ELISA, las lecturas obtenidas fueron sometidas a análisis estadístico en hojas de cálculo (Excel) para graficar la absorbancia versus la concentración, y así establecer la concentración más adecuada de acuerdo a la meseta que forman las densidades ópticas de los controles y el blanco reactivo (Ochoa R et al., 2012).

Linealidad*.* Se evaluó la linealidad del método analítico, determinando la relación entre el antígeno recombinante y el analito según su dilución. Se seleccionaron aleatoriamente seis muestras séricas, diluidas en serie (1/10 a 1/100,000) y analizadas mediante ELISA indirecto. Las lecturas se realizaron a 450 nm en el lector de microplacas.

Valor predictivo positivo (VPP) indica la probabilidad de que se esté realmente enferma cuando el resultado de una prueba es positivo. Se calcula con la fórmula: VPP = VP / (VP + FP), donde VP son los verdaderos positivos y FP los falsos positivos.

Valor predictivo negativo (VPN): Indica la probabilidad de estar sano ante un resultado negativo. Se calcula como VPN = VN / (VN + FN) y depende de la prevalencia de la enfermedad. **Concordancia o eficacia**. Representa la capacidad de una prueba para identificar correctamente tanto muestras positivas como negativas, minimizando los falsos resultados. Su cálculo se realiza mediante una Cuadro de contingencia de 2X2.

Resultados y discusión

Concentración del antígeno MOMP. Se evaluaron distintas concentraciones del antígeno MOMP recombinante en microplacas para determinar la óptima en un inmunoensayo, utilizando sueros positivos y negativos. A partir de tres ensayos, se calculó el cociente P/N según el criterio de Anaya et al. (2008), seleccionando la concentración con mayor discriminación entre muestras. La mejor relación P/N fue de 5.0 con 4 µg/ml de proteína y sueros diluidos 1/100; las demás combinaciones mostraron valores inferiores.

Concordancia o eficacia del Inmunoensayo ligado a enzimas (ELISAi). Respecto a las muestras positivas, los resultados se presentan en el Cuadro 1. Todas las muestras de suero provenientes de cabras y ovejas infectadas resultaron positivas tanto en la prueba ELISA comercial como en la ELISAi basada en el antígeno recombinante (MOMP), con excepción de dos muestras que fueron negativas en ambas pruebas. Estos hallazgos evidencian una concordancia perfecta entre ambas metodologías en la detección de sueros positivos.

Cuadro 1. Concordancia del ELISA comercial.

ELISAi (MOMP)	ELISA (comercial)		Total
	Resultados (+)	Resultados (-)	
Resultados (+)	16 (A)	2 (B)	18
Resultados (-)	0 (C)	73 (D)	73
Total	16	75	91

Eficiencia= [(A+D)/(A+B+C+D)]*100 = [(16+73)/(91)]*100= 97 %

Con respecto a la Sensibilidad para este inmunoensayo respecto a un ELISA comercial, se determinó con la siguiente formula [A/(A+B)]*100. Sustituyendo los valores: [16/ (16+2)]*100 = 88.8 %. Sin embargo, al realizar la especificidad, de acuerdo a las pruebas estándares empleadas como referencia. Se aplicó la siguiente fórmula: Especificidad= [D/(C+D)]*100; sustituyendo los valores con respecto a la ELISA comercial se obtuvo: [73/ (0+73)]*100 = 100 %.

Para catalogar las muestras como positivas o negativas, se obtuvo el promedio de las DO del control negativo más dos desviaciones estándar (IC 95 %). De esta manera las muestras con una DO por encima del punto de corte fueron del 0.350 se consideraron positivas. Este criterio es similar al aplicado por Huapaya et al. (2002), quien reportó una sensibilidad de 90 % y especificidad de 88 %.

En la ELISAi, la sensibilidad y especificidad, resultaron en 88.8 y 100 % respectivamente. Esto refleja la capacidad del antígeno MOMP para detectar anticuerpos contra *Chlamydophila abortus*, sin embargo, en ocasiones el tiempo para la seroconversión de los animales es variable e intermitente (Suhet et al., 2015; Soares-Castro et al., 2002).

Con respecto a la proporción de acuerdo observado (Po)
Po = (A + D) / N = (16 + 73) / 91 = 89 / 91 ≈ 0.978; posteriormente se obtuvo la proporción de acuerdo a la esperado por azar que corresponde a la prevalencia esperada (Pe)= [(A + B) (A + C) + (C + D)(B + D)] / N^2; al sustituir los valores se obtuvo una Pe= [(18)(16) + (73)(75)] / 91^2 = (288 + 5475) / 8281 ≈ 5763 / 8281 ≈ 0.696

Con estos valores se obtuvo el Índice kappa (κ)= (Po – Pe) / (1 – Pe) = (0.978 – 0.696) / (1 – 0.696) ≈ 0.282 / 0.304 ≈ 0.928. Lo que evidencia un índice kappa de 0.928 esto indica una concordancia casi perfecta entre ELISAi (MOMP) y ELISA comercial. Esto sugiere que ambas pruebas coinciden de manera muy sólida en la detección de resultados positivos y negativos.

Conclusiones

La eficacia del péptido MOMP fue de un 97 %, presentó una sensibilidad del 88 % y una sensibilidad del 100 %. El inmunoensayo validado demostró ser un método de detección y tamizaje confiable y aplicable para detectar animales seropositivos.

Referencias

Alonso, S. S., Almeyda, L. I. H., López, P. M. & Alvarez, O. M. G. (2023). *Clonación y expresión de la proteína MOMP de Chlamydia abortus en el sistema de Escherichia coli BL21*. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. Vol. 6:3. 2517-2527.

Anaya, E., Mendoza, G., García, U. L & Fernández Y. (2008). *Prueba de ELISA indirecta del lisado total de Bartonella bacilliformis para el diagnóstico rápido de la enfermedad de Carrión. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25: 243-246.

Huapaya, P., Espinoza, Y., Huiza, A. & Sevilla, C. (2002). *Estandarización de la técnica de ELISA para diagnóstico de estrongiloidiosis.* Anuales de la Facultad de Medicina. 2002; 63:179-184.

Essig, A., Longbottom, D. (2015). *Chlamydia abortus: Nuevos aspectos del aborto infeccioso en ovejas y riesgo potencial para mujeres embarazadas. Curr Clin Micro Rpt 2,* 22–34. https://doi.org/10.1007/s40588-015-0014-2

Turin, L., Surini, S., Wheelhouse, N. & Rocchi, M. S. (2022). *Recent advances and public health implications for environmental exposure to Chlamydia abortus: from enzootic to zoonotic disease. J. Veterinary Research*. 37. Vol. 53 (1). https://doi.org/10.1186/s13567-022-01052-x

Kerr, K., Entrican, G., McKeever, D. & Longbottom, D. (2005) Immunopathology *of Chlamydophila abortus* infection in sheep and mice. Res Vet Sci 78:1–7

Christiansen, G., Ostergaard, L., & Birkelund, S. (1996). *Molecular biology of the Chlamydia pneumoniae surface. Scandinavian journal of infectious diseases. Supplementum*; 104, 5-10.

Ochoa-Azze RF. (2012). *Técnicas inmunoenzimáticas para ensayos clínicos de vacunas y estudios inmunoepidemiológicos. La Habana, Cuba*. Finlay Ediciones, Vol. 1: 1-30.

Sambrook J, Russel WD. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Third Edition. Ed. Cold Spring Harbor Laboratoy Press*, USA. 2001.

Suhet, M. J. M., Guimaraes, G.A.M., Cortez, A., Pereira, L. De Sá Guimaraes A, Heinemann M.B. (2015). *Use of serological diagnostic techniques in the control and eradication of caprine arthritis encephalitis: an update*. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.* 52:283-297.

Soares, C. S., Cerqueira. L. R, Oliveira de Azevedo E, Resende M, Guimaraes, G.A. M. (2002). *Seroconversion and seroreactivity patterns of dairy goats naturally exposed to caprine arthritis-encephalitis virus in Brazil. Ciencia Rural, Santa María*. 32:603-607.

The Center for Food Security & Public Health. (2021). *Zoonotic Diseases of Sheep and Goats.* Fecha de consulta 28/09/2025. Iowa State University. https://www.cfsph.iastate.edu/Assets/zoonotic-diseases-of-sheep-goats-table.pdf

Zhang, H., Li, Z., Li, W., Jin, Y., Li, Y, Xiao Q, Tong D & Zhou J. (2024). Comparison of the immune effects of the Chlamydia abortus MOMP antigen displayed in different parts of bacterial ghosts. Front Microbiol. 7;15:1349746. doi: 10.3389/fmicb.2024.1349746. PMID: 38389524; PMCID: PMC10883653.

CARACTERIZACIÓN DE HIERBA LOCA (*Astragallus mollisimus* L.) PRESENCIA EN AÑOS ATIPICOS DE LLUVIA EN OTOÑO-INVIERNO EN EL EJIDO EL REFUGIO, POANAS, DURANGO, MÉXICO.

Gonzalo Hernández-Ibarra[1*], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1], Miguel Ángel Mata-Espinosa[1] y Mayela Rodríguez-González[2]

[1]Profesor-investigador de Tiempo Completo de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo; Km 40 de la Carretera Gómez Palacio, Durango-Cd. Jiménez Chihuahua, C.P. 35230.Teléfonos: 872 77 60160 y 60190, Bermejillo, Mapimi, Durango; [2]Profesora de la Universidad Abierta y a Distancia de México– UnADM. CP 03330 CDMX. *Autor para correspondencia: ghernandez@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Los eventos meteorológicos que ocurren cotidianamente afectan la presencia o no de diversas especies de plantas en determinados hábitats. El *Astragalus mollissimus* contiene un alcaloide llamado locaina, saponinas tipo esteroide y politerpeno, que emulsionan la grasa y hemolizan los glóbulos rojos debido a su afinidad con la colesterina y la lecitina (Bacarillo, 2020). CONABIO, (2025) menciona que la planta *Astragalus mollissimus* contiene poli-hidroxi-indolizidinas, que inhiben algunas enzimas celulares y provocan intoxicación y adicción (también en animales), luego problemas de equilibrio, pérdida de peso, falta de orientación, parálisis y muerte. Se pasan con leche a las crías. La hierba loca morada contiene estos alcaloides en cantidades considerables. Ochoa et al. (2021) han publicado que en algunos experimentos se han usado nitrocompuestos provenientes de un origen sintético, lo que podría limitar su uso. En contraste, algunas plantas del género *Astragalus* producen un nitrocompuesto natural, aunque no se ha evaluado su efecto antimethanogénico. La mayoría de las plantas venenosas de los pastizales se pueden agrupar en dos categorías generales: las autóctonas, que se ven favorecidas por el pastoreo intensivo y las colonizadoras, que aparecen después de un sobrepastoreo o de una alteración de la tierra, sin embargo existen otras plantas que no entran en ninguna de estas categorías son los géneros *Astragalus* y *Oxytropis* y espuelas de caballero (géneros *Delphinium* o *Consolida*), que forman parte de la comunidad vegetal normal de dichas áreas (Manual MSD, 2025). Bajo estos argumentos planteamos el objetivo Describir la población de “hierba loca” *Astragalus mollissimus* L., en áreas de cultivo de régimen temporal en un potrero de un ejido.

Materiales y métodos

Nosotros realizamos el presente estudio en el periodo del 01 de noviembre de 2023 al 5 de marzo de 2024 en el potrero La Legua en el Ejido El Refugio; el cual se encuentra en la parte central del municipio Poanas; el cual colinda al norte con el municipio de Guadalupe Victoria y Cuencamé, al sur con Vicente Guerrero, al oeste con los municipios de Nombre de Dios y Durango; y al este colinda con el estado de Zacatecas. La cabecera municipal se encuentra en las coordenadas 23º58' de latitud norte y 104º03' de longitud oeste; tiene una altitud promedio de 1,920 m y un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (BS1k); frío en invierno, registrándose temperaturas promedio anuales de 25.9° C., la precipitación pluvial es de 496 mm con una evaporación de 213 mm promedio anual, el periodo de incidencia de heladas abarca los meses de noviembre hasta marzo (INAFED, 2010).

Metodología. Consistió en la realización de 4 visitas al área del proyecto (4 visitas entre noviembre/2023 a marzo/2024, para recabar información en campo; además de haber contactado integrantes de la Mesa Directiva del Comisariado Ejidal para solicitar y conseguir permiso de acceso al área de estudio en el núcleo agrario. Se uso un vehículo y se recorrió a pie los transectos de muestreo y conteo de plantas de hierba loca (previa identificación de la especie en esos sitios plataforma online de Naturalista de la CONABIO (2023); en el potrero mencionado anteriormente (Figura 3). En cada visita se capturó mediante fotografía digital con una cámara fotográfica modelo Coolpix P900 de marca Nikon. Registramos las plantas mediante el método de conteo visual y cuadrantes a cada sitio de muestreo destacando los más representativos (alta densidad de plantas por m^2 (10 o más plantas), media densidad de plantas por m^2 (4 a 9 plantas) y baja densidad por m^2 (1 a 3 plantas) (Ferro-Díaz, 2015).

Análisis de datos. La información fue sistematizada por cuadrante, Se utilizó el programa Excel de la paquetería Microsoft© para ordenar los datos para elaborar gráficas y cuadros.

Cuadro 1. Algunos métodos de aplicados para censo de plantas (Bullock, 1996) (Ferro-Díaz, 2015).

Técnica	Arboles	Arbustos	Hierbas	Briofita	Musgos y Líquenes	Algas
Conteo Total	**	**	*			
Estimación Visual	***	***	***	***	***	
Parcelas	**	**	***	***	***	
Transectos	***	***	***	*	*	
Muestreo sin parcelas	***	**	*			
Marcado y mapeo	***	***	***	*	*	*
Cartografía	***	***	***			

Nota: Respecto a la aplicabilidad ***=usualmente; **=frecuentemente y *=algunas veces.

Patrón aleatorio. En una zona ocupada por una especie con patrón aleatorio, cada punto del espacio tiene igual posibilidad de estar ocupado por un individuo de la especie considerada. Es decir, si se toman muestras de tamaño uniforme, ubicadas al azar en dicha área, la distribución del número de individuos por unidad muestral se conforma a una serie de Poisson, de modo que la varianza relativa (varianza/media) es igual a la unidad (Ferro-Diaz, 2015).

Resultados y discusión

En referencia a los resultados obtuvimos que el área total de estudio fue de 191 ha, dominadas en la mayor parte del polígono por áreas de cultivo con régimen de temporal y una pequeña porción caracterizada por mequites (*Neltuma juliflora*) y huizaches (*Vachellia farnesiana*) (Figura 1).

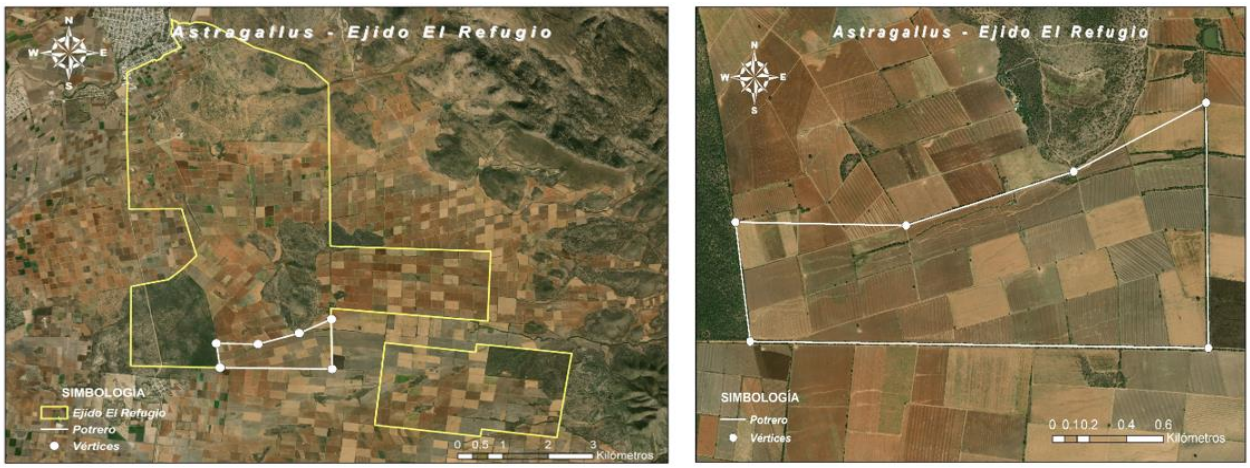


Figura 1. Polígono del Ejido El Refugio (izquierda) y área de estudio (derecha), (basado en Google maps, 2025).

La aplicabilidad del método usado es referida a la obtención de resultados confiables tanto técnica como estadísticamente. Nosotros utilizamos en método de parcelas puesto que para el caso de hierbas es igual de confiable que los métodos siguientes: transectos, marcado y mapeo, cartografía incluso el método de estimación visual.

Se aplicaron 20 parcelas de 5x5 m distribuidas en el polígono una a cada 100 m una de otra aleatoriamente comenzando por la esquina noreste puesto que allí se encuentra un camino de terracería para acceso en vehículo hasta el polígono de estudio. Destacan las parcelas 15 (21), 5 (16), 7 (14), 20 (13) y 13 (11), siendo las cinco con mayor cantidad de plantas (Figura 2).

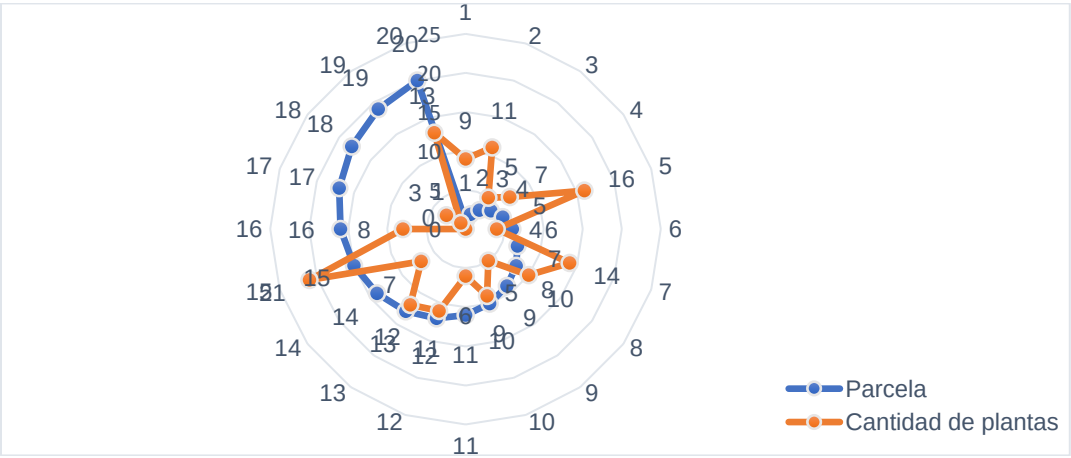


Figura 2. Cantidad de plantas registradas por parcela.

Al considerar la cantidad de lluvia precipitada en el área de estudio (estación meteorológica más cercana caso estación Francisco Villa en Narciso Mendoza, Poanas (CONAGUA, 2025). Se aprecia en la Figura 3, que en el año 2023 se presentó una precipitación atípica para los meses de octubre, noviembre tal circunstancia probablemente fue la causa de la presencia de *Astragalus mollissimus* en el área de estudio, puesto que los registros de las plántulas o plantas juveniles se comenzaron a apreciar en los últimos días del mes de diciembre (Inciso a) de la Figura 4).

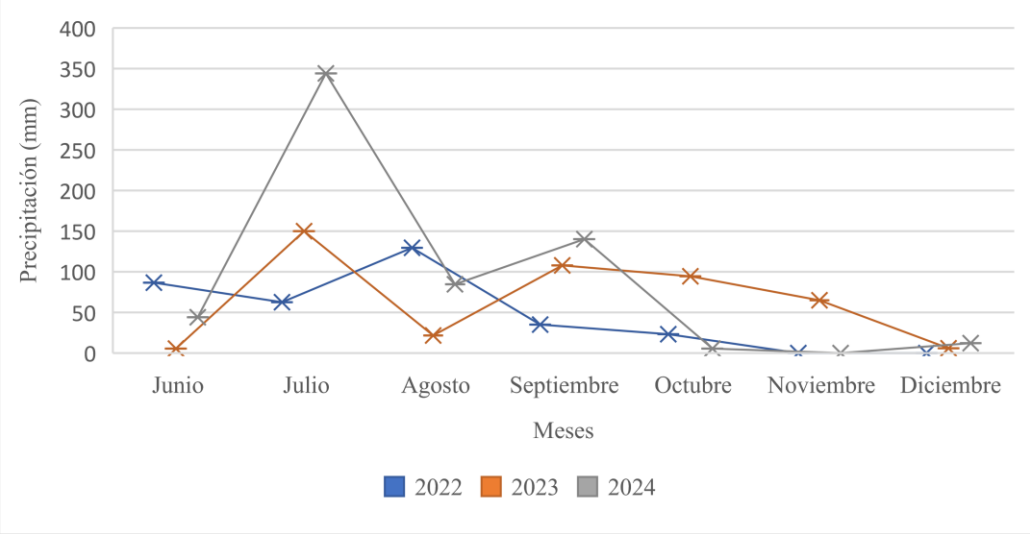


Figura 3. Comparación de época de lluvias en tres años.

El Siglo de Durango, (2023), público que, en los últimos meses del año 2023, las precipitaciones de los últimos meses no son suficientes, aunque sí han registrado cantidades elevadas para lo que suele caer normalmente. El mes de noviembre por lo general suelen caer 13.3 milímetros de agua en promedio, es un mal mes cuando cae por debajo de esa cantidad. Sin embargo, en esta ocasión cayeron 48.4 milímetros de agua, sobre todo a principios del penúltimo mes del año. Esto significa que llovió en noviembre un 263.9 por ciento más de lo que suele caer en un onceavo mes en promedio.

a) Planta en diciembre 2023.

b) Tipo de ganado potencial consumidor.

Figura 4. Características visuales de plantas de *Astragalus mollissimus* en diferente etapa fenológica.

Figura 5. Panorámica de las parcelas de muestreo en marzo de 2024.

En un muestreo y monitoreo de vegetación siempre se debe considerar recabar la información siguiente: 1) Número de individuos: contar cuántas plantas de una misma especie se encuentran dentro del cuadrante, 2) Porcentaje de cobertura: proporción que la especie ocupa respecto de la superficie delimitada por el cuadrante y 3) Vigor: salud y fuerza aparente de los individuos, expresada como buena, regular o mala (FMCN et al., 2018). En el estudio que realizamos particularmente no consideramos el registro de salud o vigor de las plantas; sin embargo, como se aprecia en la Figura 4 y la Figura 5 las plantas reflejan estar en buena condición de salud sobre todo en los meses de enero a marzo. CONABIO, (2025) indica que los animales no comen la hierba loca normalmente, pero, una vez que la prueban (p.ej. en primavera, cuando no hay mucha pastura verde) se pueden volver adictos y ya no comen otra cosa. Por otra parte, Ochoa et al. (2021) descubrieron que el uso de extractos de la *Astragalus mollissimus* representa una estrategia alternativa para reducir la metanogénesis ruminal.

Conclusiones

La planta *Astragalus mollissimus* es probable que se registre cuando existe una precipitación otoñal de al menos 30 mm sobre todo en el mes de noviembre. Es necesario realizar estudios donde se compare el efecto de consumo en animales bajo diferentes dosis y concentraciones de *Astragalus mollissimus*.

Referencias

Bacarrillo, R. G. (2020). Plantas toxicas para el ganado en el noreste de Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Ciencia Animal. Tesis Profesional. 48 pág.

Bullock, J. 1996. Plants. In Sutherland, W.J. 1996. (Ed.) Ecological Census Techniques. A Handbook. Cambridge University Press, UK. 11-138 pp.

CONABIO. (2023). Variedad de Astragalus mollissimus earlei. iNaturalist México. Consultado el 20 de diciembre de 2023 de: https://mexico.inaturalist.org/taxa/239515-Astragalus-mollissimus-earlei

CONABIO. (2025). Ficha informativa de *Astragalus mollissimus*. Consultado el 12 de septiembre de 2025 de: http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/astragalus-mollissimus/fichas/ficha.htm

CONAGUA. (2025). Resúmenes de lluvia y temperatura. Mapas mensuales de lluvia y temperatura. Consultado el 10 de septiembre de 2025 de: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias

El Siglo de Durango. Lluvias. Consultado el 19 de mayo de 2025 de: https://www.elsiglodedurango.com.mx/noticia/2023/noviembre-llueve-263-mas-pero-sigue-el-deficit-de-precipitaciones-en-durango.html

Ferro Díaz Jorge. (2015) Manual revisado de métodos útiles en el muestreo y análisis de la vegetación. Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales (ECOVIDA), CITMA Pinar del Río. ISSN-e 2076-281X, Vol. 5, Nº. 1. págs. 139-186

FMCN, CONAFOR, USAID y USFS (2018), "Manual para muestrear la vegetación en bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas", BIOCOMUNI-Monitoreo Comunitario de la Biodiversidad, una guía para núcleos agrarios, Comisión Nacional Forestal-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México. Consultado el 10 de septiembre de 2025 de: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2022/06/Manual-para-muestrear-la-vegetacio%CC%81n-en-bosques-selvas-zonas-a%CC%81ridas-y-semia%CC%81ridas-USFS.pdf

Instituto Nacional para el Federalismo. (2010). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Consultado el 04 de septiembre de 2025 de: http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM10durango/municipios/10022a.html

Manual MSD. (2025). Plantas venenosas de los pastizales templados de América del norte. Manual de veterinaria (Versión para profesionales). Consultado el 14 de septiembre de 2025 de: https://www.msdvetmanual.com/es/toxixolog%C3%ADa/plantas-venenosas/plantas-venenosas-de-los-pastizales-templados-de-am%C3%A9rica-del-norte

Ochoa-García, P. A., Anderson, R. C., Arévalos-Sánchez, M. M., Rodríguez-Almeida, F. A., Félix-Portillo, M., Muro-Reyes, A., Božić, A. K., Arzola-Álvarez, C., & Corral-Luna, A. (2021). Astragallus mollissimus plant extract: a strategy to reduce ruminal methanogenesis. *Tropical animal health and production*, *53*(4), 436. https://doi.org/10.1007/s11250-021-02882-1.

DE LA PÉRDIDA AL FORRAJE: ENSILADO DE RESIDUOS DE SANDÍA Y MELÓN COMO ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE PARA RUMIANTES

Sandra P. Maciel Torres[1]*, L. Danilo Granados Rivera[2], Karen P. Maciel Torres[1], Sandra I. Martines Orona[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental General Terán. *Autor de correspondencia: smacielt@chapingo.mx

Introducción

La valorización de subproductos hortofrutícolas mediante su incorporación a sistemas de alimentación de rumiantes se alinea con los principios de economía circular, reducción de pérdidas y desperdicio de alimentos (PDA) y mitigación del impacto ambiental de la ganadería. Diversos informes y síntesis estadísticas han subrayado que las pérdidas poscosecha de frutas y hortalizas son particularmente elevadas en comparación con otros grupos de alimentos, lo que representa una oportunidad para su revalorización como biomasa alimenticia para rumiantes (FAO, 2023).

En México y América Latina, la disponibilidad de residuos de sandía (*Citrullus lanatus*) y melón (*Cucumis melo*) es particularmente relevante por el peso de estas cadenas productivas. Datos oficiales recientes reportan que México se sitúa entre los principales productores regionales de sandía y melón, con incrementos anuales en la oferta primaria; estos volúmenes implican cantidades sustanciales de cáscaras, semillas y restos de pulpa potencialmente aprovechables a escala local (SIAP, 2024a; SIAP, 2024b; FAO, 2023).

Desde la perspectiva nutricional, los residuos de sandía y melón presentan perfiles capaces de complementar dietas de rumiantes: la cáscara aporta fibra efectiva y agua; la semilla concentra proteína y lípidos; y la pulpa residual provee carbohidratos fermentables que pueden favorecer la fermentación láctica y la palatabilidad del ensilado. La literatura reciente sobre ensilados de biomasa de melón documenta la factibilidad técnica de su uso y la influencia de la formulación sobre los resultados fermentativos (Nascimento et al., 2023a; Nascimento et al., 2023b).

El ensilado constituye una vía idónea para estabilizar y conservar materiales altamente perecederos, evitando deterioro, crecimiento fúngico y pérdidas de nutrientes que ocurren con el suministro en fresco. Estudios sobre biomasa de melón han mostrado que ajustar la materia seca (por ejemplo, mediante deshidratación en campo o mezcla con materiales secos locales) suele mejorar el perfil fermentativo, mientras que altas inclusiones de fruto o humedad excesiva incrementan pérdidas por efluente y riesgo de fermentaciones indeseables si no se corrige la MS (Nascimento et al., 2023a; Nascimento et al., 2023b).

El empleo de fuentes de nitrógeno no proteico como la urea puede elevar el contenido de proteína cruda y, en ciertos casos, favorecer la estabilidad aeróbica; sin embargo, también puede aumentar el pH y la concentración de nitrógeno amoniacal, con efectos potenciales sobre el aroma y la palatabilidad si la dosis y la MS no se optimizan. Esta dualidad ha sido descrita tanto en biomasa de melón como en forrajes tradicionales (Muck et al., 2018; Araújo et al., 2023).

Bajo condiciones de aridez y estacionalidad forrajera, integrar residuos locales de sandía y melón a ensilados - mezclados con materiales secos regionales (rastrojos, henos o pajas) ofrece una estrategia práctica para modular la MS, aportar fibra efectiva y, en su caso, nitrógeno degradable, reduciendo costos y desperdicios. La optimización del tamaño de partícula, la compactación, el sellado y la relación fruto -planta -coadyuvantes es clave para alcanzar una fermentación homoláctica estable y minimizar pérdidas (Muck et al., 2018).

En este contexto, el presente trabajo evalúa ensilados elaborados con residuos locales de sandía o melón, combinados con fuentes regionales de materia seca y, cuando corresponde, aditivos nitrogenados, con el objetivo de caracterizar su composición en materia seca, pH, proteína cruda y estabilidad aeróbica como insumos para sistemas de producción de rumiantes en climas secos.

Materiales y métodos

La biomasa de melón y sandía fue recolectada después de la cosecha de la fruta comercializable en una propiedad rural localizada en Mapimi y Viesca Durango respectivamente. El clima en la región es desértico seco y la temperatura y precipitación promedio es de 25°C y 240 mm, respectivamente (García, 2004).

La recolección del material del campo se produjo dentro de la temporada de cosecha de la región (mayo-junio). La cosecha de biomasa se realizó 85 días después de la siembra y después de tres cosechas comercializables. La biomasa en ambos casos fue de solo fruto (fruto de desecho, después de tres cosechas del fruto comercial). La variedad de melón fue la 'Gold mine', de hábito de crecimiento rastrero con ramas laterales, regado bajo goteo y cultivado en suelo cubierto por acolchado (en polietileno de 25 micras y 1.20 m de ancho).

Los tratamientos evaluados fueron ensilados de diferentes proporciones de melón, sandía e inclusión o no de urea (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición forrajera de cada ensilado por tratamiento.

Tratamiento	Descripción
STVM	40% heno triticale + 20% vainas de mezquite + 40% frutos de sandía.
STVMU	40% heno triticale + 18% vainas de mezquite + 2% Urea + 40% frutos de sandía.
MTVM	40% heno triticale + 20% vainas de mezquite + 40% frutos de melón.
MTVMU	40% heno triticale + 18% vainas de mezquite + 2% Urea + 40% frutos de melón.

Para elaborar los ensilados, se utilizaron bolsas plásticas de alto vacío. En cada bolsa se colocó un total de 20 kg de forraje. El material vegetal se cortó con un tamaño de partícula e 2.0 ± 0.5 cm. Se pesaron y se mezclaron los forrajes para obtener cada una de las diferentes proporciones de los tratamientos del Cuadro 1. Dichas mezclas se depositaron en microsilos en las bolsas, se compactaron y se extrajo el aire con una bomba de vacío, posteriormente cada bolsa se selló con una capa de polietileno fijada con cinta adhesiva.

Los microsilos se almacenaron y trascurridos 38 días se abrieron y se obtuvieron muestras para analizarlas. Se determinó materia seca (MS), pH, proteína cruda y estabilidad aeróbica. Para ello, las muestras se airearon mezclándolas a fondo en una bolsa de plástico. Se llenó hasta la mitad un cubo de plástico de 1 litros con ensilado suelto y se colocó en el centro un termopar. Se rellenó el cubo con ensilado suelto y se colocó una tapa. Se registraron continuamente los datos de temperatura de cada cubo, así como de los cubos vacíos (temperatura ambiente) utilizando Data Logger. En forma posterior se promediaron para intervalos de 1 hora. La estabilidad se definió como el tiempo (h) necesario para que la temperatura del ensilado superara los + 2.5 °C con respecto a la temperatura ambiente. Los cubos de ensilado se mantuvieron en una sala de temperatura controlada (22 ± 0.5 °C).

El análisis estadístico fue en un diseño completamente al azar. La comparación de medias de mínimos cuadrados se realizó a través de la prueba de Tukey ajustada.

Resultados y discusión

Los resultados del contenido de MS, pH, proteína y estabilidad aeróbica del ensilado se muestran en el Cuadro 2. La MS no difirió entre tratamientos. Por otro lado, los ensilados sin inclusión de urea presentaron un pH más bajo respecto a los ensilados que incluyeron urea. En contraste, el contenido de proteína fue más alto en los ensilados con melón o sandía más urea.

Cuadro 2. Características de la composición química y estabilidad aeróbica de ensilados con inclusión de fruta de melón o sandía de desecho e inclusión o no de urea.

	MS	pH	Proteína	Estabilidad aeróbica
	(%)			(h)
STVM	37.69	3.73 b	10.99 b	86 b
STVMU	38.14	4.58 a	16.38 a	61 a
MTVM	38.46	3.91 b	10.75 b	88 b
MTVMU	37.97	4.51 a	15.87 a	60 a

[ab] Literales diferentes entre columnas indican diferencia estadística (Tukey; α= 0.05).

La ausencia de diferencias en materia seca (MS ≈38%) entre tratamientos indica que la estrategia de modular la humedad con heno de triticale y vainas de mezquite funcionó de manera consistente para ambos tipos de fruto (sandía y melón), lo que concuerda con la literatura que destaca la MS como variable pivote para dirigir una fermentación homoláctica estable y reducir pérdidas por efluente en materiales hortofrutícolas de alta perecibilidad (Muck et al., 2018; Nascimento et al., 2023a, 2023b). Con una MS cercana a 40%, los microsilos tienden a alcanzar un equilibrio favorable entre compactación y ácido láctico, aun cuando la fracción de carbohidratos solubles provenga de pulpas de frutas (Nascimento et al., 2023b).

El pH más bajo en los ensilados sin urea (3.73 – 3.91) frente a los que sí la es coherente con el efecto tampón y la liberación de nitrógeno amoniacal cuando se adiciona urea, lo que puede elevar el pH final y modificar el perfil de ácidos (Muck et al., 2018). Aunque valores de pH por arriba de 4.5 podrían considerarse de mayor riesgo en forrajes húmedos, en este estudio la MS alta mitigó ese riesgo. Además, la presencia de vainas de mezquite y heno de triticale aportó fibra efectiva y, potencialmente, compuestos fenólicos que pueden coadyuvar a limitar fermentaciones indeseables, como se ha señalado para matrices con leguminosas ricas en taninos (Muck et al., 2018).

Por otro lado, la proteína cruda (PC) aumentó sustancialmente con la urea (16 % vs. 10 % sin urea), reflejando la incorporación de nitrógeno no proteico (NNP) disponible para la microbiota ruminal. Este incremento es consistente con reportes en ensilados tratados con urea tanto en forrajes tradicionales (Araújo et al., 2023) como en biomasas de melón cuando se adicionan fuentes nitrogenadas (Nascimento et al., 2023a). No obstante, conviene advertir que dosis elevadas de urea y una hidrólisis rápida pueden elevar el $N\text{-}NH_3$ y afectar olor y palatabilidad; por ello, el balance entre MS, dosis de urea y azúcares fermentables resulta crítico (Muck et al., 2018). En términos prácticos, la combinación de 40% de fruto con 2% de urea y coadyuvantes secos regionales parece una vía eficaz para “fortificar” PC manteniendo una fermentación aceptable.
Un hallazgo relevante fue la disminución de la estabilidad aeróbica con urea frente a los tratamientos sin urea. Este comportamiento sugiere que, en las condiciones de este estudio (microsilos en bolsas al vacío, MS 38% y coensilado con heno de triticale y vainas de mezquite), el pH más elevado y la dinámica de amoníaco tras la apertura no fueron suficientes para inhibir el reinicio de levaduras y mohos; por el contrario, la mayor disponibilidad de nitrógeno degradable pudo favorecer el deterioro aeróbico una vez expuesto el material al oxígeno. Adicionalmente, la ligera reducción de vainas de mezquite (20 % a 18%) al incluir 2% de urea pudo disminuir la fibra efectiva y compuestos fenólicos potencialmente antifúngicos, incrementando la vulnerabilidad al calentamiento. En contextos áridos con suministros intermitentes, esto implica que la inclusión de urea debe acompañarse de controles estrictos de compactación y manejo posapertura (densidad, tasas de extracción diaria y cobertura), tal como recomiendan las guías técnicas para estabilidad aeróbica (Muck et al., 2018).

Respecto al tipo de fruto, no se observaron diferencias sustantivas entre sandía y melón en MS, pH, PC o estabilidad aeróbica cuando se mantuvo constante la proporción (40%) y la matriz seca acompañante. Esto sugiere que, bajo un diseño de mezclado equivalente, las diferencias en perfiles de azúcares o estructura de cáscara y pulpa entre especies no son determinantes si el control de MS y de la densidad de empaque es adecuado; ello coincide con observaciones en mezclas de biomasa de melón donde el ajuste de MS superó, en importancia, la composición exacta de la mezcla (Nascimento et al., 2023a, 2023b).

Desde la óptica de sistemas ganaderos sostenibles y economía circular, los resultados respaldan la valorización local de residuos de sandía y melón como ingredientes para ensilado, con el doble beneficio de reducir pérdidas y desperdicios en la cadena hortofrutícola y abaratar dietas en épocas críticas (FAO, 2023; SIAP, 2024a, 2024b). En particular, el tratamiento con urea ofrece una ruta tecnológicamente simple para elevar la PC y extender la estabilidad aeróbica, siempre que se respeten prácticas de dosificación, mezclado y compactación señaladas en las guías y revisiones técnicas (Muck et al., 2018).

Conclusión

Los residuos locales de sandía y melón ensilados al 40% con heno de triticale y vainas de mezquite permiten alcanzar MS objetivo (38 %) y una fermentación estable. La adición de 2% de urea incrementó la proteína cruda, pero redujo la estabilidad aeróbica en 30 h aproximadamente respecto a los tratamientos sin urea bajo las condiciones evaluadas. No se detectaron diferencias relevantes entre tipos de fruto cuando se controló la MS y la densidad. En sistemas de economía circular para zonas áridas, esta estrategia sigue siendo prometedora; no obstante, la urea debe utilizarse con cautela y acompañarse de un manejo posapertura más estricto. Se recomienda validar en ensayos *in vivo* la ingesta y respuesta productiva.

Referencias

Araújo, M. L., Silva, P. H. F., Rodrigues, J. P. P., & Edvan, R. L. (2023). Sorghum silage with urea on quality and aerobic stability. Animals, 13(12), 1999. https://doi.org/10.3390/ani13121999

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). World food and agriculture – Statistical yearbook 2023. FAO. https://doi.org/10.4060/cc3964en

García E. (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía-UNAM, México

Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung, L., Jr. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of additives. Journal of Dairy Science, 101(5), 3980–4000. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839

Nascimento, R. R. d., Edvan, R. L., Nascimento, K. d. S., Barros, L. d. S., Bezerra, L. R., Miranda, R. d. S., Perazzo, A. F., & Araújo, M. J. d. (2023a). Quality of silage with different mixtures of melon biomass with urea as an additive. Agronomy, 13(2), 293. https://doi.org/10.3390/agronomy13020293

Nascimento, R. R. d., Edvan, R. L., Nascimento, K. d. S., Perazzo, A. F., Bezerra, L. R., Miranda, R. d. S., Barros, L. d. S., & Araújo, M. J. d. (2023b). Characterization of melon (Cucumis melo L.) silage with different biomass mixtures and dry matter contents. Agriculture, 13(8), 1536. https://doi.org/10.3390/agriculture13081536

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024a, 7 de enero). Crece 1.8% producción de sandía a noviembre en México. SIAP–SADER. https://www.gob.mx/siap/articulos/crece-1-8-produccion-de-sandia-a-noviembre-en-mexico

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024b, 22 de enero). Melón mexicano, un fruto con creciente demanda y producción nacional. SIAP–SADER. https://www.gob.mx/siap/articulos/melon-mexicano-un-fruto-con-creciente-demanda-y-produccion-nacional

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS FRUTALES PARA LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES: ENSILADO DE SANDÍA Y MELÓN COMO ALTERNATIVA REGIONAL

Sandra P. Maciel Torres[1]*, L. Danilo Granados Rivera[2], Marco A. López Santiago[1], Pablo Arenas Baez[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental General Terán. *Autor de correspondencia: smacielt@chapingo.mx

Introducción

La caracterización de los carbohidratos estructurales en matrices lignocelulósicas es esencial para predecir el valor nutritivo de insumos alternativos destinados a rumiantes, particularmente cuando se busca valorizar desechos frutales locales (sandía y melón) mediante ensilado. En el sistema detergente, la fibra detergente neutro (FDN) representa la pared celular total (hemicelulosa + celulosa + lignina), estrechamente vinculada con la capacidad de consumo por su efecto de llenado ruminal; la fibra detergente ácido (FDA) constituye una fracción más resistente (celulosa + lignina), usualmente correlacionada negativamente con la digestibilidad global del forraje (Van Soest, 1994).

Funcionalmente, la FDN es un predictor robusto del consumo voluntario y del tiempo de masticación, mientras que la FDA y el grado de lignificación limitan la digestibilidad de la pared celular al proteger físicamente a la celulosa y la hemicelulosa del ataque microbiano. Por ello, incrementos en FDA y lignina se asocian con menores coeficientes de digestibilidad (Mertens, 2002). Dentro de la FDA, la celulosa (polímero β-1,4-glucano) es parcialmente degradable por la microbiota ruminal, mientras que la hemicelulosa—estimable como FDN–FDA—suele ser más susceptible a hidrólisis y fermentación (Van Soest, 1994).

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) constituye un indicador integrado del potencial energético y permite comparar materiales de alta variabilidad composicional, como los residuos de frutos ensilados. El procedimiento de dos etapas—incubación ruminal seguida de pepsina-HCl—descrito por Tilley y Terry (1963) ha servido de base para protocolos modernos de laboratorio, facilitando relacionar divergencias en FDN/FDA, celulosa y hemicelulosa con cambios en la DIVMS.

En matrices de alta humedad como residuos de sandía y melón, el ensilado ofrece una vía de estabilización, pero la composición de la pared celular puede modificarse durante la fermentación: es frecuente la disminución de hemicelulosa (solubilización o hidrólisis parcial) y la mejora de la accesibilidad de la celulosa a las celulasas microbianas, sin reducciones consistentes en lignina. La magnitud de estos cambios depende de la materia seca (MS) al ensilar, de la disponibilidad de azúcares solubles, del pH alcanzado y del uso de aditivos (enzimas o bacterias ácido-lácticas) (McDonald et al., 1991; Muck et al., 2018; Zhao et al., 2018).

Bajo condiciones de aridez y estacionalidad forrajera, integrar residuos locales de sandía y melón a ensilados—mezclados con coadyuvantes regionales para ajustar la MS—permite modular la fracción de pared celular, mejorar el ambiente de fermentación y, potencialmente, elevar la fracción de FDN potencialmente digestible. En este contexto, el presente trabajo cuantifica y compara FDN, FDA, celulosa y hemicelulosa, junto con la DIVMS, en ensilados elaborados a partir de residuos frutales de sandía y melón.

Materiales y métodos

La biomasa de melón y sandía fue recolectada después de la cosecha de la fruta comercializable en una propiedad rural localizada en Mapimi y Viesca Durango respectivamente. El clima en la región es desértico seco y la temperatura y precipitación promedio es de 25°C y 240 mm, respectivamente (García, 2004).

La recolección del material del campo se produjo dentro de la temporada de cosecha de la región (mayo-junio). La cosecha de biomasa se realizó 85 días después de la siembra y después de tres cosechas comercializables. La biomasa en ambos casos fue de solo fruto (fruto de desecho, después de tres cosechas del fruto comercial). La variedad de melón fue la 'Gold mine', de hábito de crecimiento rastrero con ramas laterales, regado bajo goteo y cultivado en suelo cubierto por acolchado (en polietileno de 25 micras y 1.20 m de ancho).

Los tratamientos evaluados fueron ensilados de diferentes proporciones de melón, sandía e inclusión o no de urea (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición forrajera de cada ensilado por tratamiento.

Tratamiento	Descripción
STVM	40% heno triticale + 20% vainas de mezquite + 40% frutos de sandía.
STVMU	40% heno triticale + 18% vainas de mezquite + 2% Urea + 40% frutos de sandía.
MTVM	40% heno triticale + 20% vainas de mezquite + 40% frutos de melón.
MTVMU	40% heno triticale + 18% vainas de mezquite + 2% Urea + 40% frutos de melón.

Para elaborar los ensilados, se utilizaron bolsas plásticas de alto vacío. En cada bolsa se colocó un total de 20 kg de forraje. El material vegetal se cortó con un tamaño de partícula e 2.0 ± 0.5 cm. Se pesaron y se mezclaron los forrajes para obtener cada una de las diferentes proporciones de los tratamientos del Cuadro 1. Dichas mezclas se depositaron en microsilos en las bolsas, se compactaron y se extrajo el aire con una bomba de vacío, posteriormente cada bolsa se selló con una capa de polietileno fijada con cinta adhesiva. Los microsilos se almacenaron y trascurridos 38 días se abrieron y se obtuvieron muestras para analizarlas. Dichas muestras se pesaron en fresco y posteriormente se secaron en un horno de aire forzado a una temperatura de 40 °C hasta llegar a peso constante. Se analizó el contenido de fibra detergente neutro (FDN) fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa celulosa (Van Soest et al. 1991) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) (Tilley y Terry 1963).

El análisis estadístico fue en un diseño completamente al azar. La comparación de medias de mínimos cuadrados se realizó a través de la prueba de Tukey ajustada.

Resultados y discusión

Los resultados del contenido de FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y DIVMS se muestran en el Cuadro 2. La FDN se incrementó con la inclusión de urea. Por otro lado, el mayor valor de FDA se observó en el tratamiento con melón más inclusión de urea. Con respecto al valor de hemicelulosa fue más alta en los ensilados con sandía independientemente si incluían urea o no. La celulosa, de la misma forma se incrementó con la inclusión de urea, no obstante, el valor más alto se observó en el tratamiento con melón más urea. Finalmente, la DIVMS fue más alta en los tratamientos con melón.

Cuadro 2. Características de la composición química y estabilidad aeróbica de ensilados con inclusión de fruta de melón o sandía de desecho e inclusión o no de urea.

	FDN	FDA	Hemicelulosa	Celulosa	DIVMS
	(%)				
STVM	53.05 b	41.26 b	11.79 b	9.92 c	80.24 b
STVMU	55.53 a	41.48 b	14.04 a	12.07 b	84.11 ab
MTVM	52.08 c	41.88 b	10.20 c	11.59 c	85.06 a
MTVMU	54.43 ab	44.69 a	9.74 c	18.65 a	84.95 a

[abc] Literales diferentes entre columnas indican diferencia estadística (Tukey; α= 0.05).

Los resultados muestran que la inclusión de urea elevó la FDN y la celulosa en ambos tipos de ensilado (sandía y melón), con el valor máximo de FDA y celulosa en MTVMU, mientras que la DIVMS fue consistentemente superior en los tratamientos con melón (MTVM y MTVMU). Estos patrones sugieren que, aunque la urea puede modificar la fracción de pared celular cuantificada por el sistema detergente, el potencial fermentativo y la fracción soluble propia de las mezclas con melón sostuvieron una alta digestibilidad global. En matrices de alta humedad y azúcares solubles, la respuesta de la pared celular a la fermentación del ensilado puede no seguir linealmente la relación clásica “FDA alta a digestibilidad baja” cuando coexisten fracciones altamente fermentables que dominan la respuesta in vitro (Van Soest, 1994; Jung, 1995; Tilley & Terry, 1963).

La reducción de hemicelulosa observada en los ensilados con melón respecto a sandía concuerda con la evidencia de que, durante el proceso de ensilado, la hemicelulosa es la fracción más susceptible a solubilización e hidrólisis ácida, disminuyendo su recuperación analítica (McDonald et al., 1991). Estudios de aditivos y manejo del ensilado también han documentado pérdidas de hemicelulosa y una mayor accesibilidad de la celulosa posterior a la fermentación (Muck et al., 2018). En este contexto, el mayor valor de hemicelulosa en sandía sugiere menor solubilización de dicha fracción o, alternativamente, diferencias en el microambiente de fermentación (pH, disponibilidad de carbohidratos rápidamente fermentables y tasas de acidificación) inducidas por la composición específica del fruto, aun compartiendo la base de rastrojo y vainas de mezquite en todas las mezclas (McDonald et al., 1991; Muck et al., 2018).
Con respecto a la urea, su empleo como fuente de nitrógeno no proteico (NNP) puede amortiguar el descenso de pH en etapas tempranas, incrementar el nitrógeno amoniacal y favorecer cambios en la recuperación analítica de la pared celular, explicando en parte el aumento de FDN y celulosa (Muck et al., 2018). Sin embargo, el hecho de que MTVMU exhiba la FDA más alta y, simultáneamente, DIVMS comparable a MTVM, indica que la fracción potencialmente digestible de la mezcla y su cinética ruminal dominaron la respuesta in vitro, atenuando el efecto esperado de una FDA elevada sobre la digestibilidad.

En rumiantes, la relación entre FDA y digestibilidad es negativa pero no absoluta, especialmente cuando la dieta contiene altas fracciones solubles o pectinas que se degradan rápidamente y elevan la producción de ácidos grasos volátiles (Jung, 1995; Van Soest, 1994). En términos funcionales, la FDN continúa siendo un predictor del llenado ruminal y del tiempo de masticación, mientras que la lignificación implícita en la FDA condiciona la degradación de la pared celular (Mertens, 2002). No obstante, las diferencias cuantitativas en FDN/FDA no necesariamente se traducen en diferencias equivalentes en la fracción FDN potencialmente digestible (FDNpd), que depende de la proporción y accesibilidad de hemicelulosa y celulosa protegidas por lignina (Mertens, 2002). Así, la mayor DIVMS en melón sugiere una FDNpd relativamente alta o un pool soluble suficiente para sostener una alta fermentabilidad global a pesar de una FDA mayor en MTVMU.

Finalmente, la variabilidad inherente a rastrojos y vainas de mezquite (componentes mayoritarios de la mezcla) puede modular la respuesta de la pared celular y la DIVMS entre tratamientos con el mismo fruto.

Conclusión

Los ensilados elaborados con residuo de melón mostraron una mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca respecto a los de sandía, aun cuando la inclusión de urea incrementó los valores de FDN y FDA, particularmente en MTVMU. Estos resultados indican que la disponibilidad de fracciones solubles y potencialmente digestibles en las mezclas con melón puede compensar parcialmente el efecto negativo de una mayor FDA sobre la digestión.

Referencias

García E (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía-UNAM, México

Jung, H. G. (1995). Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. Journal of Animal Science, 73(9), 2774–2790. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8582870/

McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. (1991). The biochemistry of silage (2nd ed.). Chalcombe Publications.

Mertens, D. R. (2002). Measuring fiber and its effectiveness in ruminant diets. In Proceedings of the Pacific Northwest Animal Nutrition Conference (pp. 40–66). https://www.nutritionmodels.com/papers/MertensPNC2002.pdf

Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung, L., Jr. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of additives. Journal of Dairy Science, 101(5), 3980–4000. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839

Tilley, J. M. A., & Terry, R. A. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society, 18(2), 104–111. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant (2nd ed.). Cornell University Press. https://doi.org/10.7591/9781501732355

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 74(10), 3583–3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Zhao, J., Yao, J., Li, W., Wang, Y, Wang, S., & Zhou, Y. (2018). Ensiling as pretreatment of rice straw: The effect of hemicellulase on lignocellulosic fraction and enzymatic digestibility. Bioresource Technology, 266, 148–156. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.094

ANÁLISIS DE PUREZA, GERMINACIÓN Y CITOGENÉTICA EN CACTÁCEAS DEL SEMIDESIERTO DE COAHUILA

E. Edith Villavicencio-Gutiérrez[1*], Adriana Hernández-Mateo[2], Ma. Alejandra Torres-Tapia[2], Mariela Villela-Orejon[2], Antonio Cano-Pineda[1], José A. Jimenez-Jimenez[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Saltillo, ctra. Saltillo - Zacatecas km 342+119 No. 9515, Col. Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila. [2] Departamento de Fitomejoramiento, [3]Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. *Autor de correspondencia: villavicencio.edith@inifap.gob.mx

Introducción

El estudio de la mitosis en células vegetales es esencial en citogenética, ya que ofrece una perspectiva de los complejos procesos de división celular y permite la caracterización detallada del comportamiento cromosómico en diversas especies. Las regiones meristemáticas de las raíces jóvenes son las más adecuadas para estas investigaciones debido a sus elevadas tasas de división celular, lo que facilita la identificación de células en diversas etapas del ciclo mitótico (Dante et al., 2014). Estos análisis son cruciales para comprender el crecimiento, el desarrollo y las respuestas de las plantas a los estresores ambientales (Masoud et al., 2013). En el semidesierto de Coahuila, las especies vegetales han desarrollado adaptaciones morfológicas, fisiológicas y genéticas únicas que facilitan su supervivencia en condiciones adversas. Sin embargo, a pesar de su considerable importancia ecológica y su potencial para aplicaciones biotecnológicas, un número significativo de estas especies vegetales no se ha investigado a fondo mediante métodos citogenéticos, explorar el comportamiento mitótico en los tejidos de estas plantas puede aportar información valiosa sobre su estabilidad genética, variabilidad cromosómica y las estrategias adaptativas que emplean para prosperar en ambientes extremos, ofreciendo potencialmente nuevas perspectivas sobre la evolución y la conservación de las plantas (Briseño-Sánchez et al., 2024); por lo que el objetivo de ese trabajo fue evaluar la presencia de células en división mitótica en raíces jóvenes de especies cactáceas del semidesierto de Coahuila a partir de semillas y cultivos *in vitro*, con fines exploratorios citogenéticos.

Materiales y métodos

Semillas por fruto. Se recolectaron frutos maduros de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm., *Mammilloydia candida* (Scheidw.) Buxb. y *Ferocactus histrix* (DC.) G.E. Linds. de las accesiones; CESAL-Fepilo-1, CESAL-Mamcan-9 y CESAL-Fehix-1 respectivamente, provenientes del Banco de Germoplasma de Cactáceas del INIFAP en Saltillo Coahuila. De estas accesiones se obtuvo semillas, mismas que se contaron con la ayuda del software ImageJ® para posteriormente determinar la media por fruto.

Análisis de pureza. Se hizo con el equipo South Dakota a una abertura de 11-12; evaluando semillas puras (SP, %); y en conjunto se consideró la semilla vana y materia inerte (MI,%).

Análisis de germinación. Se hizo una prueba de germinación estándar tras la imbibición de semillas en ácido giberélico (1g/L) por 24 h. Posteriormente, se sembraron en papel filtro húmedo en condiciones controladas en una Cámara de Germinación (Lab-Line modelo 844 Hoffman) a una temperatura de 25°C y con un fotoperiodo de 16:8 h. La prueba de germinación estándar se evaluó a los 7 días después de la siembra (dds), dichos resultados se sometieron a un ANOVA con el programa infostat ®, 2020.

Análisis citogenético. De las plántulas obtenidas de cada especie se colectaron sus raíces con una longitud de 1 cm; la recolecta se hizo cada 30 min en un horario de 08:00 a 13:00 h. Paralelamente, se también se tomaron muestras de dos líneas vegetales *in vitro* (M1 y M2) cultivadas en medio MS (Murashige-Skoog, 1962). Las raíces obtenidas de la germinación estándar y de las plántulas *in vitro* se pretrataron con 8-hidroxiquinolina (0.002 M), se fijaron en Farmer (3:1 etanol absoluto: ácido acético) por 24 h y se tiñeron con aceto carmín (Reyes-Valdés et al., 2000; Nodal-Moreno et al., 2019). Se empleó la técnica de aplastado y observación microscópica con aumentos de 10X y 40X.

Resultados y discusión

Semillas por fruto y análisis de pureza. En promedio, se determinaron 319 semillas por fruto en *F. philosus*, 198 semillas en *M. candida* y 288 semillas en *F. histrix* (DC.) G.E. Linds.; el software ImageJ® permitió eficientar su conteo al ser semillas muy pequeñas (Rojas Medina, 2024). Con *F. histrix* (SP= 98 %) y *F. pilosus* (SP= 96 %) se obtuvo el mayor contenido de semilla pura, este análisis mejoró las características de las muestras (FAO & África Sedes, 2019) (Cuadro 1).

Análisis de pureza y germinación La germinación estándar reveló diferencias significativas entre las especies evaluadas; *F. histrix* (G= 98%) y *F. pilosus* (G= 78%) exhibieron los porcentajes de germinación más altos, reflejando una excelente y buena calidad fisiológica de sus semillas, que de acuerdo con los parámetros del ISTA (ISTA, 2025), ambas especies se consideran con buena calidad seminal con potencial para desarrollar plántulas completas. La calidad fisiológica de la semilla, medida por la germinación estándar, es un indicador robusto de la capacidad que tienen las especies para dar origen a una plántula viable y completa, factor fundamental para la supervivencia. En contraste, *M. candida* mostró un porcentaje de germinación considerablemente menor (G= 56%) en condiciones estándar, e indican una menor viabilidad de la semilla o que esta especie requiere de tratamientos pre-germinativos específicos (escarificación, estratificación en frío/caliente, o remojo en soluciones promotoras de la germinación) para romper la dormancia y alcanzar su máximo potencial germinativo, lo que subraya la necesidad de investigar los mecanismos de dormancia de esta especie para optimizar los protocolos de germinación *ex situ.*

Cuadro 1. Análisis de pureza, ANOVA y prueba de Tukey (α=0.05) de la germinación estándar de cactáceas (*Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm., *Mammilloydia candida* (Scheidw.) Buxb. y *Ferocactus histrix* (DC.) G.E. Linds.

Especie	PTS (g)	NTS	MI (%)	SP (%)	GER (%)	CV	SSG	CV	p-valor	r^2
M. candida	0.903	1806	51	49	56 b	5.058	44 b	6.429	0.00118	0.988
F. pilosus	5.254	4,490	4	96	78 a	0.000	22 a	0.000	0.00118	0.988
F. histrix	3.846	4273	2	98	80 a	0.000	20 a	0.000	0.0018	0.988

PTS: peso total de semillas; NTS: número total de semillas calculado con base al peso de 100 semillas; MI: materia inerte (vanas y livianas); SP: semilla pura; GER: germinación; SSG Semillas sin germinar.

Análisis citogenético. Para las especies en estudio, las mejores definiciones nucleares se obtuvieron en un horario entre las 10:30 y las 13:00 h. Las muestras radiculares de *F. pilosus*, *M. candida* y *F. histrix*, provenientes de plántulas obtenidas por germinación estándar, mostraron células con cromatina más claramente definida en comparación con las muestras *in vitro* (M1 y M2); no obstante, en ninguno de los casos se detectaron fases mitóticas (Figuras 1 y 2).

La observación de una ventana óptima para la definición nuclear entre las 10:30 y las 13:00 h sugiere un ciclo celular sincronizado o una mayor actividad metabólica celular durante este periodo en las especies de cactáceas estudiadas. Este hallazgo es crucial para futuros estudios citogenéticos o de citometría de flujo, ya que una óptima visualización de la cromatina es fundamental para la cuantificación precisa del ADN o la caracterización cromosómica (Sharma & Sharma, 1999). La variación diurna en la actividad mitótica es un fenómeno conocido en diversas especies vegetales, influenciado por factores como la luz, la temperatura y el ritmo circadiano, lo que refuerza la importancia de estandarizar los horarios de muestreo para obtener resultados consistentes y replicables (Endo, 2024).

La superioridad en la definición de la cromatina observada en las células radiculares de plántulas provenientes de germinación estándar, en comparación con las muestras *in vitro* (M1 y M2), podría atribuirse a varios factores; composición del medio de cultivo, condiciones de incubación; o la presencia de reguladores de crecimiento, que pueden inducir estrés fisiológico o alteraciones en el metabolismo celular que afectan la compactación de la cromatina o la integridad nuclear (Dante et al., 2014). Las plántulas *ex situ*, al desarrollarse en un ambiente más natural o con menor intervención química, podrían presentar una fisiología celular más estable y una organización nuclear más representativa de su estado basal.

La ausencia de detección de fases mitóticas, en el horario óptimo para la definición nuclear, no coincidió con el pico de actividad mitótica, lo que hace suponer que las cactáceas, al ser de crecimiento lento, tienen una tasa de división celular naturalmente baja o altamente dependiente a condiciones muy específicas que no fueron consideradas en este estudio.

Los resultados de este análisis sugieren que las técnicas citogenéticas propuestas por Reyes-Valdés et al. (2000) y Nodal-Moreno et al. (2019) no resultaron eficientes para las especies de cactáceas estudiadas. Por lo tanto, en futuros estudios citogenéticos de estas cactáceas, se considera esencial la incorporación de la colchicina como agente químico en el pre-tratamiento de las muestras como lo refiere Tel-Zur et al., (2011) quienes señalan la importancia de la colchicina y su rol como agente antimitótico para facilitar la acumulación de células en metafase y visualizar los cromosomas, lo cual es fundamental en el análisis cromosómico.

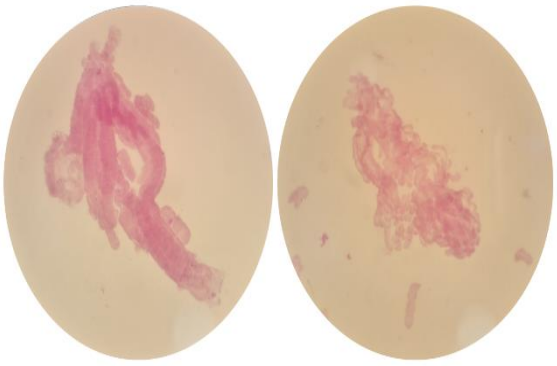


Figura 1. Observación de muestras M1 y M2 obtenidas de raíces in-vitro obtenidas de 8 a 13 horas, observadas a 40x.

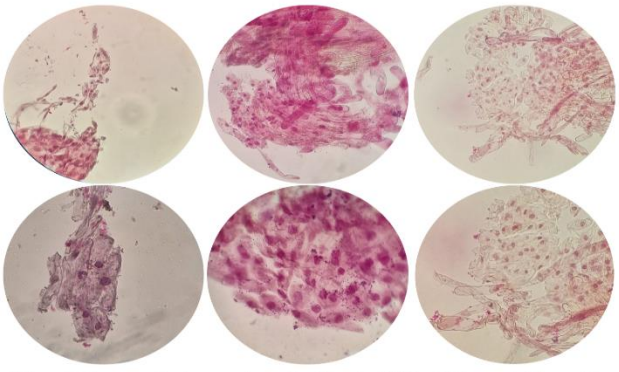


Figura 2. Observación de muestras obtenidas de 10:30 a 13 horas de *M. candida*, *F. pilosus* y *F. histrix, respectivamente;* observadas con microscopio óptico a 10x (superior), 40x (inferior).

Conclusiones

Para estudios citogenéticos en cactáceas en estatus de riesgo, es esencial optimizar el germoplasma con un análisis de pureza de la semilla. Se identificó una ventana horaria óptima (10:30-13:00 h) para la observación nuclear, aunque se sugiere ampliar su estudio. Es fundamental comparar plántulas de germinación convencional e *in vitro*, ajustar los protocolos de pre-tratamiento como la aplicación de colchicina u otros agentes antimitóticos, así como los tiempos de exposición para acumular células en metafase para facilitar la observación de los cromosomas. Estos pasos son cruciales para optimizar la citogenética en estas especies y poder obtener información cariotípica vital para su conservación y mejoramiento.

Referencias

Briseño-Sánchez, M. I., Nava-Osorio, J., Rojas-Aréchiga, M., & Mandujano, M. C. (2024). Efecto de la edad de las semillas en la germinación y la supervivencia de plántulas de Lophophora diffusa (Cactaceae). Acta Botanica Mexicana, 131. https://doi.org/10.21829/abm131.2024.2146

Dante, R. A., Larkins, B. A., & Sabelli, P. A. (2014). Cell cycle control and seed development. Frontiers in Plant Science, 5, 493. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00493

Endo, M. (2024). The Roles of Circadian Clock Genes in Plant Temperature Stress Responses. International Journal of Molecular Sciences, 25(2), 918. https://doi.org/10.3390/ijms25020918

FAO, & AfricaSeeds. (2019).Materiales para capacitación en semillas - Módulo 2: Procesamiento de semillas, equipo y práticas. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/df5f497c-c85f-4960-a93d-76d8524897fd/content#:~:text=registradas%20y%20certificadas).-,BENEFICIOS%20DEL%20PROCESAMIENTO%20DE%20SEMILLAS,alto%20rendimiento%20y%20larga%20conservaci%C3%B3n.

International Seed Testing Association. (2021). Rules proposals for the International rules for seed testing 2021 edition. ISTA. https://www.seedtest.org/api/rm/224ZQ538DVP45P7/ogm20-05-rules-proposals-for-ista-2021.pdf

Masoud, K., Herzog, E., Chabouté, M.-E., & Schmit, A.-C. (2013). Microtubule nucleation and establishment of the mitotic spindle in vascular plant cells.The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology, 75(2), 245–257. https://doi.org/10.1111/tpj.12179

Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum, 15(3), 473-497. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Nodal-Moreno, S. A., Palomino, G., Sierra, P. A., Blanco-Macías, F., Barrientos-Lozano, L., & Flores Gracia, J. (2019). Análisis del tamaño del genoma, poliploidía y patrón endopoliploide en poblaciones de Nopalea cochenillifera (L.) Salm-Dyck (Cactaceae) en Tamaulipas, México. Acta Universitaria, 29, 1–11. https://doi.org/10.15174/au.2019.2238

Reyes-Valdés, M. H., Gómez-Martínez, M., & García-Osuna, H. T. (2000). Número cromosómico y apareamiento meiótico en Turbinicarpus valdezianus (Möller) Glass & Foster (Cactaceae). Acta Botanica Mexicana, 53, 17–25. https://doi.org/10.21829/abm53.2000.859

Rojas Medina, T. (2024). Uso de ImageJ como herramienta para las ciencias y tecnologías de los alimentos. Universidad de Chile. https://doi.org/10.58011/KQ7D-9504

Sharma, A. K., & Sharma, A. (1999). Plant chromosomes: Analysis, manipulation and engineering. CRC Press.

Tel-Zur, N., Mizrahi, Y., Dudai, M., & Raveh, E. (2011). In situ induction of chromosome doubling in vine cacti (Cactaceae). The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 86(4), 405–412. https://doi.org/10.1080/14620316.2011.11512168

MULTIPLICACIÓN IN VITRO DE *Turbinicarpus valdezianus* (H.Moeller) Glass & R.A.Foster CACTÁCEA ENDÉMICA DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE

E. Edith Villavicencio-Gutiérrez[1*], José A. Jiménez-Jiménez [2], Antonio Cano-Pineda[1], Aida I. Leal-Robles [2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo - Zacatecas km 342+119 No. 9515, Col. Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila. [2] Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. *Autor de correspondencia: villavicencio.edith@inifap.gob.mx

Introducción

Nativas del continente americano, las cactáceas son un extenso grupo de plantas con adaptaciones únicas que les permiten sobrevivir en ecosistemas áridos y semiáridos (Guerrero et al., 2019). Sin embargo, a pesar de su resiliencia, la importancia ecológica de muchas de estas especies está amenazada, ya que algunas se desarrollan confinadas en pequeñas poblaciones y sus tasas de regeneración natural son bajas, tal es el caso de *Turbincarpus valdezianus*¸ una cactácea nativa del desierto Chihuahuense, cuyo estatus de conservación ha ameritado su inclusión en listas de protección tanto a nivel nacional como internacional. Las amenazas primordiales a su supervivencia incluyen la pérdida y fragmentación de su hábitat, así como la extracción no sostenible de ejemplares de su medio natural (Cruz-Reyes, 2015).

El cultivo *in vitro* se ha convertido en una herramienta indispensable parar la propagación masiva de plantas, permitiendo así el aprovechamiento sostenible y la conservación de especies como las cactáceas. Por lo que esta técnica se ha convertido en una alternativa viable para la conservación *ex situ* (Park, 2021). En este contexto el uso de reguladores del crecimiento vegetal es indispensables para la inducción de cambios bioquímicos y morfológicos, que influyen en el desarrollo de las *vitroplantas* (Ventura et al., 2020). En la etapa de multiplicación, las citoquininas como; la 6-bencilaminopurina (BA) y la kinetina (KIN) promueven la división y la activación de meristemos axilares, por su parte las auxinas como; el ácido naftalenoacético (ANA) y el ácido indolbutírico (AIB) pueden modular este efecto dependiendo de la concentración y relación con la citoquinina (Hönig et al., 2018; Glanz-Idan et al., 2020).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes combinaciones de fitoreguladores, así como su concentración, sobre la multiplicación *in vitro* de *T. valdezianus*, con el fin de optimizar protocolos para su propagación y conservación.

Materiales y métodos

Se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del CESAL (CIRNE-INIFAP). Se estableció mediante un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 2×2; Factor A (Concentración 2 niveles): Baja: 2.5 mg/L de citoquinina + 0.25 mg/L de auxina y Alta: 5.0 mg/L de citoquinina + 0.50 mg/L de auxina. Factor B (Tipo de regulador de crecimiento 2 niveles): BA + ANA (6-bencilaminopurina + ácido α-naftalenacético) y KIN + AIB (kinetina + ácido indolbutírico); generando cuatro tratamientos: T1: BA (2.5 mg/L) + ANA (0.25 mg/L); T2: BA (5.0 mg/L) + ANA (0.50 mg/L); T3: KIN (2.5 mg/L) + AIB (0.25 mg/L); T4: KIN (5.0 mg/L) + AIB (0.50 mg/L) (Cuadro 2). Se estableció como UE=5 explantes por frasco, cada frasco se consideró como una repetición estableciendo 12 repeticiones por tratamiento, evaluando 60 explantes por tratamiento. En total en este ensayo se evaluaron 240 unidades experimentales. Se consideró como explantes segmentos de tallo sin ápice, provenientes de *vitroplantas* de semillas de la accesión CESAL-Turval-2.

Los explantes se incubaron por ocho semanas, evaluando como variables de respuesta: número de brotes por explante (Nb) y altura de brote (Al, mm), para determinar la tasa de multiplicación por tratamiento. En este ensayo se planteó la hipótesis nula $H_0=\mu T_1 = \mu T_2 = \mu T_3 = \mu T_4$ donde ninguno de los factores tiene efectos sobre la variable respuesta, vs H_1 donde al menos una de las medias de tratamiento difiere de las demás, y existe un efecto significativo de alguno de los factores. Con la información se verificaron los supuestos de normalidad.

Análisis estadístico Para validar el modelo, se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianza (Bartlett y Levene), e independencia de errores (Durbin-Watson). Además, se realizó la prueba de no aditividad del modelo (Tukey). Finalmente, se determinaron el coeficiente de variación (CV, %) y el coeficiente de determinación (R^2). Cuando existieron diferencias estadísticas, se aplicó la comparación de medias de Tukey (α=0.05). El análisis se hizo con el entorno estadístico R (versión 4.3.2; R Core Team, 2025) utilizando las librerías: 'tidyverse', 'agricolae', 'ARTool', 'emmeans', 'dplyr', 'MASS' y 'car'.

Resultados y discusión

Se verificaron los supuestos del modelo ANOVA; la variable número de brotes por explante (Nb) se analizó de forma paramétrica; la prueba de Shapiro-Wilk (p=0.2679) y Levene (p=0.3052), confirmar normalidad y homogeneidad de varianzas. Con la altura de brotes (Al) los supuestos de normalidad no se cumplieron, a pesar de que se hizo la transformación Box-Cox (λ = –0.30), por lo que se usó un modelo no paramétrico para el ANOVA (ART) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Supuestos de normalidad para el número y altura de brotes obtenidos en la multiplicación in vitro de Turbincarpus valdezianus en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales CESAL (CIRNE-INIFAP).

Variable	Prueba de Normalidad		Homogeneidad de varianza	Independencia de errores			ANOVA
	W	Valor-p	Valor-p	Valor-p	CV	R^2	Valor-p
Nb	0.99398	0.2679	0.3052	0	35.88	0.0559	$8.02E^{-04}$
Al	0.97235	$2.20E^{-16}$	0.2118	0.254	21.77	0.0735	0.984
Al (BC)	0.90575	$7.13E^{-13}$	0.09872	0.598	8.76	0.065	$8.00E^{-01}$

Coeficiente de variación (CV); Coeficiente de determinación (R^2)

Número de brotes. El análisis factorial reveló efectos significativos en el tipo de Fitoregulador (p=3.87 E-02) y en la interacción Concentración x Fitoregulador (p=8.02E-04). No se detectó efecto significativo de la concentración por si sola (p=1.53E-01) (Cuadro 2). La combinación 2.5 +0.25 mgL^{-1} de KIN + AIB produjo el mayor número de brotes (Nb=8.36), superando BA +ANA. Estos resultados coinciden con otros estudios en cactáceas como: *Turbinicarpus pseudomacrochele* y *Epitelantha micromeris*, donde combinaciones KIN con una auxina como AIB o AIA favorecieron la brotación (Orozco-Sifuentes et al., 2014; Villavicencio et al., 2012; Soltero y Portillo, 2015).

Cuadro 2. Niveles de significancia del ANOVA para las variables dependientes de T. valdezianus

FV	GL	Nb valor de P	Al
Factor A (Concentración)	1	1.53E-01	3.7224E-10 ***
Factor B (Tipo de Fitoregulador)	1	3.87 E-02 *	1.53E-03**
Interacción A×B	1	8.02E-04***	2.01E-01

FV = Fuente de variación; GL = Grados de libertad; *** = Diferencias muy altamente significativas (0.001); ** = Diferencias altamente significativas (0.01); * = Diferencias significativa (0.05).

La prueba de Tukey (α=0.05) confirmo que la combinación de KIN+AIB (7.67 brotes/explante) fue superior a BA+ANA (7.4 brotes/explate) (Figura 1) e indica que la kinetina induce divisiones más controladas y una menor tasa de vitrificación; mientras que BA, aunque más potente, puede causar una proliferación desorganizada (Prathanturarug et al., 2000). Además, AIB presenta menor toxicidad y mayor estabilidad dentro del organismo comparado con AIA o ANA (Mesén, 1998).

Para el factor concentración, no se encontraron diferencias significativas esto sugiere que el equilibrio hormonal es más relevante que la dosis (George et al., 2008; Ávalos, 2010). La percepción hormonal pude ser dependiente de la sensibilidad del tejido y la distribución de las señales más que de su cantidad total (Davies, 2010).

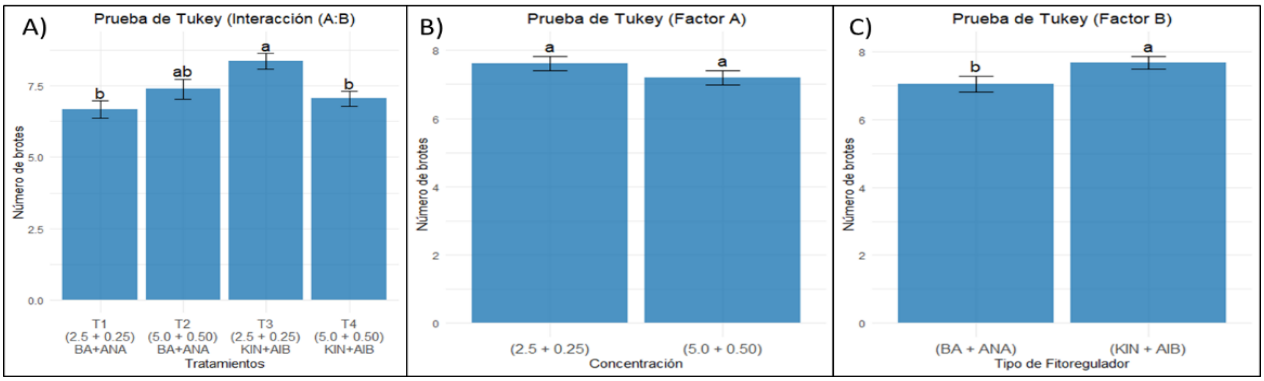


Figura 1. Efecto de fitoreguladores en la proliferación de brotes. **A)** Interacción de tratamientos (concentración y tipo de fitoregulador). **B)** Efecto de la concentración. **C)** Efecto del tipo de fitoregulador. Las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Altura de brotes (Al). De este análisis se encontraron efectos significativos en la concentración (p= 1.53E-03) y en el tipo de fitoregulador (p = 1.50E-03), sin interacción significativa (p = 2.01E-01) (Cuadro 2).

El análisis post hoc mostró que no hubo diferencia entre las combinaciones entre AxB; lo cual puede explicarse como una posible saturación hormonal en el rango evaluado, donde las células ya han alcanzado su máximo nivel de respuesta hormonal, por lo tanto, los efectos aditivos o antagónicos no fueron detectables (George et al*.,* 2008) (Figura 2).

Respecto al tipo de fitoregulador, BA + ANA promovió mayor altura (171 ± 7.44 mm) que KIN + AIB (139 ± 6.58 mm). Este resultado coincide con otros estudios donde BA estimula la elongación cuando se combina con auxinas con alta motilidad como ANA (Mazariegos, 2011). En contraste, KIN + AIB podría favorecer estructuras más compactas (Kirkham y Holder, 1981). Respecto a la concentración; la concentración baja (2.5 + 0.25 $mg \cdot L^{-1}$) promovió mayor altura de brotes ($p <$ 1.00E-04), (184 ± 6.84 mm) que la dosis alta (5.0 + 0.50 $mg \cdot L^{-1}$; 123 ± 6.47 mm); lo que sugiere que dosis moderadas pueden ser más efectivas para el crecimiento en altura.

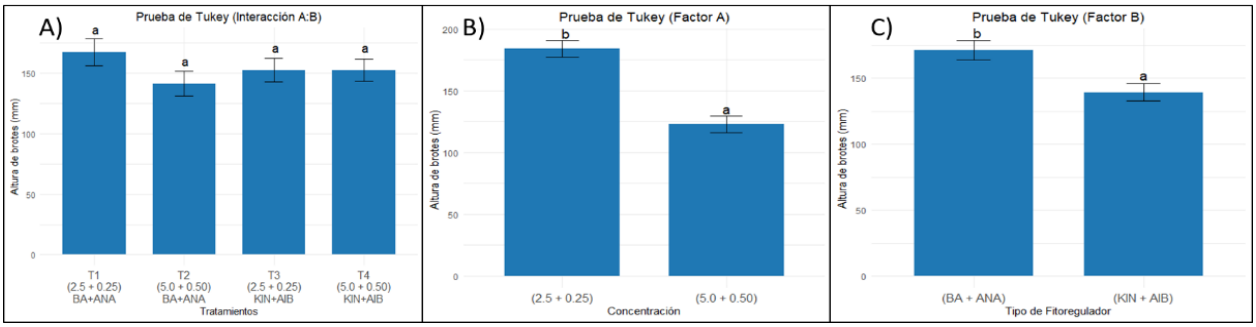


Figura 2. Efecto de fitoreguladores en la altura de brotes. **A)** Interacción de tratamientos (concentración y tipo de fitoregulador). **B)** Efecto de la concentración. **C)** Efecto del tipo de fitoregulador. Las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Conclusiones

El tipo de fitorregulador y su interacción con la concentración influye significativamente en la brotación *in vitro* de *Turbinicarpus valdezianus.* La combinación KIN + AIB en dosis bajas promovió el mayor número de brotes; mientras que BA + ANA favoreció el alargamiento de plántulas. Esto sugiere que la elección del fitorregulador y el equilibrio hormonal son más determinantes que la dosis por si sola. El uso de concentraciones moderadas resulta más eficaz tanto para la multiplicación como para el crecimiento en altura, lo que representa una base sólida para optimizar protocolos de micropropagación en cactáceas.

Referencias

Ávalos Tello, M. A. (2010). Niveles de concentraciones de fitorreguladores BAP y AIB y su efecto en la multiplicación in vitro de segmentos nodales en Myrciaria dubia (HBK) Mc Vaugh, camu camu.

Cruz Reyes, J. D. L. (2015). Distribución, asociación y evaluación del estado de salud del (Turbinicarpus valdezianus Glass & Ra foster), en tres municipios del estado de Coahuila, México.

Davies, P. J. (2010). Regulatory factors in hormone action: Level, location and signal transduction. In Plant hormones: Biosynthesis, signal transduction, action! (pp. 16-35). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7

George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G. J. (2008). Plant propagation by tissue culture 3rd Edition. The Netherland, The Back Ground Springer, 65-175. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3

Glanz-Idan, N., Tarkowski, P., Turečková, V., & Wolf, S. (2020). Root–shoot communication in tomato plants: cytokinin as a signal molecule modulating leaf photosynthetic activity. Journal of Experimental Botany, 71(1), 247-257. https://doi.org/10.1093/jxb/erz399

Guerrero, P. C., Majure, L. C., Cornejo-Romero, A., & Hernández-Hernández, T. (2019). Phylogenetic relationships and evolutionary trends in the cactus family. Journal of Heredity, 110(1), 4-21. https://doi.org/10.1093/jhered/esy064

Hönig, M., Plíhalová, L., Husičková, A., Nisler, J., & Doležal, K. (2018). Role of cytokinins in senescence, antioxidant defence and photosynthesis. International journal of molecular sciences, 19(12), 4045. https://doi.org/10.3390/ijms19124045

Kirkham, M. B., & Holder, P. L. (1981). Water osmotic and turgor potentials of kinetin-treated callus. HortScience 16, 306-307.

Mazariegos, C. A. (2011). Evaluación de tres concentraciones de auxinas (ANA) y cinco de citocinas (BAP) en la propagación in vitro del piñon (Jatropha curcas L.). Cultivar cabo verde (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).

Mesén, F. (1998). Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: Uso de Propagadores de sub-Irrigación. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE. Turrialba, Costa Rica.1998. 33p.

Orozco-Sifuentes, M. M., Escobedo-Bocardo, L., Reyes-Valdés, H., Torres-Tapia, A., & María-Ochoa, A. (2014). Propagación in vitro de Epithelantha micromeris (Engelm.) A. Weber ex Britt & Rose (Cactaceae), especie con protección especial. Agraria, 11(3), 91-96.

Park, S. (2021). Plant tissue culture: techniques and experiments. Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2019-0-03169-X

Prathanturarug, S., Soonthornchareonnon, N., Chuakul, W., Phaidee, Y., Ruffoni, B., & Mascarello, C. (2000). La propagazione dei Limonium ornamentali speciale Limonium. Flortecnica, 5, 101-110.

Soltero, Q. R., & Portillo, L. (2015). Micropropagación de cactáceas mexicanas amenazadas. Bol. Nakari. 26 (2): 13-17.

Ventura, R. B., Otiniano, A. J., & Huamán, L. A. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. Journal of the Selva Andina Biosphere, 8(2), 150-164. https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150

Villavicencio Gutiérrez, E. E., González Cortés, A., & Carranza Pérez, M. A. (2012). Micropropagación de Epithelantha micromeris (Engelm.) FAC Weber ex Britt. & Rose cactácea ornamental y recurso fitogenético del desierto chihuahuense. Revista mexicana de ciencias forestales, 3(14), 83-102.

ELABORACIÓN DE BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SOLIDO A PARTIR DE VAINA DE MEZQUITE

Aurora Martínez-Romero[1]*, José Luis Ortega-Sanchez[2], Artemio Carillo-Parra[3], Carlos Martínez-Castañeda[1], Jesús Gabriel López-Martínez[1]

[1]Facultad de Ciencias Químicas Unidad Gómez Palacio. Universidad Juárez del Estado de Durango. [2]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México. [3]Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA) *Autor de correspondencia: aurora.martinez@ujed.mx

Introducción

Actualmente, la biomasa y los biocombustibles se consideran fuente de energía alternativos prometedores y sostenibles debido a su renovabilidad, reducción de emisión de gases tóxicos y biodegradabilidad (Benavidez, 2018). La producción de biocombustibles se basa principalmente en productos de uso alimenticio, generando esto un conflicto a la hora de utilizar los mismos y la utilización de combustibles fósiles, la principal causante de CO_2 en el ambiente, dos razones por las cuales es importante explorar fuentes alternativas que contrarresten está problemática (Samaniego-Bordón et al., 2022). Los diferentes insumos para la producción de biocombustibles, entre los que se destacan la caña de azúcar, trigo, girasol y soja, representan una de las causas del incremento de los precios de los alimentos a nivel mundial (Samaniego-Bordón et al., 2022). Una importante alternativa para la mitigación del cambio climático es la sustitución de los combustibles fósiles por la inserción de energías renovables en la matriz energética. La disponibilidad de combustibles fósiles está disminuyendo rápidamente, lo que ha llevado a la humanidad a buscar alternativas energéticas. Este cambio se debe a la disminución de las reservas de crudo convencional, el aumento en la demanda de energía y la preocupación por el medio ambiente (Cuevas-García & Nava-Bravo, 2021). El uso excesivo de combustibles fósiles, impulsado por la creciente crisis mundial demanda energética, ha contribuido significativamente al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente CO_2 a la atmósfera. El mezquite (*Prosopis juliflora*) en Sudán es una planta leñosa perenne, caracterizado por un fuerte sistema de raíces y con la capacidad de crecer en una amplia gama de condiciones ambientales. Estos árboles pueden alcanzar una altura de 6 a 9 m (20 a 30 pies), aunque en la mayor parte de su rango son del tamaño de un arbusto. Las ramitas tienen una forma característica en zigzag (Abdollaah et al., 2019). En las décadas de los 70's y 80's se difundió ampliamente en Sudán con el fin de abordar los problemas de las zonas áridas y semiáridas para producción de leña como combustible, vainas para forraje, estabilización del suelo y como medio para detener el proceso de desertificación (Abdollaah et al., 2019). Las vainas del mezquite son el fruto, las cuales son amarillentas, delgadas y corresponden al 56% del peso total del fruto, el endocarpio representa un 35% mientras que las semillas un 9%. Las semillas de este género se encuentran encerradas por un endocarpio duro o carcaza, el cual difícilmente puede ser abierto de forma manual (Valencia et al., 2020). Algunas especies comunes de mezquite son: mezquite miel, terciopelo y rastrero. A fines de 1947 y posteriormente en 1965, se reintrodujo en el Este de Sudán, donde se plantó en un cinturón verde alrededor de Kassala, la sequía que prevaleció en la década de los 70's resurgió el interés por el mezquite. En 1974, las semillas de mezquite fueron lanzadas por aviones alrededor de Kassala y luego se plantaron en bosques protegidos.

Las hojas y vainas de *Prosopis* pueden ofrecer una fuente económica de alimento (Abdollaah et al., 2019). El consumo energético se ha incrementado notablemente en las últimas décadas. En paralelo, el calentamiento global del planeta y sus consecuencias, son cada vez más patentes. Los pellets y briquetas se caracterizan por una menor humedad, un mayor poder calorífico, una forma uniforme, una combustión clara y una reducción de cenizas (Dula et al., 2024). La elaboración de briquetas consiste en compactar materiales como aserrín, viruta de madera, residuos agrícolas, o incluso carbón vegetal, para formar bloques compactos que sirven como combustible. Por ello, resulta imprescindible adoptar medidas que permitan reducir el impacto medioambiental como el calentamiento global, la degradación de ecosistemas, pérdida de biodiversidad, y afectación a la salud de los seres vivos. En este escenario, los biocombustibles son una de las mejores alternativas, ya que son hechos a base de los recursos orgánicos y no dañan el medio ambiente. La pirolisis es un proceso que transforma materiales residuales en una fuente de energía más eficiente y fácil de usar. Por lo que, el objetivo del presente proyecto fue elaborar briquetas como biocombustible solido a partir de vaina de mezquite.

Materiales y métodos

Investigación transversal, analítica y prospectiva. El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Químicas de la UJED y en los laboratorios del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA). La vaina de mezquite se colecto en la Comarca Lagunera de Durango. En esta investigación, la variable independiente es el tipo de biomasa utilizada para la elaboración de las briquetas (vaina de mezquite). Las variables dependientes son el poder calorífico, el tiempo de combustión, la temperatura alcanzada y la eficiencia térmica. Para asegurar la validez de los resultados, se controlaron variables como el tamaño de las briquetas, las condiciones de secado, el equipo utilizado y el entorno en el que se realizaron las pruebas. La cantidad de muestra recolectada fue de 3,200 g. En las Figuras 1 y 2 se observa el proceso de pirolisis que se llevó a cabo para la obtención de las briquetas y en el cuadro 1 se pueden ver el proceso que se obtiene al someter a las vainas bajo diferentes temperaturas.

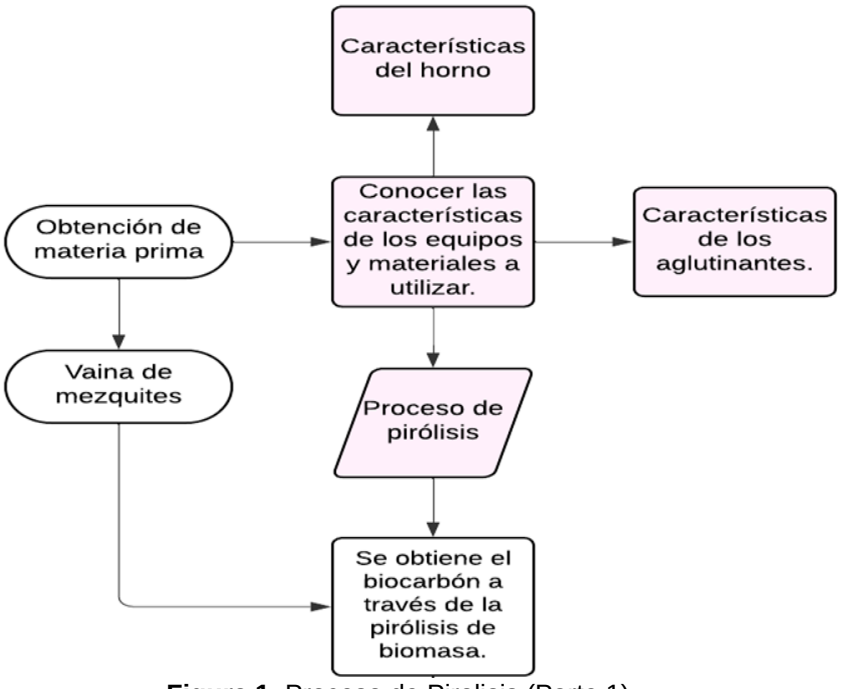


Figura 1. Proceso de Pirolisis (Parte 1).

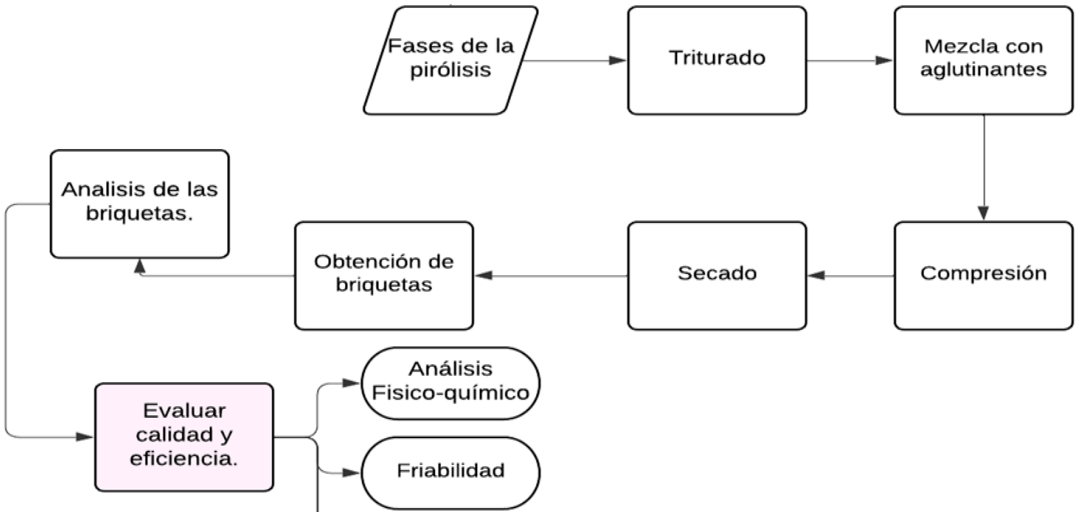


Figura *2*. Proceso de Pirolisis (Parte 2).

Cuadro 1. Temperatura y procesos por los cuales se desarrolla la pirólisis.

Temperatura	Procesos
Temperatura de secado (100-200°C)	Eliminación de la humedad y volátiles. Preparación del material para la pirolisis.
Temperatura de descomposición primaria (200-400°C)	Inicio de la descomposición térmica de los compuestos orgánicos. Formación de vapores y gases.
Temperatura de cracking (400-600°C)	Descomposición de moléculas complejas en moléculas más simples. Formación de hidrocarburos y otros compuestos.
Temperatura de carbonización (600-1000°C)	Descomposición completa de los compuestos orgánicos. Formación de carbón y gases.

Resultados y discusión

Se obtuvo el biocarbón a través de la pirolisis de biomasa, proceso termoquímico que descompone materiales orgánicos, como residuos agrícolas o forestales, mediante calor en ausencia de oxígeno. Se realizo el triturado, mezcla con aglutinantes, compresión, secado y obtención de briquetas como producto final. Se obtuvieron 80 briquetas, con un peso de 40 g cada una (Figura 3). Se elaboraron briquetas como biocombustible solido a partir de vaina de mezquite. Según Dula y colaboradores (2024) los biocombustibles sólidos, especialmente los de origen maderero, en comparación con los combustibles fósiles, además de bloquear el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, también ayudan a reducir las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno. Como alternativa a los combustibles fósiles, la biomasa se utiliza cada vez más, ya que se considera una fuente de energía neutra en términos de emisiones de carbono, una de las formas importantes de utilización de energía de biomasa es el biocombustible granulado (Petlickaite et al 2024).

Los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico realizado a la vaina de mezquite fueron: humedad baja (~5–9% en materia prima seca), materia volátil alta (~70–88%), ceniza relativamente baja (~0.2% hasta 3–6%), y poder calorífico bruto (HHV) en rango útil para briquetas ≈18–27 MJ/kg. Estas características la hacen adecuada como materia prima para elaboración de briquetas, con la ventaja de buen contenido energético y relativamente baja fracción mineral en muchas poblaciones.

Figura 3. Briquetas.

En el presente proyecto se desarrolló el proceso de pirolisis para la obtención de briquetas como biocombustible para fuente de energía, creado a partir del biocarbón. Al respecto, Ameh y colaboradores (2024) publicaron que pirólisis es un proceso termoquímico que descompone biomasa o materiales poliméricos en un ambiente inerte o con oxígeno reducido, lo que genera gases, vapor condensable y residuos sólidos. Se considera una técnica eficaz, rentable y útil en el tratamiento y la gestión de residuos y en la generación de energía. También es la técnica básica de conversión termoquímica utilizada en la transformación de residuos en productos valiosos.

Conclusiones

La vaina de mezquite es biomasa lignocelulósica con buena proporción de compuestos combustibles y baja ceniza, según su análisis fisicoquímico. Se logró la elaboraron de 80 briquetas como biocombustible solido a partir de 3,200 g de vaina de mezquite. Fuente energética que permite reducir el impacto medioambiental de contaminantes atmosféricos derivados de óxidos de azufre y de nitrógeno que contribuyen a la lluvia ácida y a otros problemas ambientales. En este escenario, los biocombustibles son una de las mejores alternativas, ya que son hechos a base de los recursos orgánicos y no dañan el medio ambiente.

Referencias

Abdollaah, A.T., Barakat, T.A., & Abdalla, M.E. (2019). Medicinal Properties of Local Plants. East African Scholars J Agri Life Sci, 2(4): 179-184.

Ameh, V. I., Ayeleru, O. O., Nomngongo, P. N., & Ramatsa, I. M. (2024). Bio-oil production from waste plant seeds biomass as pyrolytic lignocellulosic feedstock and its improvement for energy potential: A review. Waste Management Bulletin, 2(2), 32-48.

Cuevas-García, R., & Nava-Bravo, I. (2023). Producción de combustibles renovables. Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología, 16(30).

Dula, M., Kraszkiewicz, A., & Parafiniuk, S. (2024). Combustion efficiency of various forms of solid biofuels in terms of changes in the method of fuel feeding into the combustion chamber. Energies, 17(12), 2853.

Petlickaitė, R., Jasinskas, A., Venslauskas, K., Navickas, K., Praspaliauskas, M., & Lemanas, E. (2024). Evaluation of Multi-Crop Biofuel Pellet Properties and the Life Cycle Assessment. Agriculture, 14(7), 1162.

Samaniego Bordón, A. M., Ayala Alviso, N. B., & Casanueva Ojeda, M. E. (2022). Generación de biomasa a partir de Chlorella vulgaris a escala industrial. Revista Científica de la UCSA, 9(1), 3-14

Valencia, D., Rueda, E., Leyva, M., Mazón, S., & Ortega, J. (2020). Compuestos bioactivos, actividad antioxidante y perfil de ácidos grasos en aceite de semilla de Mezquite (Prosopis spp). Archivos latinoamericanos de nutrición, 70(1), 50-59.

ESTRATEGIAS DE MUESTREO DE SITIOS PERMANENTES DE RESTAURACIÓN EN ZONAS ÁRIDAS

José Germán Flores-Garnica [1], Diana Yemilet Avila-Flores [2*]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP, CIRPAC- Campo experimental Centro Altos. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP, CIRNE- Campo Experimental Saltillo. *Autor de correspondencia: avila.diana@inifap.gob.mx

Introducción

Las zonas áridas y semiáridas cubren amplias porciones del noroeste y norte de México abarcando un poco más de la mitad del territorio del país. En estos ecosistemas se alojan matorrales xerófilos y pastizales con alta especialidad florística y adaptaciones a la escasez hídrica (Pérez -Aguirre et al*.,* 2021). Estudios recientes que cartografían y clasifican estas zonas confirman su extensión y heterogeneidad ecológica en el país, destacando presiones crecientes por desertificación y cambio en la aridez climática desde mediados del siglo XX. (Tereshchenko et al*.,* 2015)

En este contexto, los incendios forestales, ocasionados por rayos, manejo agropecuario o igniciones antrópicas, actúa como perturbador clave que reconfigura la estructura y composición de estas comunidades (Ugalde de la Cruz et al., 2023). En México, los matorrales xerófilos, aunque no concentran la mayor densidad de “puntos de calor”, sí sufren pérdidas por incendios y muestran respuestas ecológicas variables según el tipo de vegetación, la frecuencia y la severidad del evento. Ecosistemas como el matorral espinoso tamaulipeco sufren cambios post-incendio en estructura y diversidad, así como alteraciones del banco de semillas del matorral xerófilo y efectos sobre interacciones suelo–planta, evidenciando que la regeneración puede ser selectiva y dependiente de la historia del sitio, la severidad y el régimen de precipitación (Graciano-Ávila et al., 2018). A nivel de paisaje, análisis con imágenes y métricas de patrón espacial muestran cómo los incendios modifican la configuración del territorio (fragmentación, conectividad), información crucial para orientar trabajos de restauración y seguimiento de la recuperación vegetal. Incorporar sistemas con protocolos de campo (seguimiento de plántulas, banco de semillas, diversidad y estructura) permite evaluar la trayectoria de la regeneración y la resiliencia de los ecosistemas áridos y semiáridos frente a incendios cada vez más condicionados por sequías y variabilidad climática (Alva-Álvarez et al., 2018).

No obstante, el monitoreo de estas áreas requiere alta capacidad de personal, tiempo y recursos. Por lo cual es importante estandarizar estrategias de evaluación que eficienticen el trabajo y los resultados sean homogéneos para así poder comparar áreas. Es por esto que se ha trabajado en estandarizar la toma de datos en campo, la captura de la información, la evaluación de resultados y la generación de análisis mediante la implementación de sitios permanentes de la evaluación de la restauración SIPER, resultando en un sistema de evaluación integral.

Materiales y métodos

Área de estudio- El área de estudio se encuentra en el predio conocido como la Coyotera II en el Municipio de Artiga Coahuila (25°26'53.27"N 100°38'213.23"W), esta zona fue impactada por un incendio forestal del 14 al 25 de mayo del 2022, el cual fue provocado por descarga eléctrica, afectó un total de 300 ha de las cuales se reporta un daño por estratos de 71 ha de arbolado adulto, 10 ha de renuevo, 100 ha de arbustos y 119 ha de herbáceas.

Severidad del incendio- Para evaluar los cambios en la vegetación, se trabajó con imágenes satelitales Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 (USGS, 2023), con una resolución espacial de 30 m. Para evaluar la severidad del incendio, se utilizaron dos imágenes una antes del incendio y otra justo después del incendio. En cada imagen, se calculó el índice NBR mediante la ecuación 1 (Key y Benson, 2006).

$$\mathrm{NBR} = ((\mathrm{NIR} - \mathrm{SWIR}))/((\mathrm{NIR} + \mathrm{SWIR})) \quad (1)$$

Donde: NBR = índice de área quemada normalizada; NIR = infrarrojo cercano (banda 5); SWIR = infrarrojo de onda corta (banda 6). Con estas dos imágenes de NBR, se calculó el diferencial de área quemada normalizada (dNBR) según la ecuación 2 (Key y Benson, 2006).

$$\mathrm{dNBR} = (\mathrm{NBR\,pre-incendio} - \mathrm{NBR\,post-incendio}) \quad (2)$$

A partir del índice dNBR, se identificaron las siguientes condiciones (modificado de Silva-Cardoza et al., 2021): 1) severidad baja (0.1 – 0.269); 2) severidad media (0.27 – 0.439); 3) severidad alta (< 0.44); y 4) ausencia de incendio (< 0.1) (zonas fuera del polígono incendiado, para manejar un control). Esta información se cotejó con mapas de caminos y tenencia de la tierra para asegurar la accesibilidad a los sitios. Finalmente se verificó en campo el grado de severidad mediante la evaluación visual del de impacto del fuego en las copas de los árboles (Cadena-Zamudio et al., 2022).

SIPER. Para poder establecer estrategias de manejo de la restauración después del impacto de un incendio forestal primeramente es necesario conocer la respuesta del ecosistema ante este impacto. Para lo cual se establecen sitios permanentes de la evaluación de la restauración (SIPER), los cuales se deben de establecer en las diferentes severidades de impacto del incendio para conocer, evaluar y monitorear la respuesta de la vegetación ante diferentes situaciones y también se deben de establecer SIPER en áreas con las mismas condiciones de la vegetación pero que no hayan sido perturbadas por el fuego, para tener un punto de comparación del ecosistema. Es importante establecer mínimo tres SIPER en cada una de estas condiciones para así respetar la variabilidad estadística y obtener resultados estadísticamente comparables en las evaluaciones.

En cada uno de estos sitios de evaluación (SIPER) (Figura 1) se toma dados de arbolado adulto, regeneración, sotobosque y material combustible. Para dar una perspectiva amplia de las condiciones del ecosistema.

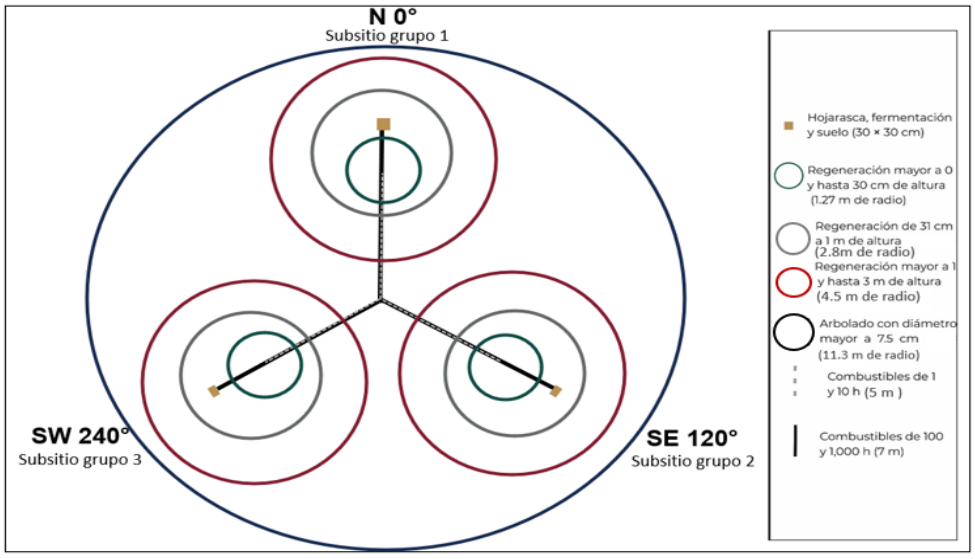


Figura1. Estructura de los sitios permanentes de evaluación de la restauración (SIPER), con los diferentes aspectos que se evalúan.

Resultados y discusión

Se ha establecido una metodología estándar para la evaluación de áreas impactadas por el fuego y su regeneración. Identificando primeramente la severidad del impacto del fuego mediante imágenes satelitales anteriores y posteriores al incendio haciendo uso del índice NBR para el incendio denominado La Coyotera II. En la figura 2a se puede observar que antes del incendio la imagen NBR de la zona de vegetación se percibe generalmente homogénea, con valores muy similares a lo largo del territorio, sin embargo, en la imagen NBR posterior al incendio (Figura 2b) se puede observar el polígono afectado por el incendio de color más obscuro, sacando una diferencia entre estos dos valores se obtiene una imagen dNBR con el grado de severidad del fuego sobre esa área de vegetación en específico y para ese momento en el tiempo (Figura 2c).

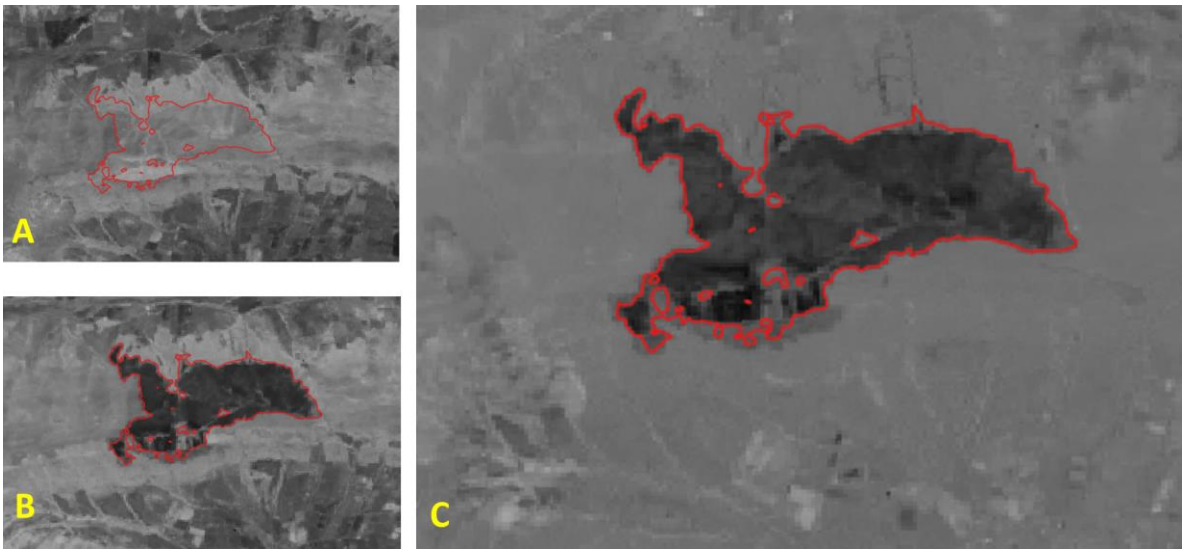


Figura 2. A) Imagen NBR antes del incendio; B) Imagen NBR despues del incendio; C) Imagen dNBR

Con la imagen dNBR clasificada con los grados de severidad se puedo identificar y ubicar geográficamente las áreas de severidad baja (amarillo), severidad media (naranja) y severidad alta (rojo) y las áreas no afectadas por el fuego (verde) (Figura 2). Con base a esto se planearon las salidas al campo donde se validaron las clasificaciones mediante la observación directa de la vegetación y se ubicaron los SIPER de evaluación.

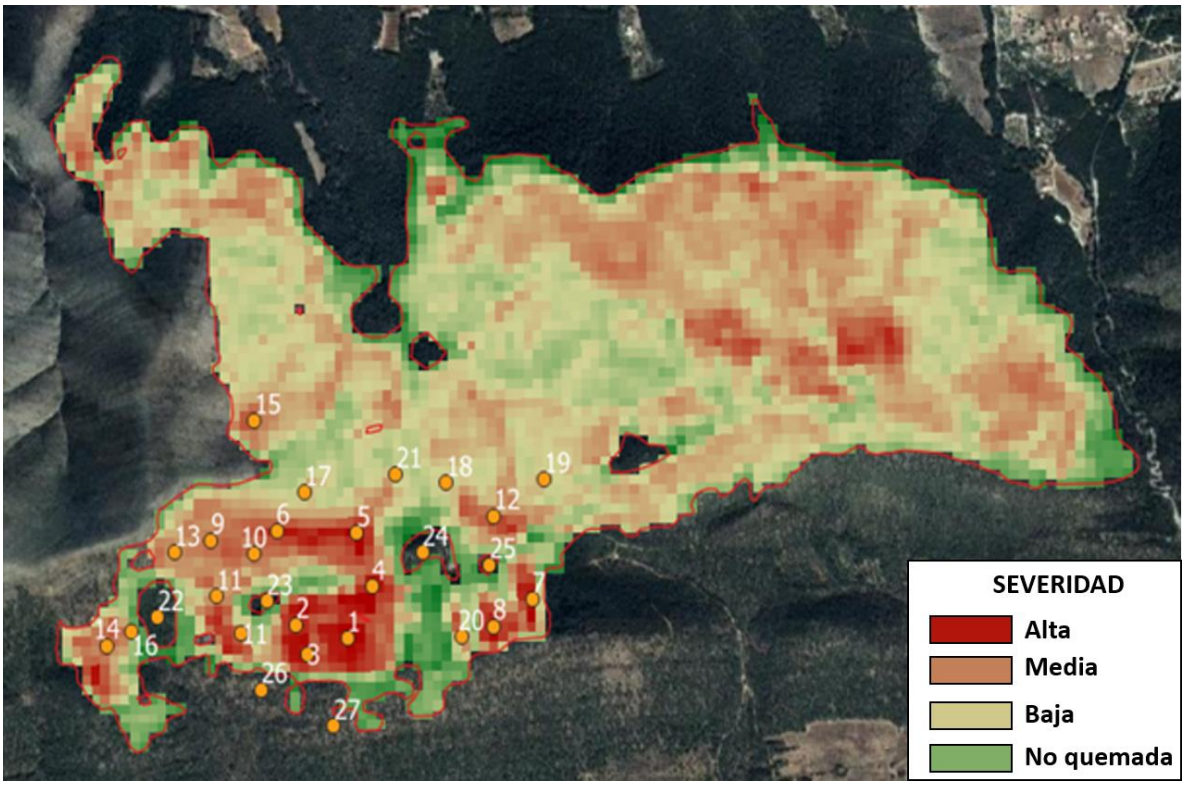


Figura 2. Imagen dNBR clasigicada con grados de severidad y la ubicación de los SIPER.

Conclusiones

Debido a las características de la vegetación en las zonas áridas es fundamental continuar con los estudios en estos ecosistemas de manera constante y sistemática, que sustenten el conocimiento de la respuesta de la vegetación ante diferente grado de severidad y las variaciones del régimen de los incendios forestales. Con el objetivo de comprender y comparar cómo se da la sucesión vegetal en los diferentes tipos de vegetación y cómo es que se altera la dinámica de los ecosistemas áridos y semiáridos ante el impacto del fuego. A pesar de los trabajos realizados aún quedan muchas dudas sobre la interacción de los diversos componentes de los ecosistemas áridos y semiáridos sobre la relación fuego-suelo-vegetación fauna, lo cual dificulta la toma de decisiones para establecer las bases de la restauración. Sin embargo, este sistema estandarizado de implementación de sitios permanentes de evaluación de la regeneración y la evaluación de los datos en programas semi-automatizados, como el Sistema de Captura y Evaluación de Restauración (SICER), permiten tener un panorama específico de cómo se da la restauración natural y así tomar decisiones informadas para el manejo de las áreas impactadas por el fuego en las zonas semiáridas.

Referencias

Alva-Álvarez, G. I., Reyes-Hernández, H., Palacio-Aponte, Álvaro G., Núñez-López, D., & Muñoz-Robles, C. (2018). Cambios en el paisaje ocasionados por incendios forestales en la región de Madera, Chihuahua. Madera Y Bosques, 24(3). https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431697

Cadena-Zamudio, D.A., Flores-Garnica, J.G., Lomelí-Zavala, M.E., Flores-Rodríguez, A.G. (2022). Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco?. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 28(1), 3-20. DOI: https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.076

Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó.A., Rubio-Camacho, E.A., & González-Tagle, M.A. (2018). Estructura y diversidad postincendio en un área del matorral espinoso tamaulipeco. Polibotánica, (45), 89-100. https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.7

Key, C.H., Benson, N.C. (2006). Landscape Assessment (LA) sampling and analysis methods. USDA For. Serv. - Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR. En: https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_series/rmrs/gtr/rmrs_gtr164/rmrs_gtr164_13_land_assess.pdf

Perez-Aguilar, L. Y., Plata-Rocha, W., Monjardin-Armenta, S. A., Franco-Ochoa, C., & Zambrano-Medina, Y. G. (2021). The Identification and Classification of Arid Zones through Multicriteria Evaluation and Geographic Information Systems—Case Study: Arid Regions of Northwest Mexico. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(11), 720. https://doi.org/10.3390/ijgi10110720

Silva-Cardoza, A.I., Vega-Nieva, D.J., López-Serrano, P.M., Corral-Rivas, J.J., Briseño-Reyes, J., Briones-Herrera, C.I., Loera-Medina, J.C., Parra-Aguirre, E., Rodríguez-Trejo, D.A., Jardel-Peláez, E. (2021). Metodología para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo, en ecosistemas de bosque templado de México. México: Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica y Forestal CONAFOR-CONACYT, proyecto CONAFOR-CONACYT-2018-C02-B-S131553. En: http://forestales.ujed.mx/incendios2/php/publicaciones_documentos/7_3_Silva%20et%20al%20202111201_Metodologia_severidad_v1.pdf

Tereshchenko, I., Zolotokrylin, A. N., Cherenkova, E. A., Monzón, C. O., Brito-Castillo, L., & Titkova, T. B. (2015). Changes in Aridity across Mexico in the Second Half of the Twentieth Century. J. Appl. Meteor. Climatol., 54, 2047–2062, https://doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0207.1.

Ugalde de la Cruz, Y. H., Maruri-Aguilar, B., Hernández Martínez, M. M., Aguirre Díaz, G. de J., & Sánchez Martínez, E. (2023). Perspectiva sobre los incendios forestales en el semidesierto queretano hidalguense, México. Naturaleza Y Sociedad. Desafíos Medioambientales, 5, 41-65. https://doi.org/10.53010/nys5.03

MORFOLOGÍA DE LAS SEMILLAS DE *Leucaena greggii* S. Watson EN COAHUILA

David Castillo-Quiroz[1], Adriana Antonio-Bautista[2]*, Francisco Castillo-Reyes[3], Dora A. García García[3], Diana Y. Avila Flores[3]

[1]Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) UAAAN-INIFAP. [2]Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro No. 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas Km 342+119 No. 9515. Col. Hacienda Buenavista, Saltillo, Coahuila. *Autor para correspondencia: adis_anba@hotmail.com

Introducción

Leucaena greggii S. Watson, familia Fabaceae (Tropicos, 2025), es una especie nativa de Norteamérica (USDA, Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System, 2023) y endémica del noreste de México. Se distribuye en ecosistemas desérticos principalmente, en suelos erosionados de difícil acceso (Brewbaker y Sorensson, 1990). Su distribución en México se restringe a los estados de Coahuila y Nuevo Leon (Estrada et al., 2005). Ésta es una especie forrajera de importancia en la producción ganadera (Benítez-Bahena et al., 2010) de alta palatabilidad y con 19.2 % de proteína cruda (Stewart y Dunsdon,1998) que en la región noreste de México se utiliza como fuente de proteína para la alimentación del ganado bovino y caprino. Recientemente, ha estado sujeta a una presión constante debido a las actividades antropogénicas, esto ha ocasionado la destrucción del su hábitat (Barstow, 2020) provocando una disminución en poblaciones naturales a tal grado que ha sido enlistada en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Barstow, 2020). Ante este escenario, se requiere realizar en una etapa inicial, la caracterización morfológica de las semillas de *L. greggii* debido a que es un campo poco explorado, y a futuro realizar pretratamientos para la propagación sexual de esta taxa, por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar las características morfológicas de las semillas de *Leucaena greggii* S. Watson.

Materiales y métodos

Recolección del material biológico. Se utilizaron semillas de *Leucaena greggii* S. Watson colectas en el Jardín Botánico Gustavo Aguirre Benavides de la UAAAN (25° 21´ 21” LN y 101° 01´59” LO) y a una altitud de 1776 m.s.n.m. El clima del sitio corresponde a un BS1kw templado semi-seco, con una temperatura promedio anual de 18 °C, con una precipitación anual de 340 mm (García, 2004). Se recolectaron muestras de frutos directamente de cinco árboles en pie en agosto de 2023, para la coleta se consideró que el fruto presentara dehiscencia, mecanismo para la dispersión natural de la semilla, característico del género *Leucaena* (Sánchez-Paz y Ramírez-Villalobos, 2006). Los frutos recolectados se colocaron en bolsas de papel estraza y se almacenaron en laboratorio a una temperatura 25°C hasta el momento de la caracterización morfológica de las semillas.

El estudio se realizó en febrero de 2025 en el Laboratorio del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah. México.

Caracterización morfológica semillas de *Leucaena greggii* S. Watson. Las semillas se extrajeron de la vaina en forma manual; para la medición las semillas se consideraron que presentaban un color café obscuro, descartando las semillas de color negro (inmaduras) situadas en el extremo apical de la vaina y sin la presencia del ataque de insectos (Sánchez-Paz y Ramírez-Villalobos, 2006), después se realizó una mezcla de las semillas, utilizando un homogeneizador de semillas de tipo Boerner. Del total de las semillas, se tomaron al azar 100 para la caracterización morfológica, con una unidad experimental de 25 semillas con cuatro repeticiones. En forma individual se midieron las variables: longitud de la semilla (LS), ancho de la semilla (AS), espesor de la semilla (ES) con apoyo de un vernier Fisher Scientific® con expresión en mm y para el peso de la semilla (PS) se registró el peso de cada semilla con una balanza analítica digital Ohaus Adventurer™ Pro. La evaluación de los caracteres cualitativos, forma de la semilla se evaluaron con criterios visuales y el color de la semilla con una carta de colores Munsell (Munsell, 2000). Por último, se calculó el número de semillas por kg, para lo cual se registró el peso de 1000 semillas (g) y con el valor final se determinó de acuerdo a ISTA (2010) el número de semillas, kg= (Número de semillas de la muestra/peso de la muestra) *100.

Análisis de datos. Se generó una base de datos en el software Excel 2016 de la paquetería Microsoft Office. Para analizar y describir las variables morfométricas de las semillas (LS, AS, ES y PS) y se realizaron estadísticos descriptivos a cada una de ellas considerando: a) Medidas de tendencia central (media, mediana y moda) para lo cual se realizó el cálculo la media, la cual es la suma de todos los valores dividida por la cantidad total de valores. Mediana que es el valor medio de los datos; se encuentra en el medio de un conjunto de datos ordenados de manera ascendente o descendente y la moda que es el valor o el conjunto de valores más recurrentes en la estadística y b) Medidas de dispersión (rango, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación). Se determinó el rango, el cual, es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo en un conjunto de datos. Esta es la medida más básica de variabilidad y proporciona una idea general de cuánto se extienden los datos en toda la escala. Se calculó la varianza, la cual, mide la variabilidad de los datos respecto a la media aritmética y puede servir para comparar diferentes grupos de datos. Se determinó la desviación estándar, la cual, indica cuánto se desvían los valores individuales de la media aritmética. Se determinó el coeficiente de variación como el resultado de la relación entre la desviación estándar y la media.

Resultados y discusión

Las semillas de *L. greggii* presentó un color marrón obscuro (YR 4/6) de acuerdo con carta de colores Munsell (Munsell, 2000) de forma ovoide, con 11,659 ± 924.4 semillas kg^{-1}. Los resultados en relación al color y la forma coinciden con Estrada et al. (2014) donde mencionan que la semilla es de color café obscuro, otros autores mencionan que la semilla es color café casi negra (BGVC, 2021).

La variable LS presentó valores que oscilan entre 5.8 hasta 8.33 mm, no obstante, el 86 % de las semillas presentaron valores entre 6.43 y 7.70 mm; con respecto al AS, los valores reportados oscilan entre 6.10 hasta 8.28 mm, donde 83 % de las semillas expresaron los valores entre 6.37 y 7.46 mm. En relación a la LS y AS obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Estrada et al. (2014), donde mencionan que las semillas para esta misma especie presentaron valores 7.5-9.0 x 5-7 mm, en cambio, BGVC (2021) reporta 5 mm x 4.2 mm hasta 8 mm x 6 mm, valores muy semejantes a los obtenidos en este estudio.

El ES osciló entre 1.30 y 2.57 mm, el 86 % de las semillas mostraron espesores que van de 1.62 a 2.41 mm. Sánchez-Salas et al. (2015), mencionan que el tamaño de las semillas es un factor importante que interviene en la capacidad y velocidad de germinación, y así mismo es un punto crucial en el establecimiento en una población (Baloch et al., 2001). Además, Suárez-Vidal et al. (2017), señalan que las semillas con mayor tamaño producen plántulas con mayor vigor. Meyer y Trabbic-Carlson (2001), mencionan que la variable ES, es un factor importante en especies de ecosistemas desérticos, y que un mayor espesor de la semilla brindará un crecimiento rápido y mayor probabilidad de su establecimiento en campo. Sin embargo, el ES, es uno de los caracteres morfológicos de menor objeto de estudio en los ensayos de la germinación de semillas (Sánchez-Salas et al., 2017). Con referencia al PS, se encontraron pesos de semilla entre 0.02 a 0.14 g, el 87%, reportó un peso entre 0.06 a 0.12 g. Estudios realizados por Estrada et al. (2014), sobre la morfología de otras especies del género *Leucaena*, como *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. ssp. *glabrata* (Rose) Zárate y *Leucaena pulverulenta* (Schltdl.) Benth., reportan valores de 7.2-8.2 ×5-5.6 mm y 6.5-7.9 × 3.2-4.2 mm, respectivamente. Las diferencias entre los valores de estas especies son importantes en la recolección de las semillas y la conservación *ex situ* de las semillas (Rao et al., 2007).

Medidas de tendencia central La media de la variable LS fue de 7.02 mm y de 7.00 mm la mediana y moda. La media de la variable AS fue de 6.98 mm, con una moda de 7.1 mm. La media de ES fue de 1.992 mm, con una moda de 2.1 mm. La media de la variable PS fue de 0.86 g por el contrario la mayoría de los pesos (moda), fue de 0.103 g respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Medidas de tendencia central de características morfológicas de la semilla *de Leucaena greggii* S. Watson.

Variable	Media	Mediana	Moda
LS (mm)	7.02	7.00	7.00
AS (mm)	6.98	7.00	7.10
ES (mm)	1.99	2.05	2.10
PS (g)	0.086	0.088	0.103

LS: longitud de semilla, AS: ancho de semilla, ES: espesor de semilla, PS: peso de semilla.

Medidas de dispersión El LS presentó un rango de 2.4 mm y un coeficiente de variación de 6.06%. El AS reportó un rango de 2.0 mm y un coeficiente de variación de 5.7 %. En la variable ES se encontró que el rango es de 1.2 mm y el coeficiente de variación de 12.8 %. La variable PS reportó el mayor coeficiente de variación (24.9 %) Cuadro 2.

Cuadro 2. Medidas de dispersión de características morfológicas de semilla *de Leucaena greggii* S. Watson.

Variable	Rango	Varianza	Desviación estándar	Coeficiente de variación
LS (mm)	2.40	0.18	0.42	6.06
AS (mm)	2.00	0.15	0.39	5.72
ES (mm)	1.20	0.06	0.25	12.85
PS (g)	0.116	0.00046	0.022	24.95

LS: longitud de semilla, AS: ancho de semilla, ES: espesor de semilla, PS: peso de semilla.

Conclusiones

Las dimensiones en la semilla fueron; longitud media de 7.02 mm, ancho medio de 6.98 mm, espesor medio de 1.99 mm y un peso promedio de 0.086 g, de color marrón obscuro (YR 4/6), de forma ovoide y con 11,659 ± 924.4 semillas kg^{-1}. Los estudios sobre la caracterización morfológica de las semillas de *L. greggii* son importantes para contar con material para realizar futuros estudios sobre germinación y propagación masiva de esta especie para realizar plantaciones en su hábitat y la conservación *ex situ* en bancos de germoplasma de esta especie.

Referencias

Baloch H.A., DiTommaso A., Watson A.K. (2001). Intrapopulation variation in Abutilon theophrasti seed mass and its relationship to seed germinability. Seed Scince Research11:333-345

Banco de Germoplasma Vegetal Coahuila (BGVC). (2021). Catálogo de Semillas Forestales del Banco de Germoplasma Vegetal de Coahuila. Secretaria de Medio Ambiente del estado de Coahuila, Mexico.

Barstow, M. (2020). *Leucaena greggii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T37482A136880318 [Internet] https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T37482A136880318.

Benítez-Bahena, Y., Bernal-Hernández, A., Cortés-Díaz, E., Vera-Castillo, G., Carrillo-Anzures, F. (2010). Producción de forraje de guaje (*Leucaena* spp.) asociado con zacate (*Brachiaria brizantha*) para ovejas en pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(3): 397-411.

Brewbaker J.L. and Sorenson C.T. (1990). *Leucaena* Bentham: new tree crops from interspecific hybrids. In Janik, J. and Simon, J. ed. Advances in New crops. Portland, Oregon. Timber Press.

Estrada, C.E., Villarreal, Q.J.A., y Jurado, E. (2005). Leguminosas del norte del estado de Nuevo León, México. *Acta Botanica Mexicana* 73: 1-18.

Estrada, C.E., Delgado, S.A., Villarreal, Q.J.A. (2014). Leguminosas de Nuevo León, México. Universidad Autónoma de México. 304 p.

García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1

ISTA (International Seed Testing Association). Reglas ISTA. (2010).
http://www.analisisdesemias.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=31

Meyer, S.E., Trabbic-Carlson S.L. (2001). Achene mass variation in *Ericameria nauseosus* (Asteraceae) in relation to dispersal ability and seedling fitness. *Functional Ecology* 15(2): 274-281. https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2001.00520.x

Munsell, A.H. (2000). Soil color charts. Revised washable edition Ed. Gretagmacbeth. New Winsor, USA. 55 p. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187- 71512005000400001

Rao, N.K., Hanson J., Dulloo M.E., Ghosh K., Novell D., Laringe M. (2007). Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8. Bioversity International. Roma, Italia, 165p

Sánchez-Paz, Y., Ramírez-Villalobos, M. (2006). Tratamientos pregerminativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. *Revista Facultad de Agronomía* 23(3). 257-272.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037878182006000300001&lng=e&nrm=iso

Sánchez-Salas, J., Flores, J.G., Muro-Pérez, G., Arias-Montes, S. y Jurado, E. (2015). Morfometría de semillas en la cactácea amenazada de extinción *Astrophytum myriostigma* Lemaire. *Polibotánica.* (39):119-131.

Suárez-Vidal, E., Sampedro, L., Zas, R. (2017). Is the benefit of larger seed provisioning on seedling performance greater under abiotic stress? *Environmental and Experimental Botany* 134: 45-53, https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.11.001

Stewart, J.L., Dunsdon A.J. (1998). Preliminary evaluation of potential fodder quality in a range of *Leucaena* species. *Agroforestry Systems*; 40:177-198. https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006028931809

Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. (2025). [Internet]. https://tropicos.org/name/Search?name=Leucaena%20greggii

ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE RECUBRIMIENTOS BIOACTIVOS ELABORADOS A BASE DE QUITOSANO, COLÁGENO Y EXTRACTO DE PLANTA DE TOMATE

Luis M. Isidro-Requejo[1], Enrique Márquez-Ríos[2], Carmen L. Del Toro-Sánchez[2], Saúl Ruiz-Cruz[2], Wilfrido Torres-Arreola[2], Daniel Valero-Garrido[3], Guadalupe M. Suárez-Jiménez[2]*

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, [2]Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, [3]Departamento de Tecnología Agroalimentaria, Universitas Miguel Hernández. *Autor de correspondencia: isidro.luis@inifap.gob.mx

Introducción

Los hongos son los principales microorganismos que provocan la pudrición postcosecha en las frutas y verduras, además, causan enfermedades durante el almacenamiento, disminuyendo la comercialización junto con su vida de anaquel. Los hongos fitopatógenos más comunes en frutas y verduras son *Alternaria cucumerina*, *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Sphaerotheca fuliginea*, *Trichothecium roseum*, entre otros. Asimismo, la colonización fúngica en las frutas y verduras puede hacerlos no aptos para el consumo debido a su capacidad de producir micotoxinas. Los recubrimientos son unas finas capas delgadas de cualquier material polimérico comestible o biodegradable que se utilizan para cubrir o envolver un alimento, de este modo aumentan su vida de anaquel y protegen sus propiedades sensoriales. Por lo cual, puede ser una alternativa para ser utilizado en la conservación de frutas y verduras manteniendo su calidad nutritiva y organoléptica, además se podrían utilizar para la obtención de empaques naturales por su capacidad de gelificar, flexibilidad y para la formación de recubrimientos (Wang & Rhim, 2015). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de los recubrimientos bioactivos a base de quitosano, colágeno e incorporación de extracto de planta de tomate sobre *F. oxysporum*, *F. verticillioides* y *F. graminearum.*

Materiales y métodos

Elaboración del recubrimiento bioactivo Los recubrimientos bioactivos se elaboraron a base de colágeno obtenido de tentáculos de calamar gigante, quitosano comercial marca Aldrich-Sigma y la incorporación de extracto de plantas de tomates (EPT).

Cepas de Fusarium Las cepas de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium verticillioides* y *Fusarium graminearum* fueron proporcionadas por el Laboratorio de Biotecnología Vegetal y Postcosecha del Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, A.C. de Hermosillo, Sonora; el Laboratorio de Microbiología del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora, y por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia del Departamento de Microbiología e Inmunología de la UNAM, respectivamente.

Preparación de los recubrimientos bioactivos Los recubrimientos bioactivos (RB) se elaboraron siguiendo la metodología propuesta por Isidro-Requejo et al. (2024) con algunas modificaciones. Se disolviendo 10 g de quitosano (Q) en un litro de solución de ácido acético (1%), 10 g de colágeno (C) en un litro de HCl 6 M (1%). Posteriormente, se incorporaron 70 mg de EPT (0.3%) y 100 mL de Tween 20 al 0.1%. Se prepararon tres recubrimientos bioactivos (RB): RB1 (Q 1% + C 1% + EPT 0.3%), RB2 (Q 1% + EPT 0.3%), RB3 (Q 1% + C 1%).

Actividad antifúngica Se determinó mediante el método de difusión en disco de agar, midiendo la zona de inhibición en los *Fusarium* spp. según la técnica descrita por Bolouiri et al. (2016) con algunas modificaciones. Se impregnaron individualmente tres discos de papel de filtro de 6 mm con 20 µL de cada RB y se colocaron en cada caja Petri sobre el medio PDA solidificado que contenía $1x10^4$ esporas/mL. Se utilizó un control negativo utilizando discos sin RB y otros con etanol. Se incubaron a 28 °C durante 15 días. La zona de inhibición se midió en diámetros perpendiculares en milímetros, obteniendo un valor promedio a las 24 h. El estudio se realizó por triplicado.

Resultados y discusiones

El *F. oxysporum*, *F. verticillioides* y *F. graminearum* son los principales hongos fitopatógenos que afectan los campos de cultivo a nivel mundial. En el Cuadro 1 se muestran los resultados de la actividad antifúngica de los RB sobre los diferentes *Fusarium* spp. en estudio.

Cuadro 1. Zona de inhibición (mm) de los tres recubrimientos bioactivos sobre los *Fusarium* spp. después de 15 días de incubación.

	Q-C-E	**Q-E**	**Q-C**
F. oxysporum	11.1 ± 1.0^{aA}	9.3 ± 0.3^{bA}	5.6 ± 1.0^{cBC}
F. graminearum	10.4 ± 0.4^{aA}	9.3 ± 0.8^{aA}	6.5 ± 1.6^{bAB}
F. verticillioides	$10.1 \pm 0.8a^{aA}$	9.7 ± 0.8^{aA}	7.1 ± 0.4^{bA}

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas dentro de la misma fila ($p < 0.05$). Diferentes letras mayúsculas indican diferencias significativas dentro de la misma columna ($p < 0.05$). Q: Quitosano, C: Colágeno y E: EPT.

Los diferentes tratamientos mostraron actividad antifúngica frente a los tres hongos fitopatógenos. El recubrimiento con mayor zona de inhibición fue Q-C-E y de zona menor inhibición fue Q-C con valores de 11.1 mm y 5.6 mm de diámetro, respectivamente. Asimismo, se observa una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los diferentes recubrimientos sobre *F. oxysporum.* Por otro lado, se observa una diferencia significativa ($p < 0.05$) en comparación con el recubrimiento Q-C en *F. graminearum* y *F. verticillioides*. Entre los tres hongos fitopatógenos no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) en Q-C-E y Q-E. Sin embargo, existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre *F. oxysporum* y *F. verticillioides* en el RB elaborado a partir de Q-C con zonas de inhibición de 5.6 ± 1.0^{B} y 7.1 ± 0.4^{A} mm de diámetro respectivamente.

El RB elaborado de Q-C-EPT el cual, presentó mayor zona de inhibición, se puede deber al mecanismo de acción que tienen los grupos amino ($-NH_2$) del quitosano, los cuales dañan la permeabilidad celular de las bacterias y hongos. Bautista-Baños et al. (2016) describen que la interacción electrostática entre el quitosano sobre el hongo se pudiera deber a la alteración de la membrana plasmática y la estructura de la pared celular de los hongos en este estudio. Por otro lado, el colágeno es una proteína que puede utilizarse en el campo de la industria alimentaria, farmacéutica y de ingeniería de tejidos, es resistente a disolventes orgánicos, es biocompatible, tiene buena estabilidad y, además, contiene propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas y antibacterianas (Wang & Rhim, 2015).

La combinación de quitosano y colágeno mejoraría las propiedades mecánicas y antifúngicas del recubrimiento, además de la incorporación de EPT (hojas, pedículos, tallos y raíces), que actualmente se están utilizando en la industria alimentaria por su carácter antimicrobiano, potencial antifúngico, actividad antiviral y antioxidante, y que contienen compuestos fitoquímicos como fenoles, flavonoides, taninos, saponinas, cumarinas, alcaloides y terpenos. Asimismo, el EPT contiene grupos hidroxilo (OH) que se encuentran dentro de los compuestos fenólicos.

Los grupos OH interfieren en la función de la membrana celular y desplaza electrones que actúan como intercambiadores de protones, desintegrando la fuerza motriz de los protones, inhibiendo la síntesis de ATP y provocando la muerte celular (Silva-Beltrán et al., 2015).

Conclusiones

Los hallazgos de esta investigación mostraron que, los recubrimientos bioactivos tienen un efecto fungicida sobre *F. oxysporum*, *F. verticillioides* y *F. graminearum*, teniendo mayor efectividad el recubrimiento elaborado de quitosano, colágeno y extracto de la planta de tomate por la alta concentración de compuestos fenólicos presentes. La aplicación del recubrimiento bioactivo elaborado a base de quitosano, colágeno y la incorporación del extracto de planta de tomate sobre la superficie de frutas y verduras puede ser una alternativa para alargar la vida de anaquel preservando sus propiedades organolépticas y manteniendo su calidad microbiológica. De la misma manera, estos recubrimientos bioactivos podrían usarse como conservante antifúngico en alimentos integrales, alimentos mínimamente procesados e incluso en la industria farmacéutica. Es importante señalar que la mayoría de los estudios disponibles se centran en la actividad antimicrobiana, dejando de lado la actividad antifúngica.

Referencias

Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., Velázquez del Valle, M. G., Hernández-López, M., Barka, E. A., Bosquez-Molina, E. & Wilson, C. L. (2016). Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. Crop Protection, 25(2), 108-118. doi.org/10.1016/j.cropro.2005.03.010.

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. Journal of Pharmaceutical Analysis 6, 71–79. doi: 10.1016/j.jpha.2015.11.005.

Isidro-Requejo, L. M. Márquez-Ríos, E., Del Toro-Sánchez, C. L., Ruíz-Cruz, S., Valero-Garrido, D. & Suárez-Jiménez, G. M. (2024). Evaluación de un recubrimiento bioactivo a partir de subproductos agrícolas y marinos sobre el melón. Memoria en las Reuniones Científicas. Ciencia para vivir.

Silva-Beltrán, N. P., Ruiz-Cruz, S., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Ornela-Paz, J. J., López-Mata, M. A., Del- Toro-Sánchez, C. L., Ayala-Zavala, J. F. & Márquez-Ríos, E. (2015). Total Phenolic, Flavonoid, Tomatine, and Tomatidine Contents and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Extracts of Tomato Plant. International Journal of Analytical Chemistry, 2015, 284071. doi: 10.1155/2015/284071.

Wang, L. F. & Rhim, J. M. (2015). Preparation and application of agar/alginate/collagen ternary blend functional food packaging films. International Journal Biological Macromolecules, 80, 460–468. doi: org/10.1016/j.ijbiomac.2015.07.007.

EVALUACIÓN DE MÉTODOS CONVENCIONALES Y ALTERNATIVAS NATURALES PARA EL CONTROL DE PALOMAS URBANAS (*Columba livia*)

Maldonado[1]-Cabrera, A.*, Rincón[2]-Zúñiga, M. A., I. Q. Maldonado[1]-Rincón, L. J., Arizpe[1]-Quiñones, I. A., Anaya[1]-Guerrero, D. C, Ramírez[1]-González, N. E. y Machado[1]Ramírez, M.

[1]Facultad de Ciencias Químicas G.P. Av. Artículo 123 s/n Fracc. Filadelfia, CP. 35019. Gómez Palacio, Dgo., México. [2]Mujeres ganaderas de México (MUGAM). *Autor de correspondencia: aureliomaldonado@hotmail.com

Introducción

Las palomas urbanas o domésticas (Columba livia) representan una de las especies sinantrópicas más exitosas a nivel mundial. Su capacidad de adaptación, alta tasa reproductiva y ausencia de depredadores naturales en entornos urbanos han favorecido su proliferación descontrolada (Martínez-Romero et al., 2023). Si bien estas aves cumplen un papel ecológico en sus hábitats naturales, en ambientes modificados por el ser humano se convierten en un serio problema de salud pública.

Diversos estudios han documentado que las excretas de palomas son reservorios de hongos patógenos como *Cryptococcus neoformans*, *Aspergillus flavus* y *Histoplasma capsulatum*, además de bacterias como *Salmonella spp.* y *Chlamydia psittaci*, agentes causales de enfermedades respiratorias y sistémicas tanto en personas inmunocomprometidas como en población general (Vallejo et al., 2016; Martínez-Romero et al., 2023). Al igual, las palomas son portadoras de otras enfermedades por medio de garrapatas. Estas pueden albergar bacterias como *Anaplasma phagocytophilium, Bartonella spp., Coxiella burnetti, Rickettsia spp*. y *Chlamydophilia spp*. Otras enfermedades zoonóticas virales y parasitarias transmitidas por las palomas son el coronavirus, la influencia aviar, *toxoplasma gondii, Haemoproteus columbae* y *Neospora canium* (Mukthar et al., 2022).

Aunado a los riesgos sanitarios, la acumulación de excretas provoca daños estructurales por corrosión, obstrucción de drenajes y costos elevados en mantenimiento. Al igual, en instalaciones recreativas y deportivas, la presencia de estas aves resulta particularmente conflictiva, ya que afectan directamente la experiencia de los usuarios y representan un riesgo sanitario evidente. Estas aves también presentan un gran problema en la industria agrícola. Los daños ocasionados a los cultivos por palomas, reduce significativamente la productividad agrícola y deriva a grandes pérdidas económicas, al igual que escasez de ciertos alimentos. Los estragos varían significativamente por el clima, la región, el tipo de cultivo y las especies de aves. Las especies más comunes son el gorrión común (*Passer domesticus*), la paloma pardilla (*Perdix perdix)*, y la paloma doméstica (*Columba livia*) (Ahmad et al., 2018; Chellappan et al., 2023).

Dado que las soluciones implementadas hasta la fecha han fracasado, surge la necesidad de explorar nuevas alternativas de control basadas en compuestos de origen natural. Entre ellos, el antranilato de metilo, un compuesto derivado de distintas plantas como las uvas, fresas y naranjas, tiene un efecto irritante en el sentido del gusto y olfato de las aves. Se han demostrado resultados alentadores en el uso agrícola para evitar el daño a los cultivos por pájaros sin afectar la composición química de los cultivos, esto debido a su biodegradación rápida, el cual se lleva a cabo en 7-8 días (Mikiciuk et al., 2021). El interés científico actual se orienta hacia la identificación de fitoquímicos equivalentes o más efectivos, con el fin de desarrollar repelentes ecológicos, accesibles y aplicables a gran escala.

Materiales y métodos

***Identificación del problema*.** La empresa, objeto de estudio, reportó una sobrepoblación de palomas, principalmente en techos y áreas acuáticas. Se documentaron los métodos empleados durante un periodo de 12 meses para su control, incluyendo dispositivos acústicos, señuelos visuales y estructuras físicas.

Métodos implementados

1. Dispositivos acústicos ultrasónicos.
2. Señuelos visuales (búhos plásticos con cabeza móvil).
3. Estructuras metálicas con picos.
4. Pelotas flotantes con diseño de “ojo”.
5. Cintas brillantes y móviles.
6. Zonas de alimentación alternativas.
7. Timbres potentes.
8. Bocinas con sonidos de depredadores.

***Metodología de investigación bioinformática*.** Como segunda fase del proyecto se planteó una aproximación bioinformática orientada a comprender la interacción de compuestos volátiles naturales con receptores olfativos de *Columba livia*. Para ello, se considerará la búsqueda y validación de secuencias de receptores en bases de datos públicas, el modelado estructural de proteínas y análisis preliminares de acoplamiento molecular (docking).

Si bien estos estudios aún se encuentran en etapa exploratoria, se han identificado retos importantes: la presencia de residuos ambiguos en las secuencias, la necesidad de refinar los modelos para obtener estructuras confiables y la interpretación de afinidades en sistemas sensoriales, donde el efecto biológico final depende también de la volatilidad y percepción del compuesto.

Estas limitaciones refuerzan que el análisis bioinformático se considere como una herramienta complementaria, destinada a orientar la selección de compuestos naturales con potencial repelente, más que como un método único de validación.

Resultados y discusión

Los resultados del registro de intervenciones en la empresa confirmaron que las palomas desarrollan rápida habituación frente a estímulos visuales y acústicos, incluso cuando estos simulan depredadores naturales.

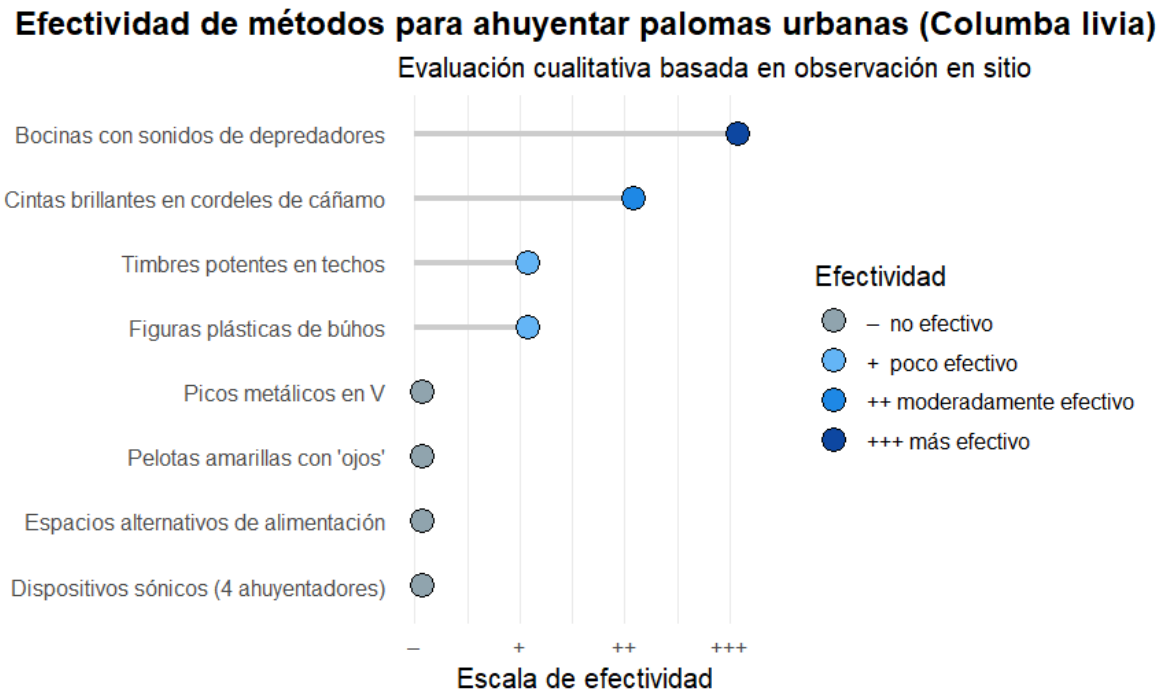


Figura 1. Comparación de la efectividad de diferentes métodos implementados para ahuyentar palomas urbanas (Columba livia). Se observa que los sonidos de depredadores tuvieron la mayor eficacia, seguidos de las cintas brillantes que mostraron un efecto temporal

Estos hallazgos coinciden con reportes previos que destacan la inteligencia adaptativa de *Columba livia* y su capacidad de asociar estímulos con ausencia de riesgo real (HaagWackernagel & Geigenfeind, 2008).

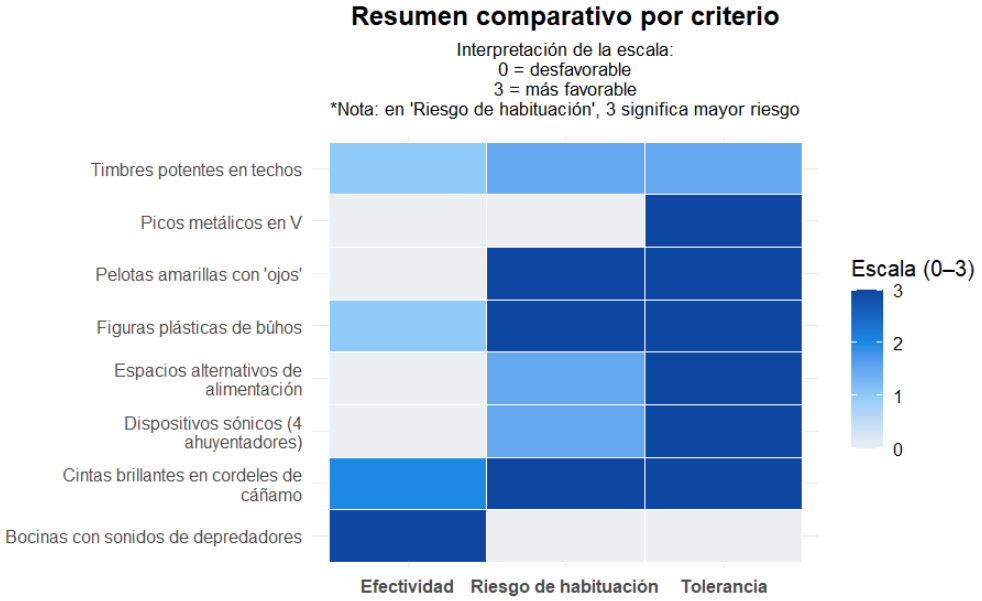


Figura 2. Evaluación conjunta de los métodos empleados para el control de palomas considerando tres criterios: efectividad, tolerancia de los usuarios y riesgo de habituación de las aves. Los resultados muestran que, aunque algunos métodos alcanzaron cierta eficacia inicial, la habituación frecuente y la incomodidad generada en las personas reducen su viabilidad como soluciones sostenibles.

Desde el punto de vista bioinformático, la validación del receptor olfativo y la interacción favorable con antranilato de metilo respaldan la hipótesis de que compuestos volátiles específicos pueden generar un efecto aversivo sensorial en estas aves. No obstante, se requiere identificar moléculas naturales con igual o mayor afinidad para lograr un repelente accesible y sustentable.

Conclusiones

La sobrepoblación de palomas urbanas constituye un problema sanitario y estructural de gran relevancia en instalaciones recreativas, debido a la transmisión potencial de patógenos como *Cryptococcus neoformans* y al daño material ocasionado por sus excretas. Los métodos convencionales de control basados en estímulos acústicos, visuales y físicos han demostrado una eficacia limitada por la capacidad de habituación de las aves.

El análisis preliminar de receptores olfativos en *Columba livia* y el acoplamiento con antranilato de metilo sugieren que es factible desarrollar repelentes sensoriales basados en compuestos naturales. Entre los fitoquímicos candidatos destacan mentol, timol, carvacrol, cinamaldehído y eugenol, por su disponibilidad, bajo costo y potencial de modificación química.

Futuros estudios deben validar la afinidad de estos compuestos mediante docking comparativo, ensayos experimentales y pruebas de campo, con el objetivo de diseñar un repelente natural, accesible y seguro que pueda implementarse en entornos urbanos con alta densidad de palomas.

Referencias

Ahmad, S., & et al. (2018). Potential of natural repellents methylanthranilate and anthraquinone applied on maize seeds and seedlings against house sparrow (Passer domesticus) in captivity. *Brazilian Journal of Biology, 78*(4). doi: https://doi.org/10.1590/1519-6984.171686

Chellappan, M. (2023). Bird Pests: Damage and Ecofriendly Management. *Annals of Arid Zone, 63*(4), 361-372. doi: https://doi.org/10.59512/AAZ.2023.62.4.11

Haag-Wackernagel, D., & Geigenfeind, I. (2008). Protecting buildings against feral pigeons. *European Journal of Wildlife Research, 54*(4), 715-721. doi: https://doi.org/10.1007/s10344-008-0206-1

Martínez-Romero, A., & et al. (2023). Identification of Encapsulated Yeasts of the Cryptococcus neoformans Fungus in Public Areas and Surfaces Close to Pigeon (Columba livia) Droppings. *Acta Scientific Microbiology, 6*(9), 52-59. doi: http://actascientific.com/ASMI/pdf/ASMI-06-1292.pdf

Mikiciuk, G., & et al. (2021). The Effect of Methyl Anthranilate-Based Repellent on Chemical Composition and Selected Physiological Parameters of Sweet Cherry (Prunus avium L.). *Agronomy, 11*(2), 256. doi: https://doi.org/10.3390/agronomy11020256

Mukthar, M., & et al. (2022). Global prevalence of zoonotic pathogens from pigeon birds: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon* (8). doi: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09732

Vallejo, D., & et al. (2016). Aislamiento de Cryptococcus neoformans en heces de palomas (Columba livia) en el casco urbano del municipio de Pasto, Colombia. *Revista Biosalud, 15*(1), 62-71.

ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE ENDOGAMIA EN MUESTRAS INVASIVAS Y NO INVASIVAS PARA MAMÍFEROS TERRESTRES: MAPEO BIBLIOGRÁFICO

Jesús Gabriel Ramírez García[1*], Sandra Patricia Maciel-Torres[1], Martha Hernández-Rodríguez[2], Erika Nava-Reyna[3], Lorenzo Danilo Granados-Rivera[4*]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango 35230, México. [2]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco 56264, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera, Gómez Palacio, Durango, 35079, México. [4]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Genera Terán, General Terán 67400, México. *Autor de correspondencia: ecologo.gabriel@gmail.com

Introducción

Una de las principales causas para la perdida de la biodiversidad genética se encuentra en las actividades antropogénicas y el cambio global que afectan las poblaciones silvestres (Díaz et al., 2020) y su variabilidad genética (Lino et al., 2019). El estudio de los vertebrados yace en el muestreo genético para realizar análisis de ADN (Sollmann et al., 2013); aportando de información genética para la conservación de las especies (Zemanova, 2021). La colecta de sangre y tejido se considera un método invasivo; lo cual contiene una alta calidad de ADN y alberga grandes cantidades (Zemanova, 2020), pero suele afectar el bienestar de los individuos. Por ello se han utilizado métodos no invasivos (colecta de heces, saliva, pelo y otras más) que en su mayoría se obtienen de forma oportunista y sin interacción física con el espécimen, pero presentan bajas cantidades de ADN y una calidad moderada (Lefort et al., 2019). Ambas estrategias de colecta aportan valores genéticos para calcular la heterogosidad esperada (H_e) y observada (H_o) y sus coeficientes de endogamia (F_{is}) (Wright, 1965; Joshi et al., 2022) en los individuos dentro de las poblaciones, bajo los supuestos de la ley de Hardy-Weinberg (Eguiarte et al., 2007). La estimación de coeficiente aporta valores de -1 a 1 y 0. Donde el valor de 0 sugiere que no se tiene endogamia, cuando el valor es negativo significa que existe un amplio valor de heterócigos; en cambio si el valor es positivo significa que hay un exceso de homocigos (Aguilar et al., 2008). Dichos estadísticos son de suma importancia para la conservación de mamíferos y la toma de decisiones respecto a su viabilidad poblacional además de interpretar su variabilidad genética (Garner et al., 2004).

Este análisis de literatura busca contribuir a la ciencia a través de un mapeo bibliográfico indagando bases de datos esenciales (Google Scholar, PubMed, Science Direct y Scopus) donde se contemplaron las variables como acoplamiento bibliográfico entre países, co-citas de referencia y palabras clave. Considerando estudios que albergan análisis de heterogosidad esperada y observada, el cálculo de coeficientes de endogamia en muestras biológicas como sangre, tejido, heces fecales y pelo para mamíferos.

Materiales y métodos

Búsqueda de literatura, criterios de inclusión y exclusión. En el presente estudio, se utilizó el protocolo SALSA (*Search, Appraisal, Synthesis and Analysis*) conforme (Grant y Booth, 2009). Para completar dicho proceso se indagaron diferentes bases de datos y aportaron el siguiente número de artículos Google Scholar= 18, PubMed=4, Science Direct=5 y Scopus=22. Se identifico un total de 50 artículos científicos en donde no se encontraron estudios duplicados en un periodo anual del 2002 hasta el 2025. Las palabras claves en todas las bases de datos fueron: (1) heterogosidad esperada y observada, (2) sangre, (3) tejido, (4) excreta, (5) fauna silvestre y (6) muestra. Los criterios de inclusión se basaron en a) estudios realizados en mamíferos, b) artículos con media aritmética en sus valores de heterogosidad y sus coeficientes de endogamia además que hicieran el c) análisis genético en muestras de sangre, tejido, heces fecales y pelo. Para la exclusión d) no se consideró artículos científicos sin parámetros de diversidad y variabilidad genética, también f) resúmenes, tesis y escritos de congresos. Solamente se excluyeron 10 artículos pues no cumplieron con los criterios de inclusión en la etapa de evaluación. Para la síntesis tipo narrativa se utilizaron los artículos sobrantes (n=40) los mismos que se utilizaron para realizar este análisis bibliométrico.

Extracción de datos, indicadores bibliométricos y mapeo de redes. En general la búsqueda nos aportó un total de 6592 artículos científicos relacionados al tema de interés, los cuales se descargaron en un formato (CSV) para el análisis de las palabras solamente en las bases Scopus y PubMed los cuales fueron 90 trabajos. Los datos exportados incluyeron: autores, títulos, año de publicación, total de citas, países y palabras claves. Aunado a ello, se realizaron un mapeo de redes con el software VOSviewer (versión 1.6.20); lo cual permitió ejecutar diferentes clústeres en el análisis de las palabras clave para posicionarlas y clasificarlas para realizar un mapa de redes, considerando el título y resumen de cada artículo científico, con el conteo completo y un mínimo de 10 concurrencias entre las palabras además como mínimo 46 palabras para la base de datos Scopus y PubMed. Además de un mapeo en las co-citas de referencia con un mínimo de 20 citas y un acoplamiento bibliográfico entre países.

Resultados y discusión

Co-citas de referencia y concurrencia de palabras clave. En total se encontraron 6055 referencias cocitadas sobre el tema de interés. En la figura 1 se observan un total de 69 cocitas de referencias con un numero de referencia mínimo de 20 citas. Dichas referencias formaron 4 clústeres en el primero (rojo) se conforma por 24 referencias y es encabezado por el autor Luikart G. En el segundo cluster (verde) mantiene 17 referencias siendo Goudet J. el principal referente. Para el tercer conglomerado (azul) se tienen 15 referencias entre autores donde Frankham R. encabeza la lista y el cuarto grupo (amarillo) se conforma de 13 referencias Paetkau D. es uno de los autores más citados.

En este análisis se obtuvieron 76 palabras claves diferentes (Figura 2). En el primer clúster (rojo) se conforma por 15 palabras clave donde destacan términos como: loci, microsatélite y marcador. El segundo clúster (verde) lo conforman 10 palabras relacionadas en su mayoría con la palabra población y variabilidad genética. Para el tercer clúster (azul) se conforma con 9 palabras clave donde el principal concepto es variabilidad genética. En caso del clúster 4, 5 y 6 (amarillo, morado y azul claro) se conforman de 5 palabras clave en el 4, 5 y para el 6 con 2 palabras clave, los conceptos más referentes para dichos clústeres son muestra, polimorfismo y riqueza alélica.
Acopamiento bibliográfico entre países.

El conglomerado bibliográfico fue entre 26 países y fue considerado al menos en una interacción de 2 países. De tal manera que los resultados aportan una interacción intensa en el país de Estados Unidos de América (EE. UU) con los países como el Reino Unido, Canadá, Dinamarca, Italia, Alemania, Brasil, Australia, España, Nueva Zelanda y México. La interacción más visible fue entre los países Australia, Brasil, China, Alemania, Hungría, India, Japón, Países Bajos, Corea del Sur y Estados Unidos de América.

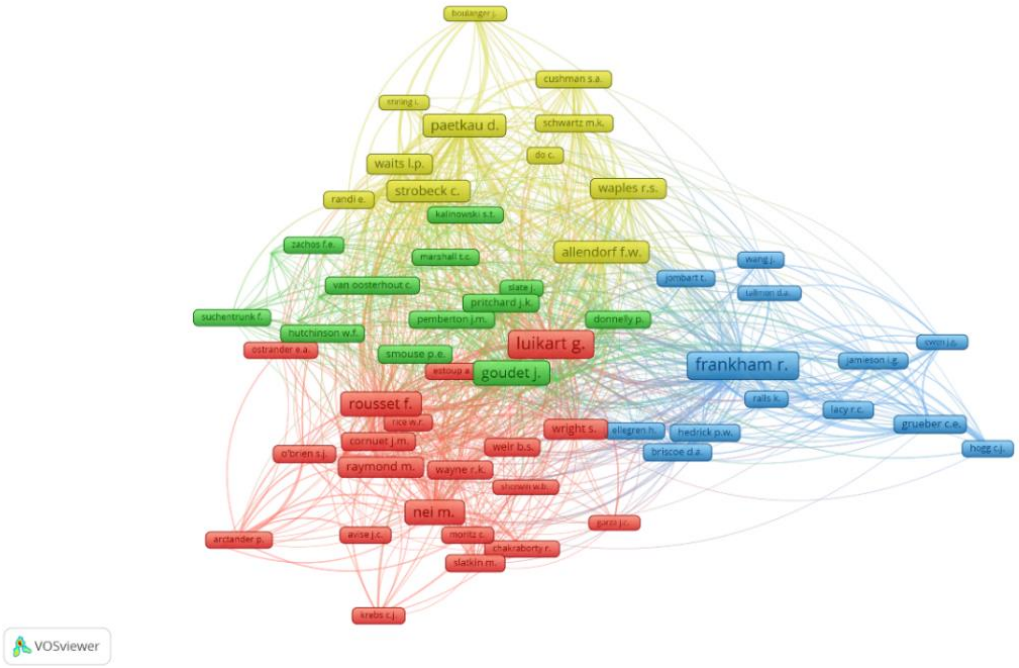


Figura 1. Redes de co-citas entre autores.

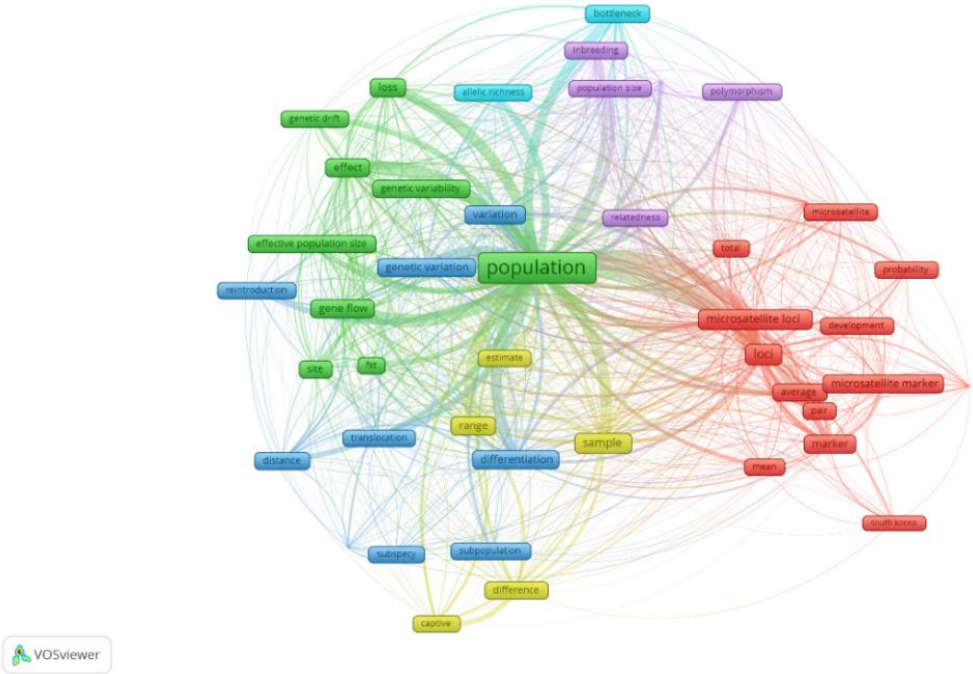


Figura 2. Mapa de visualización de co-ocurrencias de palabras claves principales. El volumen del nodo es correspondiente al número de ocurrencias.

El presente estudio proporciono información sobre el desarrollo de los coeficientes de endogamia en muestras invasivas y no invasivas en los últimos 23 años, donde no se puede discutir todos los artículos científicos. Al parecer el análisis bibliométrico sugiere que los estudios comenzaron el 2008 hasta el 2025, aunque se datan con estudios desde el año 2002 (Harrison et al., 2002) para la especie *Vulpex velox* en Nuevo México y 2007 para la especie *Ailuropoda melanoleuca* (Zhu et al., 2007), dichas investigaciones no fueron consideradas por la naturaleza del programa. En acuerdo con el análisis clúster para países los primeros estudios en heterogosidad esperada y observada fueron realizados en Estados Unidos de América, desde investigaciones más actualizadas como el caso de *Otocolobus manul* y *Puma concolor* (Robinson et al., 2025 y Wultsch et al; 2023) hasta más antiguas como es el caso ya mencionado de *Vulpex Velox*.

Uno de los autores más citados Luikart G., es considerado un experto en genética de la conservación y conocedor de las diferentes tomas de muestra para análisis genéticos (Taberlet et al., 1999). Para los términos de palabras clave la más mencionada fue población, principalmente por la teoría de la variabilidad genética en poblaciones silvestres (Nevo, 1978), además de la consideración de genética poblacional donde ya se utilizaba el termino endogamia (Hedrick, 2010). También el uso de termino microsatélite debido a que es una de las herramientas principales la realización de dichos estudios (Eguiarte et al., 2007).

Conclusiones

La evaluación y mapeo de red nos permitió visualizar la producción científica relevante al tema de coeficientes de endogamia y las diferentes tomas de muestra que se utilizan en dichos estudios en el mundo. Ahora reconocemos la importancia de la variabilidad genética para mamíferos para implementar mejores estrategias de conservación en algunas especies que se encuentran en peligro de extinción. Reconocemos a los autores considerados especialistas en dichas líneas de investigación como lo es la genética de poblaciones y genética de la conservación. Las palabras clave son de suma importancia para los artículos científicos y en su búsqueda pues una buena palabra puede dar probabilidad de encontrar el tema de interés más fácilmente en una investigación científica.

Referencias

Aguilar, R., Quesada, M., Ashworth, L., Herrerias, D., Lobo, J., (2008). Genetic consequences of habitat fragmentation in plant populations: susceptible signals in plant traits and methodological approaches. Mol. Ecol. 17, 5177–5188.

Díaz, S.; Zafra-Calvo, N.; Purvis, A.; Verburg, P.H.; Obura, D.; Leadley, P.; Chaplin-Kramer, R.; De Meester, L.; Dulloo, E.; Martín-López, B. (2020). Set ambitious goals for biodiversity and sustainability. Science 2020, 370, 411.

Eguiarte, L. E., Souza V. y Aguirre X. (2007). Ecología molecular. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología Universidad Nacional Autónoma de México Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. ISBN 978-968-817-839-3.

Garner, A., Ranchlow, L. J., Hicks, J. F. (2004). Patterns of Genetic Diversity and Its Loss in Mammalian Populations. Conservation Biology 1215–1221. Mamalian Genetic Diversity.

Grant M. y Booth A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associ ated methodologies. Health Information and Libraries Journal. 2009; 26:91–108.

Harrison, R. L., Barr, D., J. y Dragoo, J. W. (2002). "A Comparison of Population Survey Techniques for Swift Foxes (*Vulpes velox*) in New Mexico," *The American Midland Naturalist* 148(2), 320-337, (1 October 2002). https://doi.org/10.1674/0003-0031(2002)148[0320: ACOPST]2.0.CO;2.

Hedrick, W. P. (2010). Genetic of Population. Edition 4. 675 pags. ISBN. 1449666477.

Joshi, B.D., Singh, S.K., Singh, V.K., Jabin, G., Ghosh, A., Dalui, S., Singh, A., Priyambada, P., Dolker, S., Mukherjee, T. (2022). From poops to planning: A broad non invasive genetic survey of large mammals

from the Indian Himalayan Region. Sci. Total Environ. 853, 158679. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158679.

Lefort, M.C.; Cruickshank, R.H.; Descovich, K.; Adams, N.J.; Barun, A.; Emami-Khoyi, A.; Ridden, J.; Smith, V.R.; Sprague, R.; Waterhouse, B. (2019) Blood, sweat and tears: A review of non-invasive DNA sampling. bioRxiv.

Lino, A., Fonseca, C., Rojasa, D., Fischerd, E., Ramos-Pereira, M. (2019). A meta-analysis of the effects of habitat loss and fragmentation on genetic diversity in mammals. Mammalian Biology 94 (2019) 69–76. https://doi.org/10.1016/j.mambio.2018.09.006.

Nevo, E. (1978). Genetic variation in natural populations: Patterns and theory, Theoretical Population Biology, Volume 13, Issue 1, 1978, Pages 121-177, ISSN 0040-5809, https://doi.org/10.1016/0040-5809(78)90039-4.

Robinson, J.J.; Crichlow, A.D.; Hacker, C.E.; Munkhtsog, B.; Munkhtsog, B.; Zhang, Y.; Swanson, W.F.; Lyons, L.A.; Janecka, J.E. (2024). Genetic Variation in the Pallas's Cat (Otocolobus manul) in Zoo-Managed and Wild Populations. Diversity 2024, 16, 228. https://doi.org/10.3390/ d16040228.

Sollmann, R.; Torres, N.M.; Furtado, M.M.; de Almeida Jacomo, A.T.; Palomares, F.; Roques, S.; Silveira, L. (2013). Combining camera trapping and noninvasive genetic data in a spatial capture-recapture framework improves density estimates for the jaguar. Biol. Conserv. 2013, 167, 242–247.

Taberlet P., Waits L. P., Luikart G. (1999). Noninvasive genetic sampling: look before you leap. Trends in Ecology and Evolution, 14, 323–327.

Wright, S. (1965). The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating. Evolution 19: 395-420.

Wultsch, C., Zeller, K.A., Welfelt, L.S. (2023). Genetic diversity, gene flow, and source-sink dynamics of cougars in the Pacific Northwest. *Conserv Genet* **24**, 793–806 (2023). https://doi.org/10.1007/s10592-023-01532-3.

Zemanova, M.A. (2020). Towards more compassionate wildlife research through the 3Rs principles: Moving from invasive to non invasive methods. Wildl. Biol. 2020, 1, wlb.00607.

Zemanova, M.A. (2021). Noninvasive Genetic Assessment Is an Effective Wildlife Research Tool WhenComparedwith Other Approaches. Genes 2021, 12, 1672. https://doi.org/10.3390/genes12111672.

Zhu, L., Ruan, XD., Ge, YF. et al. Low major histocompatibility complex class II DQA diversity in the Giant Panda (*Ailuropoda melanoleuca*). *BMC Genet* **8**, 29 (2007). https://doi.org/10.1186/1471-2156-8-29.

ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL MEZQUITE (*Prosopis* spp.) EN EL NOROESTE DE MÉXICO UTILIZANDO SENSORÍA REMOTA

Gerardo Delgado-Ramírez[1]*, Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Ramón Trucíos-Caciano[1], Nuria Aide López-Hernández[1], Eva Aurora Bautista-Calderón[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Margen Derecha Canal Sacramento km 6.5, Zona Industrial Gómez Palacio, Durango, C.P. 35140, México. *Autor de correspondencia: delgado.gerardo@inifap.gob.mx

Introducción

El mezquite se desarrolla en las regiones áridas y semiáridas de México y tiene muchos usos. Su madera se utiliza como leña y en la construcción de cercas, sus vainas se emplean como forraje y como alimento para seres humanos. También produce resina que se usa para hacer pegamentos y barnices, mientras que sus flores son claves para la producción de miel (Rodríguez et al., 2014). Los mezquitales también son una fuente de alimento y refugio para los animales, ayudan a evitar la erosión del suelo y contribuyen en la fijación de carbono y nitrógeno atmosférico.

La distribución del mezquite abarca casi todo México, salvo las zonas montañosas y las partes bajas del sureste del país. Se encuentra espacialmente en zonas áridas y semiáridas, aunque también puede desarrollarse en zonas donde las temperaturas promedio varían entre 20 y 29 ºC, y con precipitaciones que oscilan entre 350 y 1200 mm al año. Puede crecer desde el nivel del mar hasta altitudes de 2200 m. Se desarrolla preferentemente en llanuras y bajíos, en suelos profundos que son aptos para la agricultura, lo que ha llevado a que se desplace de muchos lugares (García-Mosqueda, 2014).

En la actualidad, el mezquite se considera un recurso muy valioso para las personas que habitan en zonas áridas. Estas comunidades lo utilizan como una actividad adicional a la agricultura, la ganadería y la explotación de otras especies silvícolas. No obstante, en diversas regiones del país, la cantidad de mezquites ha mermado considerablemente, lo que hace esencial promover su uso sustentable. Esto debe llevar a la generación de beneficios económicos para quienes poseen este recurso, sin causar daño ni extinción a las poblaciones nativas de mezquite (Rodríguez et al., 2014).

De acuerdo con lo que se ha expuesto anteriormente, es esencial conocer los requerimientos hídricos del mezquite, tanto en su distribución espacial como a lo largo de su ciclo vegetativo, con el propósito de identificar regiones con alto potencial productivo en el noroeste de México. Por este motivo, el objetivo de este trabajo fue estimar la evapotranspiración del mezquite durante su ciclo de crecimiento utilizando imágenes del satélite Sentinel-2 y las fórmulas propuestas en el manual FAO-56 para determinar el coeficiente de cultivo en vegetaciones nativas.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en una zona de mezquital conocida como Venustiano Carranza, que se encuentra en el municipio de Mexicali, en Baja California. El área de estudio está situada a 32° 12' 4.5" de latitud norte y 115° 10' 50.9" de longitud oeste, con una altitud de 10 msnm, cubriendo una superficie de 8.38 ha. La estimación de la evapotranspiración (ET) del mezquite se realizó entre el 17 de marzo y el 2 de noviembre de 2019. A lo largo de este período, se abarcaron las diferentes etapas fenológicas del mezquite que incluyen el crecimiento vegetativo, la aparición de primordios florales, el crecimiento de inflorescencias, la floración, la producción de frutos, la maduración de semillas y la caída de frutos.

La estimación de la evapotranspiración (ET) del mezquite se llevó a cabo usando el enfoque dos pasos, conocido como "Coeficiente de Cultivo – Evapotranspiración de Referencia (Kc – ET_0)", el cual se detalla en el manual FAO-56. La metodología Kc – ET_0 asistida por teledetección deriva el valor del coeficiente de cultivo desde las imágenes adquiridas por el satélite Sentinel 2A y 2B. Utilizando los valores diarios del Kc, estimados mediante el ajuste del NDVI (Rouse, 1974) se logró determinar la ET diaria del mezquite con la siguiente ecuación:

$$ET = \sum_{d=1}^{n} ET_0 * Kc \qquad (1)$$

Donde ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm) y K_c es el coeficiente de cultivo diario estimado con el enfoque de vegetación natural (adimensional).

El cálculo de la ET_0 se efectuó utilizando la fórmula Blaney-Criddle (Doorenbos & Pruitt, 1977), dado que solo se disponía de registros de la temperatura máxima y mínima promedio diario a lo largo del período de análisis (Ecuación 2). Las temperaturas fueron recabadas de la estación "Colonia Mariana", situada próxima al área de estudio y que forma parte de la red de estaciones climáticas automáticas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

$$ET_0 = \left[\frac{T + 17.8}{21.8}\right] * p * Dm \qquad (2)$$

Donde ET_0 es la evapotranspiración de referencia (cm), T es la temperatura diaria promedio mensual (ºC), p es el porcentaje de horas luz en el día en relación con el total anual (%), y Dm es la división del número de días considerados en un mes para el ciclo vegetativo del cultivo.

Para estimar el Kc del mezquite, se utilizó la metodología descrita en el manual FAO-56 (Allen *et al*., 2006). El Kc inicial (Kc_{ini}) se estableció de acuerdo a la gráfica que se incluye en el dicho manual, la cual se basa en la cantidad de agua que ha infiltrado en el suelo (ya sea por riego o precipitación) y la ET_0 del área de estudio. En cuanto al Kc de la etapa media (Kc_{med}) y de la etapa final (Kc_{fin}), se utilizó la siguiente expresión:

$$Kc_{med}\ o\ Kc_{fin} = Kc_{ini} + \left(Kc_{full} - Kc_{ini}\right)(1 - exp[-0.7 * LAI]) \qquad (3)$$

Donde Kc_{full} representa el valor estimado de Kc en la etapa media (en el punto más alto del tamaño o la altura de la planta) para la vegetación que cubre por completo el suelo o con un *LAI* mayor de 3. El *LAI* fue determinado mediante la ecuación propuesta por Velasco & Bernabé (2004) utilizando imágenes de satélite Sentinel-2 y el índice SAVI (Huete, 1988).

Se utilizó un conjunto de 30 imágenes del satélite Sentinel-2 para cubrir totalmente el ciclo vegetativo del mezquite durante el período de análisis. Tras la descargada de las imágenes, se llevó a cabo un preprocesamiento mediante el complemento “Semi Automatic Classification (SCP)” del software Qgis. Para calcular Kc_{full} se aplicó la siguiente ecuación:

$$Kc_{full} = 1.2 + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(HR_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (4)$$

Donde u_2 es la velocidad promedio del viento registrada a 2 de altura en las etapas media y final (m seg^{-1}), HR_{min} indica el promedio diario de la humedad relativa mínima diaria durante las etapas media y final (%) y h es la altura máxima promedio de la planta o árbol (m).

Para estimar Kc_{full}, se descargaron los datos diarios promedio de la velocidad del viento (u_2) y la humedad relativa (RH) desde de la plataforma NASA-POWER (https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/) durante el período de estudio. Se utilizó la localización de la estación “Colonia Mariana” como punto de referencia. La HR_{min} se estimó usando la ecuación recomendada en el manual FAO-56. Una vez obtenidos los valores de Kc_{med} y Kc_{fin}, estos se relacionaron con los valores de NDVI obtenidos de las imágenes Sentinel-2 para generar un modelo lineal que permita estimar el Kc diario del mezquite en función del NDVI.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestra la relación lineal que existe entre el Kc de las etapas media (Kc_{med}) y final (Kc_{fin}) y el índice NDVI. Utilizando el modelo lineal Kc = 1.3309*NDVI – 0.2715 (R^2 = 0.82), se logró estimar el valor diario de Kc para esas etapas vegetativas, correspondientes de las fechas del 19 de agosto al 2 de noviembre de 2019.

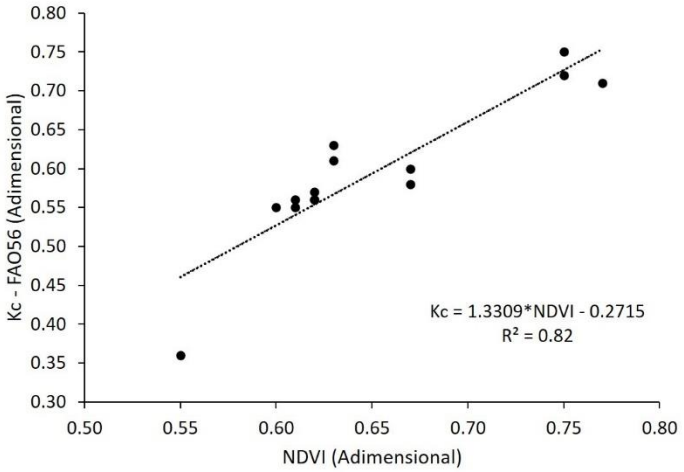


Figura 1. Relación lineal entre el Kc del mezquite estimado por la metodología FAO-56 en las etapas (Kc_{med} y Kc_{fin}) y los valores de NDVI obtenidos en el área de estudio.

En la Figura 2 se presenta la distribución temporal de la evapotranspiración de referencia (ET_0), calculada utilizando la ecuación de Blaney – Criddle con datos de las temperaturas máximas y mínimas. La ET_0 se determinó desde el 17 de marzo (día juliano 19076) hasta el 2 de noviembre de 2019 (19306). El 17 de julio (19198) se registró la ET_0 más alta, alcanzando 11.0 mm día^{-1}. Durante este intervalo, la ET_0 acumulada fue de 1647.2 mm.

En la Figura 3 se muestra la evapotranspiración (ET) acumulada del mezquite por mes, calculada durante el período de estudio (marzo –noviembre de 2019). Se observa que, en agosto, el mezquite alcanzó su máxima ET mensual (79.2 mm). A lo largo de su ciclo vegetativo, el mezquite acumuló un total de ET de 298.0 mm.

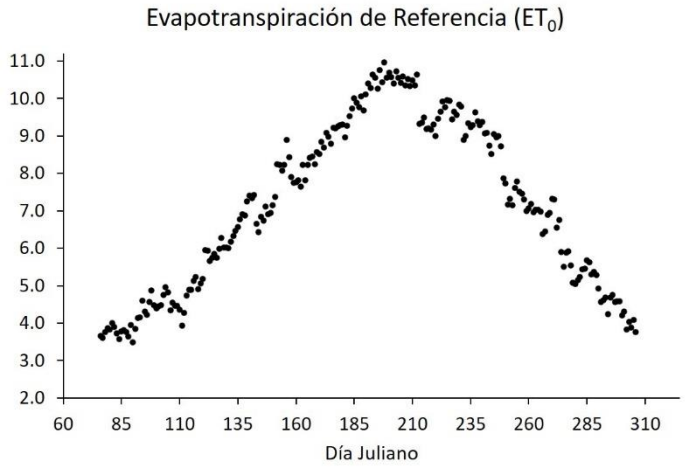


Figura 2. Distribución temporal de la ET_0 a lo largo del período de análisis.

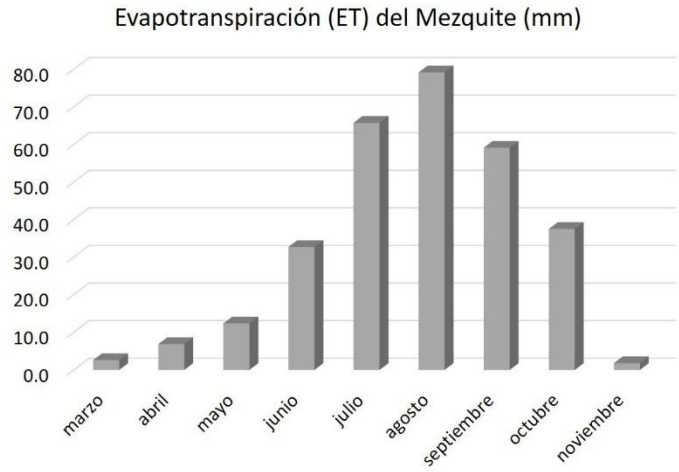


Figura 3. Evapotranspiración (ET) mensual acumulada del mezquite durante el período de estudio.

Conclusiones

Al aplicar el método descrito en el manual FAO-56 para calcular la evapotranspiración de la vegetación nativa y empleando imágenes satelitales de Sentinel-2, así como los índices de vegetación NDVI y SAVI, se logró determinar la evapotranspiración acumulada del mezquite durante su ciclo vegetativo, que fue de 298.0 mm en una zona de mezquital ubicada en el noroeste de México. Es recomendable realizar validaciones, ajustes y calibraciones de los modelos generados en este estudio con mediciones de campo para definir con precisión el valor de la evapotranspiración de forma espacial y temporal. Esta información será fundamental para evaluar el potencial productivo del mezquite en función de la evapotranspiración y la precipitación efectiva en la zona de estudio.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *FAO Riego y Drenaje Manual 56.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for Predicting Crop Water Requirements; *Irrigation and Drainage Paper FAO-24*; FAO: Rome, Italy.

García-Mosqueda, G. E. (2014). Biomasa de dos especies de matorral en tres densidades de plantación en Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 10*(2), 52-59.

Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sens. Environ. 25:295-309.

National Aeronautics and Space Administration. Prediction ofWorldwide Energy Resource (NASA-POWER). (2023). https://power.larc.nasa.gov/

Rodríguez, S. E. N., Rojo, M. G. E., Ramírez, V. B., Martínez, R. R., Cong, H. M. D. L. C., Medina, T. S. M., & Piña, R. H. H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (Prosopis laevigata Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai, 10*(3), 173-193.

Rouse, J. W. (1974). Monitoring the Vernal Advancement and Retrogration of Natural Vegetation. Texas: Texas A & M University, Remote Sensing Center.

Velasco, E. & Bernabé, R. M. (2004). Emisiones Biogenéticas. Primera Edición. Ciudad de México D.F., México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Instituto Nacional de Ecología.

MODELADO DEL NICHO ECOLÓGICO DE LA BIZNAGA BURRA (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto) EN MÉXICO

Aldo Rafael Martínez-Sifuentes[1]*, José Villanueva-Díaz[1], Gerardo Delgado-Ramírez[1], Nuria Aide López-Hernández[1], José Manuel Zúñiga-Vásquez[2], Citlalli Cabral-Alemán[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera, Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. [2]Estancia posdoctoral Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. *Autor para correspondencia: martinez.aldo@inifap.gob.mx

Introducción

La modelización de nichos ecológicos es una herramienta fundamental para comprender los factores ambientales que determinan la distribución de las especies, especialmente en un contexto de cambio climático y degradación de hábitats. Esta metodología permite identificar las áreas en las que una especie puede persistir bajo condiciones ambientales específicas, integrando una variedad de variables abióticas como la temperatura, la precipitación y las características del suelo (Elith et al., 2011). El *E. platyacanthus*, conocido comúnmente como biznaga burra, es una especie emblemática de los ecosistemas áridos y semiáridos del norte de México, donde desempeña un papel crucial en la estructura y funcionamiento del paisaje desértico. Esta especie, considerada endémica y en peligro de extinción, ha experimentado una significativa disminución en su población debido a la extracción ilegal para el comercio y la destrucción de su hábitat natural por actividades humanas, como la agricultura y la urbanización. El objetivo del presente estudio fue estimar el nicho ecológico de *E. platyacanthus* bajo condiciones climáticas actuales mediante un enfoque de Máxima Entropía.

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló en las entidades donde se ha registrado presencia de la especie, de acuerdo a sus características biológicas y de dispersión. Estos estados fueron Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Tlaxcala, Puebla y Oaxaca, zona que representa el área de modelado (M), de acuerdo al diagrama BAM. Se descargaron 2 322 registros de *E. platayacanthus* del portal del Fondo Mundial de Información sobre la Biodiversidad (GBIF.org, 2024). Para evitar el efecto de autocorrelación espacial se depuró la base de datos para eliminar datos duplicados y presencias de más de un registro por kilómetro cuadrado mediante el programa QGIS versión 3.34. Se descargaron 19 capas bioclimáticas de la plataforma WorldClim versión 2.0, las cuales, representan el promedio del clima de 1970 a 2000 con una resolución espacial de 30'' x 30'', así como variables edafológicas con resolución espacial de 250 m de limo, arena, arcilla, capacidad de intercambio catiónico, profundidad al lecho rocoso, volumen de fragmentos, densidad aparente, contenido de carbón orgánico y pH, de la plataforma SoilGrids. La elevación se obtuvo del modelo digital de elevación del Continuo de Elevaciones Mexicano a una resolución de 90 m^2. La selección de variables se desarrolló con los límites del área M y 10 000 puntos de fondo de la información climática, edafológica y topográfica. Para evitar la multicolinealidad, se seleccionaron las variables con correlación ≥ -0.7 y ≤ 0.7 ($p < 0.05$). El modelado de nicho ecológico de biznaga, se llevó a cabo con el programa MaxEnt versión 3.3.3 (Phillips et al., 2006). Se generaron 1 000 iteraciones con replicación interna por validación cruzada un límite de convergencia de 0.0001 y se desactivaron las opciones de "clamping" y "extrapolate", con la finalidad de evitar extrapolación en valores extremos en las variables. Se emplearon 75% de los registros de presencia para entrenar el modelo, y el resto (25%),

Resultados y discusión

Los modelos de idoneidad de hábitat basados en el clima actual arrojaron valores de área bajo la curva (AUC) que oscilaron entre 0.841 y 0.848 en el entrenamiento, y entre 0.823 y 0.855 en la fase de validación. El modelo con mejor desempeño presentó un valor de curva característica operativa del receptor (ROC) parcial de 1.84, con AUC de 0.848 en entrenamiento y 0.855 en validación. Además, todos los modelos generados obtuvieron un estadístico de habilidad real (TSS) superior a 0.80. La superficie estimada de distribución de *E. platyacanthus* en México fue de 19,203 km² (Figura 1).

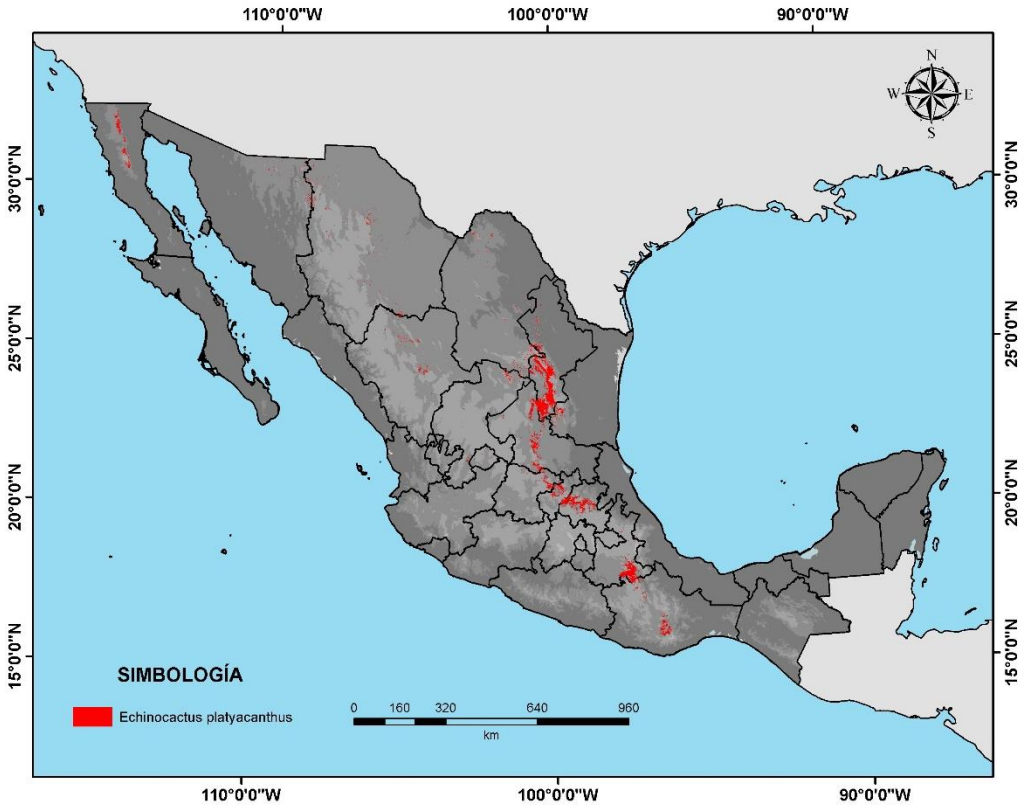


Figura 1. Idoneidad de hábitat de *E. platyacanthus* en México.

Estos resultados indican una elevada capacidad predictiva y solidez del modelo, en línea con investigaciones anteriores que consideran valores de AUC superiores a 0.80 como indicativos de una excelente capacidad para diferenciar entre zonas adecuadas e inadecuadas para la especie. Asimismo, los elevados valores de TSS (>0.80) respaldan aún más la confiabilidad del modelo, ya que esta métrica es ampliamente valorada por su efectividad para evaluar la precisión de las predicciones de presencia y ausencia, sin verse afectada por la prevalencia (Allouche et al., 2006).

El modelo con mayor precisión alcanzó un valor de ROC parcial de 1.84, lo que representa una capacidad discriminativa destacada (Swets, 1988). Este resultado resalta la importancia de considerar tanto variables climáticas como edáficas para lograr predicciones más precisas en la distribución de especies.

Además, el hecho de que todos los modelos obtuvieran un TSS superior a 0.80 respalda la idea de que incorporar múltiples variables ambientales, tales como la temperatura, la precipitación y las propiedades del suelo, que contribuyen significativamente a mejorar la exactitud de los modelos de nicho ecológico (Guisan et al., 2007).

En cuanto a la superficie de la idoneidad de hábitat de *E. platyacanthus*, esta se estimó en 19,203 km² bajo las condiciones climáticas actuales, lo que sirve como referencia para delimitar el alcance potencial de la especie en territorio mexicano. Este hallazgo concuerda con estudios previos que han empleado modelos de nicho ecológico para determinar áreas de distribución en zonas áridas y semiáridas, donde factores como la disponibilidad hídrica y las condiciones de temperatura resultan clave para la presencia de las especies (Meyer et al., 2016).

Conclusiones

Los resultados obtenidos destacan la necesidad de seguir explorando los estudios de idoneidad de hábitat de especies como *E. platyacanthus*, con el objetivo de identificar y priorizar áreas clave para su conservación. La incorporación de modelos predictivos, como el empleado en este estudio, representa una herramienta estratégica para el diseño de políticas de conservación más eficaces, especialmente ante las amenazas que enfrentan las especies localizadas fuera de las Áreas Naturales Protegidas. Este trabajo no solo contribuye significativamente a la conservación de *E. platyacanthus*, sino que también establece un enfoque metodológico aplicable a otras especies de cactus y plantas endémicas de ecosistemas áridos, que enfrentan desafíos similares tanto por condiciones ambientales como por presiones humanas.

Referencias

Allouche, O., Tsoar, A., y Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic. Journal of Applied Ecology, 43(6), 1223-1232.

Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E. and Yates, C.J. (2011), A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17: 43-57. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

GBIF.org. (2024). GBIF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.ycprxz

Guisan, A., et al. (2007). What species distributions tell us about climate change. Ecology Letters, 10(9), 841-850.

Meyer, W. B., et al. (2016). The impact of climate change on arid ecosystems: What we know and what we need to know. Journal of Arid Environments, 135, 26-34.

Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240(4857), 1285-1293.

MEZQUITALES NATIVOS COMO SUMIDEROS DE CARBONO: UN ESTUDIO DE CASO EN MAPIMÍ, DURANGO

Vicenta Constante-García[1] Erika Nava-Reyna[1*], Alexis Javier Pérez Alvarado[2], Mariana de Jesús Marcial-Pablo[1], José Alberto Urrieta-Velázquez[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta (CENID-RASPA), Margen Derecho del Canal de Sacramento km 6.5, Gómez Palacio, Durango, México. CP. 3514. [2]Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Carretera El Vergel – La Torreña Km 0 820, El Vergel, Durango, México, CP 35120. *Autor por correspondencia: constante.garcia@inifap.gob.mx

Introducción

El mezquite (*Prosopis glandulosa*) desempeña un papel fundamental en el secuestro de carbono (C), especialmente en las regiones semiáridas del norte de México. Su adaptación a ambientes con escasez hídrica le permite capturar cantidades significativas de C mientras mantiene una alta eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, a pesar de su potencial ecológico, el establecimiento de plantaciones deliberadas ha sido limitado. Además, se ha registrado una reducción considerable de la superficie cubierta por mezquitales en zonas clave como Durango y Coahuila. Si bien existen estudios previos sobre este tema, resulta esencial generar datos específicos que cuantifiquen el C almacenado según distintos factores que influyen en su variabilidad (edad del árbol, densidad de población, condiciones edafoclimáticas, etc.) (Ríos-Saucedo et al., 2011). Los resultados presentados en este estudio aportan valores detallados, tanto del C promedio por individuo como del C acumulado por hectárea en el área de estudio, con el objetivo de colaborar en el conocimiento de la cantidad de C que aportan los ecosistemas de zonas áridas del norte de México.

Materiales y métodos

El área de estudio se ubica en mezquitales nativos del municipio de Mapimí, Durango. Esta zona presenta un impacto por actividades agrícolas, y se localiza entre las coordenadas 25°50’52.70” N y 103°45’0.79” O. El muestreo se realizó en cinco parcelas circulares de 1000 m² cada una, distribuidas sistemáticamente con una separación de 100 a 150 m entre ellas, manteniendo un mismo nivel altitudinal. Los datos se recolectaron específicamente para la especie *Prosopis glandulosa* (mezquite). Las variables dasométricas tomadas en el arbolado mayor de los mezquitales incluyeron la altura (m) y el diámetro base (cm). Para estimar la biomasa, se aplicó el modelo alométrico desarrollado para la especie en estudio (Méndez et al., 2006 y Rojas-García et al., 2016) seleccionado por su adecuación a zonas áridas y su correspondencia con la variabilidad ecológica de la región de estudio. Las ecuaciones empleadas expresan la biomasa en kilogramos por individuo. La biomasa obtenida se relacionó con el factor 0.50 para convertirla a contenido de C, correspondiente a la fracción promedio de C en la biomasa seca (IPCC, 2003). Posteriormente, se calculó el secuestro de C por árbol (kg) y por clase diamétrica en Mg ha^{-1}, considerando la densidad del arbolado en la superficie muestreada. Los resultados se expresaron en Megagramos por hectárea (Mg ha^{-1}) tanto para la biomasa como para el carbono.

Resultados y discusión

El análisis del arbolado reveló un promedio de biomasa por árbol de 154.3 kg árbol^{-1}, con un rango entre 9.4 y 1089.5 kg. En cuanto al C almacenado, se registró un promedio de 77.1 kg árbol^{-1}, oscilando desde 4.7 kg hasta 544.7 kg árbol^{-1} (Figura 1). Cabe destacar que el valor máximo de C (544.7 kg) correspondió a individuos con diámetros de hasta 61.0 cm, lo que sugiere una correlación positiva entre el tamaño del árbol y su capacidad de secuestro de carbono.

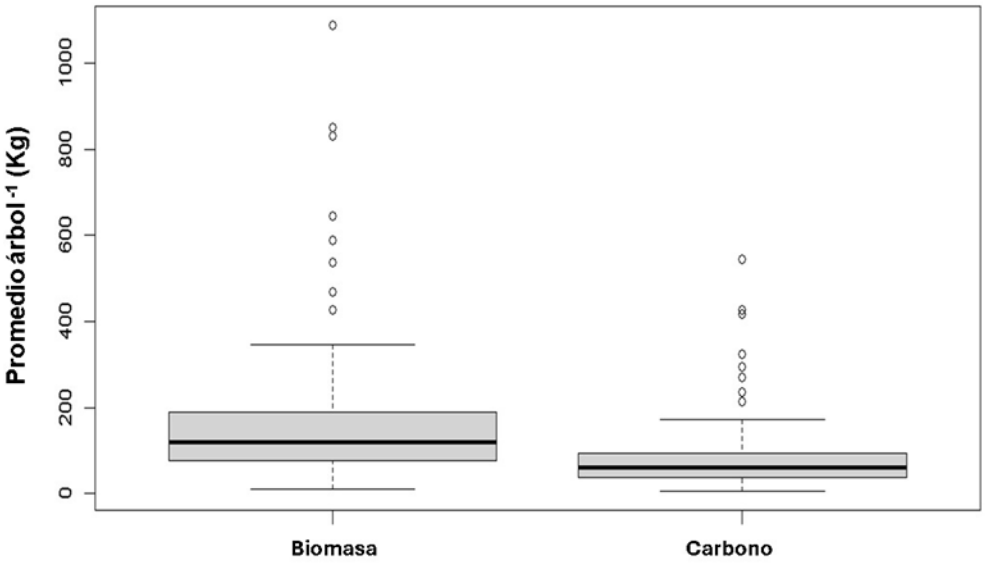


Figura 1. Distribución de la biomasa y el carbono en arbolad de *Prosopis glandulosa* en el municipio de Mapimí, Durango.

El cálculo por individuo permitió una estimación de la cantidad de C en Mg ha^{-1} por clases diamétricas, donde se observa una mayor cantidad de individuos en las clases iniciales (7.5 a 32.5 cm) y una disminución drástica hasta la clase diamétrica de 62.5 cm (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de carbono (Mg ha^{-1}) en la biomasa de arbolado vivo estimado en individuos de *Prosopis glandulosa*, Mapimí, Durango.

C.D	Árboles ha^{-1}	Biomasa Kg por 5000 m^2	Biomasa Mg 5000 m^2	Biomasa Mg ha^{-1}	Carbono Mg ha^{-1}
7.5 - 12.5	82	1785.5	1.79	3.6	1.8
12.5 - 17.5	130	5812.8	5.81	11.6	5.8
17.5 - 22.5	96	7423.5	7.42	14.8	7.4
22.5 - 27.5	56	6196.3	6.20	12.4	6.2
27.5 - 32.5	32	4847.3	4.85	9.7	4.8
32.5 - 37.5	4	851.8	0.85	1.7	0.9
37.5 - 42.5	4	1006.9	1.01	2.0	1.0
42.5 - 47.5	4	1233.5	1.23	2.5	1.2
47.5 - 52.5	2	831.8	0.83	1.7	0.8
52.5 - 57.5	2	851.8	0.85	1.7	0.9
57.5 - 62.5	2	1089.5	1.09	2.2	1.1
	414			**63.9**	**31.9**

Al contrastar estos datos con la literatura consultada, se observa que el C total en el área de estudio (31.9 Mg C ha^{-1}) es inferior al reportado por Flores-Patiño et al., (2019) para mezquitales maduros (46.10 Mg C ha^{-1}), pero superior a los valores de Yerena-Yamall et al., (2015) en mezquites jóvenes (18.83 Mg C ha^{-1}). Esta disparidad refuerza la idea de que la edad, la densidad y la calidad del sitio son factores determinantes (García-Aguilar et al., 2017), situando a la población estudiada en una etapa intermedia de desarrollo. La estructura diamétrica observada, con predominio de individuos jóvenes, confirma esta condición y sugiere un potencial de captura subestimado. Lo anterior justifica la necesidad de implementar un programa de manejo forestal o protección de estos ecosistemas, ya que estas acciones podrían optimizar la captura al conducir a los ecosistemas hacia una madurez óptima. Dicho manejo debería enfocarse en prácticas silvícolas que favorezcan el crecimiento diamétrico y la supervivencia de los individuos, incrementando así el stock de aéreo en el mediano y largo plazo. Por otra parte, tanto el manejo como la protección también podría contrarrestar la reducción de la superficie de ocupación de *Prosopis glandulosa* registrada en Durango y Coahuila, donde la conversión de hábitat para actividades agrícolas ha sido identificada como la principal causa de la pérdida de estos valiosos sumideros de C (Ríos-Saucedo et al., 2011).

Conclusión

La cuantificación del C almacenado en *Prosopis glandulosa* en zonas áridas de Mapimí, Durango, registró un total de 31.9 Mg C ha^{-1}. La captura individual presentó un promedio de 77.1 kg $árbol^{-1}$, con un amplio rango (4.7–544.7 kg) en la distribución de su arbolado, mostrando una fuerte correlación con el diámetro, lo que resalta la importancia de la madurez del arbolado para la acumulación de carbono. Sin embargo, la escasez de individuos maduros (>32.5 cm) y la reducción de la superficie de mezquitales por la actividad agrícola en el área de estudio reflejan una perturbación antropogénica que limita este servicio ecosistémico. Por lo tanto, se concluye que la aplicación de un manejo forestal o la protección efectiva contra el avance de la frontera agrícola son esenciales para conducir a estas poblaciones hacia etapas maduras, cruciales para la restauración ecológica y la mitigación del cambio climático.

Agradecimientos y fuente de financiamiento. Este trabajo fue financiado por el fondo de Proyectos Fiscales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, titulado “Recuperación de la Funcionalidad de Suelos Degradados Bajo Diferentes Estrategias en Ecosistemas Áridos y Templados del norte De México”.

Referencias

Flores-Patiño, A. M., Rodríguez-Alanís, E., Molina-Guerra, V. M., Rodríguez-González, H., Jurado, E., & Aguirre-Calderón, O. A. (2019). Almacenamiento de carbono en la reserva ecológica de Ternium en Pesquería, Nuevo León. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 10(54). https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.498

García-Aguilar, J. Á., Velasco-Velasco, V. A., Rodríguez-Ortiz, G., Raymundo, J., & Enrique-Del Valle, J. R. (2017). Influence of site index on the growth of Pinus patula Schltdl. et Cham. plantations. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 8(44).

Méndez J, Santos A, Nájera J, González V (2006) Modelos para estimar volumen y biomasa de árboles individuales de Prosopis glandulosa, var. Torreyana en el ejido Jesús González Ortega No.1, Mpio. De Mexicali, B.C. Agrofaz 6:225–239.

Rojas-García, F., De Jong, B. H., Martínez-Zurimendí, P., & Paz-Pellat, F. (2015). Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. Annals of forest science, 72(6), 835-864.

Saucedo, J. C. R., Caciano, R. T., Núñez, L. M. V., Pérez, G. S., & Serna, R. R. (2011). Importancia de las Poblaciones de Mezquite en el Norte-Centro de México. CENID-RASPA, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias: Durango, México, 1-21.

Yerena-Yamallel, J. I., Jiménez-Pérez, J., Alanís-Rodríguez, E., Pompa-García, M., Aguirre-Calderón, O. A., & Treviño-Garza, E. J. (2015). Contenido de carbono en la biomasa aérea del Mezquital con historial agrícola, en México. Interciencia, 40(10), 722–726. https://doi.org/0378-1844/14/07/468-08$3.00/0

BIOPROSPECCIÓN DE *Opuntia* spp.; UN ENFOQUE INTEGRAL PARA LA CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO EN EL SEMIDESIERTO

Fernanda Díaz Sánchez[1], Jorge Cadena Iñiguez[1]*, Víctor Manuel Ruiz Vera[1], Brenda I. Trejo Tellez[1], Julio Sánchez Escudero[2], José Luis Yagüe Blanco[3]

[1] Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide #73, Col. Centro, Salinas, SLP., México. C.P. 78600. [2]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56264. [3]Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica Alimentaria y de Biosistemas. Campus Ciudad Universitaria, Av. Puerta de Hierro, # 2-4, Madrid, Comunidad de Madrid, ES. 28040 Madrid. *Autor de correspondencia: jocadena@colpos.mx

Introducción

La bioprospección vegetal es clave para descubrir compuestos bioactivos con aplicaciones farmacéuticas, agrícolas e industriales derivados de la biodiversidad incluyendo el rastreo de extractos químicos y propiedades genéticas (Cupido et al., 2024) que han servido como base para medicamentos (Moran et al., 2001). La bioprospección se considera herramienta integral que involucra aspectos ambientales, económicos, políticos y culturales, ampliando el conocimiento científico sobre los recursos naturales (Narváez Torres, 2023). Este enfoque es relevante en el contexto de los Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura (RGAA) nativos de México, con énfasis en recurso del semidesierto como *Opuntia* spp., *Agave* spp. y *Yucca* spp., que se encuentran principalmente en ejidos y comunidades agrarias (Cadena Iñiguez et al., 2020) ofreciendo opciones de cultivo, alimento e insumos industriales (Mastretta-Yanes et al., 2019, Consuegra Cogle et al., 2021, Lorenzen, 2021). El nopal (*Opuntia* spp.) de amplia distribución en México, es una fuente importante de nutrientes, vitaminas, fibras, compuestos antioxidantes y propiedades hipoglucemiantes (El-Mostafa et al., 2014; Mendoza Ávila et al., 2020). Su conocimiento y manejo puede generar beneficios socioeconómicos y ambientales, como la conservación del suelo, captura de carbono (Pérez-Vivar et al., 2024), y su conservación es estratégica para los sistemas alimentarios (Avila-Alba, 2021), especialmente para la agricultura tradicional ante los impactos del cambio climático (Lluch-Cota et al., 2022). Por lo anterior, se realizó un metaanálisis bioprospectivo de *Opuntia* spp., para identificar caracteres sobresalientes relacionados con valor nutraceútico y actividad biológica que puedan revalorizar su uso y conservación.

Materiales y métodos

Revisión de publicaciones y análisis estadístico. La metodología consistió en una codificación y análisis de variables a partir de publicaciones científicas de bases de datos del Journal Citation Reports (JCR), Web of Science (WOS) y Scopus, centrándose en estudios sobre el valor nutracéutico y la actividad biológica de *Opuntia* spp. En la búsqueda de información se utilizaron combinaciones de palabras clave en inglés y español. La información se organizó en una base de datos codificada (Cuadro 1) que incluyó las variables y sus estados. Para el análisis, se utilizó el software WinClada ver. 1.00.08 (Nixon, 199-2002) para identificar las variables con mayor parsimonia estadística.

Cuadro 1. Codificación de las variables y sus estados.

Número	Variable	Estado de la variable
1	Valor nutracéutico	1=Polifenoles, 2=Flavonoides, 3=Betalainas, 4=Metabolitos secundarios
2	Valor alimenticio	1=Proteínas, 2= Fibra dietética, 3=Calcio, 4=Magnesio, 5=Potasio, 6=Carbohidratos, 7=Bajo contenido calórico
3	Valor medicinal-terapéutico	1=Hipoglucemiante, 2= Antiinflamatorio, 3= Control de colesterol, 4=Propiedades gastroprotectoras, 5=Hepatoprotectores
4	Azucares totales	1=Glucosa, 2=Fructuosa
5	Fibra	1=Soluble, 2=Insoluble
6	Vitaminas	1=Vitamina C, 2=Vitamina A
7	Micro minerales	1=Hierro, 2=Zinc, 3=Calcio, 4=Magnesio, 5=Potasio, 6=Cobre
8	Ácidos fenólicos	1=Ácido gálico, 2=Ácido cafeico, 3=Ácido ferúlico, 4=Ácido p-cumárico
9	Flavonoides	1=Quercetina, 2= Isorhamnetina, 3=Kaempferol, 4=Rutina
10	Carotenoides	1=Betacaroteno, 2=Luteína, 3=Zeaxatina
11	Taninos	1=Hidrolizables, 2=Condensados
12	Actividad Antiproliferativa	1=Cáncer colon, 2= Cáncer mama, 3= Próstata, 4=Laringe, 5=Pulmón
13	Actividad Antioxidante	1= Si, 2=No
14	Actividad Antimicrobiana	1=Si, 2=No

Resultados y discusión

Valor nutricional y bioactivo. Las variables codificadas mostraron un árbol parsimonioso (Figura 1) con una longitud de L=74, un índice de consistencia de Ci=35, e índice de retención de Ri=75 que reflejan un contexto parsimonioso con información evolutiva sugerida por la actividad biológica y nutraceútica dada por los metabolitos secundarios (Cuadro 1). El bajo Ci sugiere elevada homoplasia atribuible a la convergencia de caracteres morfológicos, tales como la forma de espinas y cladodios debido a las condiciones ecológicas compartida (Majure et al., 2012), mientras que el Ri indica que la mayoría de los caracteres contribuyen a la estructura filogenética indirecta. Las especies de *Opuntia* mostraron alto contenido de fibra dietética, vitaminas (A, C) y minerales (hierro, calcio, magnesio), siendo recursos valiosos para la seguridad alimentaria (Dubeux Jr. et al., 2021). *O. ficus-indica* destacó por su contenido de polifenoles, flavonoides y ácido cafeico, que inhibe la oxidación de LDL y previene aterosclerosis (Ramírez-Moreno et al., 2013). *O. dillenii* exhibió potente efecto antioxidante asociado a flavonoides como rutina (Koufan et al., 2024), mientras *O. streptacantha* presentó la mayor concentración de polifenoles y actividad antioxidante (Ramírez-Ramos et al., 2019). Se documentó que la fibra soluble de *O. ficus-indica* reduce la absorción de glucosa entre 15-20% (Nuñez-López et al., 2013), mientras los mucílagos de *O. dillenii* amplían este efecto hasta 40% *in vitro* (Koufan et al., 2024). Extractos de *O. dillenii* mostraron actividad antiproliferativa sobre células de cáncer de colon (Keller et al., 2015). Los cladodios presentaron alto contenido de fibra dietética (15-30%), particularmente pectinas y mucílagos con efectos prebióticos (Silva et al., 2021).

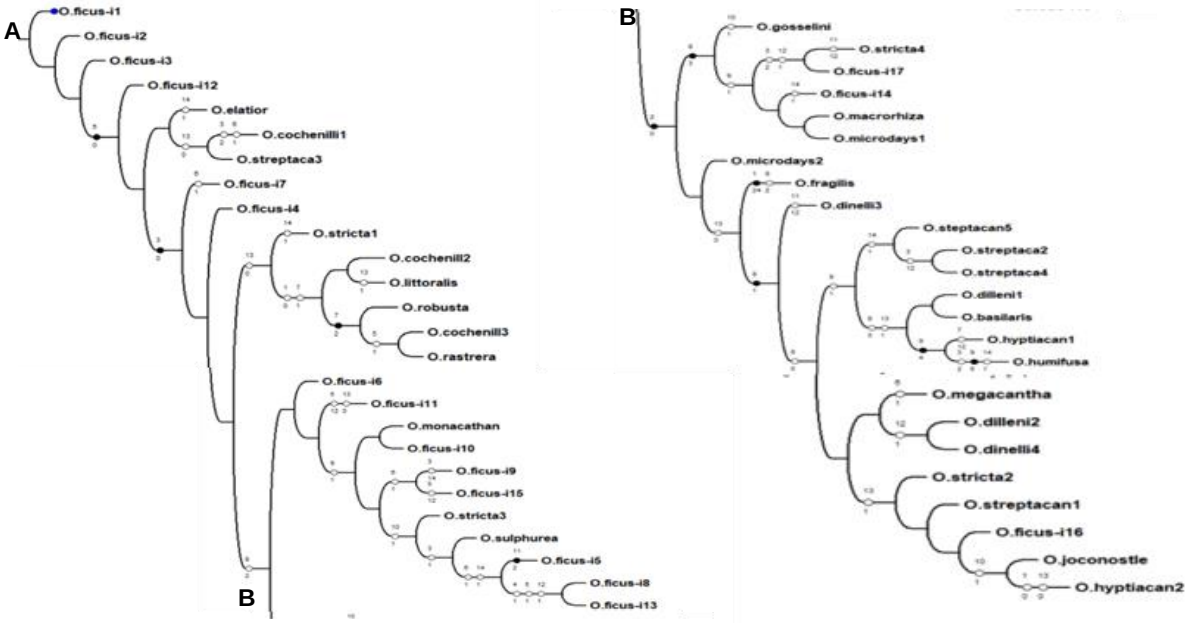


Figura 1. Árbol parsimonioso de *Opuntia* spp. Obtenido a partir de variables bioprospectivas con actividad nutraceúticas y biológica.

Se identificaron adaptaciones locales específicas. *O. monacantha* (Brasil) mostró alta actividad antirradical (Valente et al., 2010), mientras *O. sulphurea* (Argentina) presentó alto contenido de fibra insoluble (12.3%) beneficiosa para la salud digestiva (Carreira et al., 2020). Este estudio evidencia el potencial de *Opuntia* spp. como recurso multifuncional para seguridad alimentaria, aplicaciones nutracéuticas y desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles en regiones semiáridas. La investigación demuestra que la bioprospección de *Opuntia* spp. representa una estrategia integral para la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos genéticos. El análisis parsimonioso muestra diversidad morfológica y genética, aunque con significativa homoplasia (Ci=35%), atribuible a adaptaciones en ambientes semiáridos.

La implementación de módulos de agricultura complementaria (*AgriCom*) en el semidesierto donde se incluyan especies de *Opuntia* spp., puede ser una estrategia viable para la conservación de RGAA y generar ingresos económicos en comunidades rurales, contrarrestando así el abandono de parcelas y la migración. Este modelo, articulado con los marcos normativos del Protocolo de Nagoya y el Segundo Plan de Acción Mundial de la FAO, facilita la participación justa de las comunidades rurales en los beneficios que aportan los recursos genéticos. El análisis bioprospectivo mediante la parsimonia estadística sugiere una reducción de tiempo para la toma de decisiones y promueve más canales de comercialización por usos diferentes a los alimenticios con la finalidad de coadyuva a la conservación.

Conclusiones

En el valor nutracéutico y medicinal de *Opuntia* spp., destacan su alto contenido de fibra dietética, compuestos bioactivos (polifenoles, flavonoides, betalaínas) y propiedades hipoglucemiantes y antioxidantes validadas. Particularmente, *O. ficus-indica* y *O. dillenii* mostraron potencial terapéutico para el tratamiento de diabetes y prevención de enfermedades cardiovasculares y cáncer. Es importante la relación de variables y genotipos para ser incluidos en modelos de agricultura complementaria.

Referencias

Avila Alba, T. (2021). Contribución de los recursos genéticos a los sistemas alimentarios. Journal Boliviano de Ciencias, 17, 105–106.

Cadena Iñiguez, J., González Santos, R., Cuevas Sánchez, J., Riviello Flores, M. D. L. L., & Ruiz Posadas, L. D. M. (2020). La conservación in situ de la biodiversidad agrícola y la generación de proyectos en ejidos y comunidades de México. Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering, Julio, 1074–1084.

Carreira, V. P., Padró, J., Mongiardino Koch, N., Fontanarrosa, P., Alonso, I., & Soto, I. M. (2014). Nutritional composition of Opuntia sulphurea G. Don cladodes. Haseltonia, 19, 38–45. https://doi.org/10.2985/026.019.0106

Consuegra Cogle, L., Tipanluisa Cualchi, D. V., Piedra Morocho, C. M., Tipantaxi Torres, D. X., & Peraza de Aparicio, C. X. (2021). La migración de zonas rurales a zonas urbanas en el Ecuador. Recimundo, 5(1), 14–21. https://doi.org/10.26820/recimundo/5.(suple1).oct.2021.14-21

Cupido, M., De-Nova, J. A., & Cilia-López, V. G. (2024). Aproximaciones evolutivas en etnobotánica de plantas medicinales y bioprospección. Botanical Sciences, 102(1). https://doi.org/10.17129/botsci.3325

Dubeux Jr., J. C. B., Santos, M. V. F., Cunha, M. V., Santos, D. C., Souza, R. T. A., Mello, A. C. L., & Souza, T. C. (2021). Cactus (Opuntia and Nopalea) nutritive value: A review. Animal Feed Science and Technology, 275, 114890. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890

El-Mostafa, K., Youssef, K., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El-Kebbaj, M. S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., & Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal cactus (Opuntia ficus-indica) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. Molecules, 19, 14879-14901. https://doi.org/10.3390/molecules190914879

Koufan, M., Choukrane, B., & Mazri, M. A. (2024). Structure–function relationships and health-promoting properties of the main nutraceuticals of the cactus pear (Opuntia spp.) cladodes: A review. Molecules, 29(19), 4732. https://doi.org/10.3390/molecules29194732

Lluch-Cota, S. E., Velázquez Zapata, J. A., & Nieto Delgado, C. (2022). Agricultura, agua y cambio climático en zonas áridas de México. Recursos Naturales Y Sociedad, 8(2), 35–48. https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.02.0004

Lorenzen, M. (2021). Nueva ruralidad y migración en la Mixteca Alta, México. Perfiles Latinoamericanos, 29(58), 1–29. https://doi.org/10.18504/pl2958-011-2021

Majure, L. C., Puente, R., Griffith, M. P., Judd, W. S., Soltis, P. S., & Soltis, D. E. (2012). Phylogeny of Opuntia s.s. (Cactaceae): Clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution. American Journal of Botany, 99(5), 847–864. https://doi.org/10.3732/ajb.1100375

Mastretta-Yanes, A., Bellon, M. R., Acevedo, F., Burgeff, C., Piñero, D., & Sarukhán, J. (2019). Un Programa Para México De Conservación Y Uso De La Diversidad Genética De Las Plantas Domesticadas Y Sus Parientes Silvestres. Revista Fitotecnia Mexicana, 42(4), 321–334. https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.321-334

Mendoza-Ávila, M., Gutiérrez-Cortez, E., Quintero-García, M., Real, A. D., Rivera-Muñoz, E. M., Ibarra-Alvarado, C., Rubio, E., Jiménez-Mendoza, D., & Rojas-Molina, I. (2020). Calcium bioavailability in the soluble and insoluble fibers extracted from Opuntia ficus-indica at different maturity stages in growing rats. Nutrients, 12(11), 3250. https://doi.org/10.3390/nu12113250

Moran, K., King, S. R., & Carlson, T. J. (2001). Biodiversity prospecting: Lessons and prospects. Annual Review of Anthropology, 30(1), 505–526. https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.30.1.505

Narváez Torres, N. (2023). La bioprospección: indicador de los vacíos jurídicos en los conocimientos tradicionales agrícolas. Inciso, 23(1), e1109. https://doi.org/10.18634/incj.23v.1i.1109x

Nuñez-López, M. A., Paredes-López, O., & Reynoso-Camacho, R. (2013). Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (O. ficus-indica) at different maturity stages using in vitro and in vivo tests. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61(46), 10981–10986. https://doi.org/10.1021/jf403834x

Pérez-Vivar, M. A., Castellanos-Serrano, L. T., Gómez-Águila, M. V., Chávez-Mota, R., & Rodríguez-Morán, M. (2024). Un homenaje al nopal: Revisión de sus usos más allá de lo comestible. E-cucba, 21, 195-200. https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi21.338

Ramírez-Moreno, E., Córdoba-Díaz, D., Sánchez-Mata, M. de C., Díez-Marqués, C., & Goñi, I. (2013). Effect of boiling on nutritional, antioxidant and physicochemical characteristics in cladodes (Opuntia ficus-indica). LWT - Food Science and Technology, 51(1), 296–302. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.005

Ramírez-Ramos, M., Medina-Dzul, K., García-Mateos, R., Corrales-García, J., Ybarra-Moncada, C., & Castillo-González, A. M. (2019). Nutraceutical components, antioxidant activity and color of eleven varieties of prickly pear (Opuntia sp.). Journal of Applied Botany and Food Quality, 92, 150-158. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2019.092.021

Silva, M. A., Albuquerque, T. G., Pereira, P., Ramalho, R., Vicente, F., Oliveira, M. B. P. P., & Costa, H. S. (2021). Opuntia ficus-indica (L.) Mill.: A multi-benefit potential to be exploited. Molecules, 26(4), 951. https://doi.org/10.3390/molecules26040951

Valente, L. M. M., da Paixão, D., do Nascimento, A. C., dos Santos, P. F. P., Scheinvar, L. A., Moura, M. R. L., Tinoco, L. W., Gomes, L. N. F., & da Silva, J. F. M. (2010). Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of Opuntia monacantha (Cactaceae). Food Chemistry, 123(4), 1127–1131. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.074

ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS LIMITACIONES TÉRMICAS EN LA PRODUCCIÓN APÍCOLA EN LA COMARCA LAGUNERA: UN ENFOQUE ECOFISIOCLIMÁTICO PARA LA TOMA DE DECISIONES

Jorge Luis Becerra-López[2], Fernando Alonzo Rojo[2], Karen Fraire-Galindo[1], Perla Susana Martínez-Rojas[1,3], Susana Torres Valles[4], Saúl Santana-Espinoza[1]*

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Matamoros, Coahuila, México. [2]Laboratorio de Cambio Climático y Conservación de Recursos Naturales, Centro de Estudios Ecológicos, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, México. [3]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México. [4]Universidad Politécnica de La Región Laguna UPRL. Ejido. Santa Teresa C.P. 27942 Municipio de San Pedro, Coahuila. *Autor para correspondencia: santana.saul@inifap.gob.mx

Introducción

El cambio climático y sus efectos sobre los ecosistemas naturales y sistemas productivos han cobrado una relevancia creciente en las últimas décadas, especialmente en sectores altamente sensibles a las condiciones ambientales, como la apicultura. La especie *Apis mellifera*, principal polinizador en muchos agroecosistemas del mundo, presenta una estrecha relación con las condiciones climáticas, particularmente con la temperatura, la cual influye directamente en su actividad de forrajeo, reproducción y supervivencia. Se ha establecido que el rango térmico óptimo para el forrajeo de esta abeja se encuentra entre 18 °C y 30 °C (Heidinger et al., 2014), fuera del cual su eficiencia en la recolección de néctar y polen disminuye significativamente.

En la Comarca Lagunera, región semiárida ubicada en el norte de México, la actividad apícola representa una fuente importante de ingresos y empleo, además de desempeñar un papel clave en la polinización de cultivos y flora nativa (Reyes-Carrillo et al., 2014). Sin embargo, esta zona se caracteriza por presentar temperaturas extremas durante gran parte del año, lo que podría estar limitando la capacidad de las colonias de abejas para aprovechar los recursos florales disponibles, especialmente en los meses de mayor floración. Aunque la disponibilidad de néctar y polen aumenta entre primavera y verano debido a la fenología de especies vegetales del Desierto Chihuahuense (Irish e Irish, 2000; Terrones et al., 2004), las temperaturas promedio en este periodo suelen superar el umbral superior del rango óptimo de forrajeo, lo que plantea una contradicción entre la oferta floral y las condiciones térmicas favorables para la actividad apícola. Ante este escenario, el análisis espacial de datos climáticos emerge como una herramienta fundamental para comprender la idoneidad térmica del territorio y su impacto en la productividad apícola. Mediante el uso de información climática de alta resolución espacial (Cerasoli et al., 2022) y técnicas de modelado en entornos computacionales como R Project, es posible identificar zonas y periodos del año con condiciones térmicas óptimas para el forrajeo de *A. mellifera*. Este enfoque no solo permite evaluar las limitaciones actuales del sector, sino también proponer estrategias de manejo adaptativas que articulen la apicultura con otras actividades productivas, como la ganadería y la agricultura, mediante la introducción de forrajes nectaríferos en épocas críticas.

El presente estudio tiene como objetivo analizar, a través de un modelo ecofisioclimático, el rango térmico óptimo para el forrajeo de *A. mellifera* en la Comarca Lagunera a lo largo del año, con el fin de identificar periodos y zonas geográficas donde las condiciones climáticas favorecen o limitan la actividad de forrajeo. Los resultados aportan evidencia científica para la toma de decisiones en el manejo apícola, promoviendo prácticas resilientes frente al cambio climático y contribuyendo a la sostenibilidad del sector en una región vulnerable desde el punto de vista ambiental y productivo.

Materiales y métodos

Rango de temperaturas ideales. Para identificar las zonas con temperatura óptima de forrajeo para la especie *A. mellifera*, se empleó el modelo ecofisioclimático, en primera instancia, se procedió a consultar diversas fuentes bibliográficas identificando como temperatura máxima 30 °C y mínima 18 °C para un forrajeo óptimo (Heidinger et al., 2014). Posteriormente, en el programa R Project (R Core Team, 2024) a través de la librería "rasterVis" (Lamigueiro et al*.* 2021), empleando la función "*levelplot"*, se proyectó la representación de la información espacial para el promedio de temperatura mensual correspondiente al periodo 1970-2000 a una escala espacial de 30 segundos, la información climática fue obtenida de la plataforma WorldClim (Cerasoli et al*;* 2022). A continuación, para cada mes del año, utilizando la función "*rasterTheme*", de la paquetería "*raster*" (Hijmans et al., 2013) se identificaron zonas geográficas dentro de La Comarca Lagunera con condiciones de temperatura óptima que permitan llevar a cabo el proceso de forrajeo de manera más eficiente. Posteriormente una vez identificadas aquellas zonas que mantienen el rango máximo y mínimo de temperatura para el desarrollo óptimo de forrajeo a través del año, se generó un gradiente de probabilidad que va de 0 a 100 %; esto permitió dar un valor cuantitativo a las zonas geográficas de acuerdo con el rango de temperaturas ideales para el forrajeo de *A. millifera* en la Comarca Lagunera.

Resultados

Las evidencias indican que, en la Comarca Lagunera, del mes de marzo al mes de abril, la temperatura media se eleva 3.3 °C, pasando de 28 °C a 31.3 °C; llegando a registrar hasta 34.7 °C de temperatura media en el mes de junio y volviendo a reportar temperaturas inferiores a los 30 °C en el mes de octubre. Según diversos autores, durante este periodo de seis meses se registra un incremento significativo en la floración de especies vegetales silvestres en el Desierto Chihuahuense (Irish e Irish, 2000; Terrones et al., 2004). Este evento fenológico incrementa la disponibilidad de néctar y polen, constituyendo así la época más favorable para la producción y recolección de miel en los centros apícolas de la Comarca Lagunera. No obstante, Seeley (1985) menciona que las poblaciones de abejas europeas evolucionaron en ambientes caracterizados por estaciones del año bien diferenciadas, con veranos cálidos, ricos en extensas floraciones de monocultivos que producen cantidades copiosas de néctar por periodos cortos, con inviernos fríos y prolongados (Seeley, 1985) y bajo condiciones de temperatura optima de forrajeo de 18 ^{0}C a 30 ^{0}C (Heidinger et al., 2014).

Cuadro 1. Se muestran la temperatura mínima (T-min), temperaturas medias (T-med) y temperatura máxima (T-max) expresadas en °C para los 12 meses de año.

Temp.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T-min	15.0	16.2	17.9	20.5	23.3	23.8	22.5	21.6	20.7	19.6	17.8	15.5
T-med	21.8	24.6	28.0	31.3	34.2	34.7	33.2	32.6	31.0	29.0	25.7	22.1
T-max	25.1	27.6	31.3	34.1	37.1	37.9	36.7	36.2	34.6	31.9	28.6	25.6

En relación al cuadro 1, las evidencias indican que, durante la época de mayor floración, la temperatura ambiental en la Comarca Lagunera supera el rango óptimo de forrajeo de *A. mellifera*.

Al respecto, el modelo ecofisioclimático de rango de temperatura ideal para el forrajeo de la abeja mellífera muestra que entre el mes de abril y el mes de septiembre las zonas óptimas disminuyen entre un 70 % y 85% en la región. Por lo tanto, es posible señalar que, aunque existe una coincidencia temporal entre la disponibilidad floral y la actividad de forrajeo de las colonias de abeja, las condiciones térmicas predominantes podrían estar limitando la capacidad de *A. mellifera* para explotar óptimamente los recursos disponibles. Lo cual puede traducirse en una reducción del ingreso de alimento a la colmena y, en consecuencia, en la afectación negativa de la producción de miel en los diferentes centros apícolas de la Comarca Lagunera.

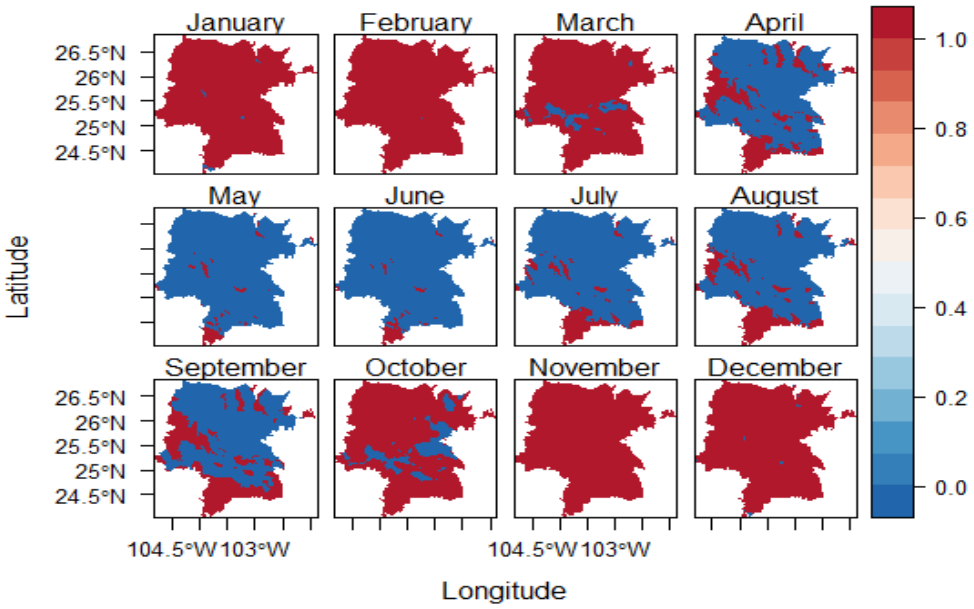


Figura 1. Representación espacial mediante un gradiente cromático (azul → amarillo → rojo) que permite una interpretación intuitiva y precisa de la idoneidad térmica óptima para el forrajeo de *Apis mellifera* en La Comarca Lagunera a través del año.

Por otra parte, considerando que durante los meses correspondientes a la temporada de invierno las condiciones térmicas muestran un rango óptimo de forrajeo en más del 95% de la Región Lagunera, se hace necesario implementar programas de manejo integrado que promuevan la introducción y establecimiento de forrajes ganaderos con características nectaríferas. Esto no solo contribuiría a mejorar la disponibilidad de recursos alimenticios para las colonias de abejas, sino que además permitiría articular sinérgicamente los sectores apícola, ganadero y agrícola de la región. Dicha integración favorecería la diversificación productiva, la sostenibilidad de los sistemas de producción y la resiliencia frente a factores climáticos y económicos adversos, promoviendo un desarrollo rural integral en la Comarca Lagunera.

Conclusión

Ante la creciente crisis ambiental que afecta al sector apícola, el modelado ecofisioclimático emerge como una herramienta estratégica para la toma de decisiones orientadas al desarrollo de alternativas de adaptación y resiliencia frente al cambio climático. Los resultados obtenidos en este estudio destacan la necesidad de investigaciones más detalladas en la Comarca Lagunera que permitan caracterizar el comportamiento climático y su interacción con la actividad apícola. Una comprensión integral de estas relaciones será fundamental para establecer rutas de acción que fortalezcan la sostenibilidad y productividad del sector, contribuyendo así a la conservación de los polinizadores y a la seguridad alimentaria regional.

Referencias

Cerasoli, F., D'Alessandro, P., & Biondi, M. (2022). Worldclim 2.1 versus Worldclim 1.4: Climatic niche and grid resolution affect between-version mismatches in habitat suitability model predictions across Europe. Ecology and Evolution, 12(2), e8430. https://doi.org/10.1002/ece3.8430

Heidinger, I. M. M., Meixner, M. D., Berg, S., & Büchler, R. (2014). Observation of the mating behavior of honey bee (A. mellifera L.) queens using radio-frequency identification (RFID): Factors influencing the duration and frequency of nuptial flights. Insects, 5(3), 513–527. https://doi.org/10.3390/insects5030513

Hijmans, R. J., van Etten, J., Mattiuzzi, M., Sumner, M., Greenberg, J. A., Lamigueiro, O. P., ... & Shortridge, A. (2013). raster: Geographic data analysis and modeling (R package version 3.6-20) [Computer software]. https://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html

Lamigueiro, O. P., & Hijmans, R. (2021). rasterVis: Visualization methods for raster data (R package version 0.52-3) [Computer software]. https://cran.r-project.org/web/packages/rasterVis/index.html

R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Reyes-Carrillo, J. L., Galarza-Mendoza, J. L., Muñoz-Soto, R., & Moreno-Reséndez, A. (2014). Diagnóstico territorial y espacial de la apicultura en los sistemas agroecológicos de la Comarca Lagunera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(2), 215–228.

Seeley, T. D. (1985). Honey bee ecology: A study of adaptation in social life. Princeton University Press.

CLASIFICACIÓN Y RIQUEZA GENÉTICA DE ESPECIES GRAMÍNEAS CON POTENCIAL FORRAJERO EN EL NORTE-CENTRO DE MÉXICO

Saúl Santana-Espinoza[1*], Amaury Esquivel-Romo[2], Edith Ramírez-Segura[3], Rigoberto Rosales-Serna[4], Jorge Alonso Maldonado-Jáquez y Pablo Alfredo Domínguez-Martínez[4]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. Boulevard José Santos Valdéz, 1200 Pte. Matamoros, Coah., México. C. P. 27440. [2]Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Ctra. Gómez Palacio - Tlahualilo, km 32 Ejido Venecia, Dgo., México. C. P. 35111. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Agricultura Familiar. Ctra. Ojuelos – Lagos de Moreno, Ojuelos de Jalisco, México. C. P. 47540. [4]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. Ctra. Durango – El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170. *Autor para correspondencia: santana.saul@inifap.gob.mx

Introducción

La planeación deficiente de la producción animal en Durango, ha propiciado la falta constante de forraje durante la época seca del año. Lo anterior, debido a la sobre-explotación del pastizal, degradación del ambiente, erosión del suelo y pérdida de la diversidad de especies (Arrieta y Cortés, 2009; Cisneros et al., 2009; Medina et al., 2009). Lo anterior, ha propiciado también la degradación de los ecosistemas de pastizal, matorral micrófilo y áreas de bosque templado; así como, de bosque pino-encino. Con ello, se logró la apertura de nuevas áreas de pastoreo, con el fin de abastecer la demanda de alimento generada por el número creciente de animales domésticos. En 2023, se tuvo en Durango una población de ganado bovino cercana a 1.7 millones de cabezas (SIAP, 2025). El mismo año, en Coahuila, se contó con 708,156 cabezas de ganado caprino. Se considera que, para alimentar el ganado bovino, se destina al pastizal 11.3% de la superficie total del estado de Durango, lo cual corresponde a 1.4 millones de hectáreas. Se ha calculado que dicha superficie es insuficiente para abastecer la demanda de forraje debido al bajo coeficiente de agostadero registrado en la entidad, que varía desde 4.5 ha/unidad animal (ha/UA) hasta 41.4 ha/UA, con un promedio ponderado de 15.7 ha/UA (SEMARNAT, 2020). En el caso del ganado caprino del sur-oeste de Coahuila, se estableció que el 94.4% depende del pastoreo extensivo (Salinas et al., 2016), en áreas de poca producción de forraje debido a la estación lluviosa reducida y con bajo nivel acumulación de agua de lluvia (< 200 mm).

La escasez de forraje de calidad en Durango, para el pastoreo extensivo, ha generado la necesidad de analizar los listados florísticos para seleccionar opciones alimenticias importantes para el ganado bovino y caprino (Royo y Melgoza, 2001; Nava et al., 2018). Lo anterior, reducirá los costos de alimentación y fortalecerá la eficiencia productiva de la producción pecuaria en el norte-centro de México. Además, se espera reducir el efecto negativo en áreas vegetadas por las poblaciones naturales de diferentes especies gramíneas nativas de Durango y Coahuila, entre las que sobresalen el pasto navajita [*Bouteloua gracilis* (H. B. K.) Lag. Ex Steud.] y banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.]; así como el avance de la superficie ocupada por especies invasoras con prolificidad alta, como los pastos rosados [*Melinis repens* (Willd.) Zizka] y buffel (*Cenchrus ciliaris* L.).

Es necesario retomar acciones para conocer la diversidad, riqueza y abundancia de gramíneas en las áreas del pastizal mediano abierto y otros ecosistemas presentes en el norte-centro de México. Con ello, se podrán seleccionar las mejores opciones productivas en áreas utilizadas para el pastoreo extensivo del ganado bovino y caprino. Dichas especies vegetales podrán ser utilizadas en la repoblación del pastizal y áreas con corrientes de agua del ecosistema de matorral micrófilo en Durango. Lo anterior, favorecerá el incremento de la productividad y rentabilidad de la crianza de ganado productor de carne y leche, especialmente en condiciones de pastoreo extensivo. Además, se debe tomar como base el índice de agostadero (IA) y número de unidades animal (UA) registradas actualmente en Durango y Coahuila, con la finalidad de realizar el uso sostenible del pastizal y otros ecosistemas utilizados para la alimentación del ganado en pastoreo extensivo. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue clasificar y establecer la riqueza genética de especies gramíneas con potencial forrajero en áreas de pastizal y otros ecosistemas del norte-centro de México.

Materiales y métodos

Descripción del Área de Estudio. Se incluyeron dos áreas de estudio bien definidas del desierto Chihuahuense, conocidas como Cuchillas de La Zarca (norte de Durango y sur de Chihuahua) y la Comarca Lagunera de Coahuila. La región de Cuchillas de la Zarca tiene una superficie de 6, 297 km^2, con las coordenadas geográficas extremas 24º 41’ 41.28’’ N a 25º 27’ 04.24’’ N y 104º 57’ 07.48’’ O a 105º 04’ 30.86’’ O (Martínez et al., 2011). La Comarca Lagunera de Coahuila se ubica entre las coordenadas extremas 24° 44’ 27.38’’ N a 26° 42’ 31.13’’ N y 102° 16’ 16.06’’ a 103° 30’ 19.17’’ O. (Moreno et al., 2022). Cuchillas de la Zarca incluye varios municipios de Durango (Hidalgo, Indé, Ocampo) y una porción del estado de Chihuahua. En la Comarca Lagunera de Coahuila se incluyen los municipios de Torreón, Matamoros, Viesca, San Pedro de Las Colonias y Francisco I. Madero. En Cuchilla de Zarca predomina el clima estepario (58%), semiárido templado (BS_1kw); mientras que, en la Comarca Lagunera de Coahuila predomina el clima desértico semicálido (BWh), con temperaturas máximas muy altas (>35 °C) durante el verano.

En la región de Cuchillas de la Zarca se observa variación en la temperatura promedio anual (15.1 °C-16.6 °C), lluvia acumulada durante el año (458 mm - 505.3 mm) y la altitud (1704 m y 1807 m) (García, 1988; Medina et al., 2009). Por su parte, en la Comarca Lagunera de Coahuila los valores fluctúan para la temperatura promedio anual (21.2 °C - 21.7 °C), lluvia acumulada durante el año (174 mm - 187 mm) y la altitud (1100 m - 1107 m). En Cuchillas de Zarca, predomina la vegetación de pastizal de grama, pastizal cactus-acacia, pasto de ciénega, chaparrillo y matorral desértico. Mientras que, en Comarca Lagunera de Coahuila, predomina la vegetación halófita, áreas de mezquital y matorral micrófilo. El tipo de suelo son del tipo Solonchak, Yermosol, Xerosol, Litosol y Regosol.

En Cuchillas de la Zarca se realizó muestreo de gramíneas mediante el establecimiento de línea de Canfield e imágenes digitales obtenidas con Dron. Se registraron todas las especies presentes en el área que pertenecieran a la familia Poaceae. En la Comarca Lagunera, se eligieron áreas de pastoreo caprino en cuatro municipios del estado de Coahuila. Se definieron como sitios de muestreo a cada uno de los municipios visitados. El Sitio 1, se localiza en el municipio de San Pedro de las Colonias; Sitio 2, en Francisco I. Madero; Sitio 3, en Matamoros, y Sitio 4, en el municipio de Viesca. En cada sitio se consideró la diversidad de especies de pastos presentes y se recolectaron 30 ejemplares por especie. Los ejemplares, de cada especie, se desprendieron del suelo con la pala y navaja, evitando los daños drásticos de los tejidos de la planta. Se colocaron en prensa botánica y fueron trasladados al herbario del departamento de Agroecología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, en Torreón, Coah.

Se realizó la identificación de las especies por medio de claves botánicas y con ayuda de manuales e información técnica disponible para la región (Gloria & Pérez, 1982; Melgoza et al., 2016; Morales & Melgoza, 2010; Ortega et al., 1991). Las características morfológicas incluyeron: altura total de la planta (ATP), altura de la primera hoja (APH), número total de hojas verdaderas (NHV), longitud de la tercera hoja (LTH), ancho de la tercera hoja (ATH), longitud de inflorescencia (LI), ancho de inflorescencia (AI) y número de entrenudos (NE) (Morales et al., 2015). La información fue capturada en hojas de cálculo del programa Excel.

Resultados y discusión

La región de Cuchillas de la Zarca, Dgo., mostró la riqueza más alta con 54 de especies de pasto, las cuales pertenecen a cinco sub-familias (Chlorodoideae, Pooideae, Aristidoideae, Panicoideae y Andropogonodae) (Cuadro 1). La familia dominante fue Chloridoideae con 35 especies; mientras que, la sub-familia Pooideae fue la más pobre con dos especies. En la Región de la Comarca Lagunera de Coahuila, se observó un número bajo de especies en todos sitios bajo estudio. Sobresalió la subfamilia Chlorodoideae y en ésta, las especies barbas de indio (*Chloris virgata*) y navajita barbada (*Bouteloua barbata*), fueron las que mostraron presencia alta, resultado de su adaptabilidad amplia en la región. Dichas especies coincidieron en Durango y Coahuila y fueron seguidas por panizo aserrín (*Panicum hallii*) y pasto buffel (*Pennisetum ciliare*). Los resultados obtenidos se relacionaron con la variación climática, extensión de las áreas de estudio y la diversidad de ecosistemas presentes en cada una de ellas.

Cuadro 1. Diversidad de gramíneas presentes en áreas de pastizal de Durango y Coahuila.

Subfamilia/Género y Especie	Cuchillas de la Zarca	San Pedro	F. I. Madero	Matamoros	Viesca	Total
Chloridoideae						
Eragrostis intermedia	X					1
E. cilianensis	X					1
E. erosa	X					1
E. Palmer	X					1
E. mexicana	X		X			2
E. neomexicanai	X					1
E. Lehmanniana		X			X	2
Erioneuron grandiflorum	X					1
E. pilosum	X					1
E.pulchellus	X					1
E. nealleyi	X					1
Enneapogon desvauxii	X					1
Scleropogon brevifolius	X					1
Cynodon dactylon			X			1
Mulhenbergia parviglumis	X					1
M. pauciflora	X					1
M. repens	X					1
M. setifolia	X					1
M. monticola	X					1
M. arizonica	X					1
M. arenicola	X					1
Sporobolus airoides	X					1
Lycurus phleoides	X					1
Pleuraphis (*Hilaria*) *mutica*	X					1
*Leptochloa dubia (*Syn. *Disakisperma dubium)*	X					1
Chloris virgata	X	X		X	X	4
Bouteloua gracilis	X					1

B. barbata	**X**	**X**		**X**	**X**	4
B. curtipendula	**X**					1
B. hirsuta	**X**					1
B. rigidiseta	**X**					1
B. trifida	**X**					1
B. chondrosioides	**X**					1
B. simplex	**X**					1
B. radicosa	**X**					1
B. filiformis	**X**					1
Buchloe dactyloides	**X**					1
Pooideae						
Stipa sp.	**X**					1
Stipa eminens	**X**					1
Aristidoideae						
Aristida adscencionis	**X**	**X**				2
A. divaricata	**X**					1
A. hamulosa	**X**					1
A. pansa	**X**					1
A. ternipes	**X**					1
Panicoideae						
Panicum obtusum	**X**		**X**			2
P. hallii	**X**	**X**		**X**		3
Setaria geniculata	**X**					1
S. macrostachya	**X**					1
S. scheelei	**X**					1
Sorghum halepense			**X**			1
Pennisetum ciliare		**X**	**X**		**X**	3
Andropogonodae						
Andropogon barbinodis	**X**					1
A. barbinodis var. perforata	**X**					1
A. barbinodis var. perforatus	**X**					1
Heteropogon contortus	**X**					1
Heteropogon melanocarpus	**X**					1
Elionurus barbiculmis	**X**					1
Trachypogon secundus	**X**					1
Total	**54**	**6**	**5**	**3**	**3**	

La variabilidad ambiental y del tipo de vegetación, en cada una de las áreas de estudio, favorecieron la evolución diferenciada de especies gramíneas. Con base en ello, dichas especies desarrollaron adaptación general y otras adaptaciones específicas, mostrando poblaciones abundantes, crecimiento y desarrollo alto en un área en particular. En la región Cuchilla de la Zarca, se observan condiciones climáticas favorables y áreas amplias que son propicias para el establecimiento del pastizal mediano abierto y pastizal mediano arborescente. Por ello, se incrementó considerablemente el número de especies gramíneas presentes en dicha región. También, se observó variación en la cobertura de suelo por los pastos, desde donde éstos formaron un césped grueso y vigoroso, hasta un mínimo en áreas con poblaciones dispersas y amacolladas.

La presencia más alta se observó para los pastos del género *Bouteloua*, entre las que sobresalieron las especies ordenadas por orden decreciente: *Bouteloua gracilis*, *B*. *curtipendula* y *B*. *hirsuta*. Dichas especies, constituyen aproximadamente el 50% de la cobertura vegetal, con otras gramíneas con incidencia alta (sub-dominantes), como son el pasto lobero (*Lycurus phleoides*), tres barbas (*Aristida divaricata*) y *Muhlenbergia rígida*, lo que concordó con lo establecido por otros investigadores (Esquivel et al., 2023). La región de Cuchilla de la Zarca es un área rica en especies gramíneas, que pueden ser utilizadas en la realización de estudios más detallados. Con ello, se podrán establecer los niveles de abundancia y diversidad de gramíneas con posibilidades para su uso en la producción sostenible de forraje de calidad.

En los sitios de evaluación de La Laguna, se observó diversidad reducida y presencia de especies exóticas, como pasto buffel, el cual muestra adaptación en el estado de Coahuila y Durango. Dichas especies, son fomentadas por algunos productores para fortalecer su establecimiento, con lo que se busca aprovechar su capacidad para producir cantidades altas de biomasa forrajera para la alimentación del ganado doméstico. La presencia de parcelas agrícolas, en los sitios de estudio de la Comarca Lagunera Coahuila, favoreció la presencia de especies adaptadas en este tipo de terrenos, como son el pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) y zacate Johnson (*Sorghum halepense*). La región Comarca Lagunera Coahuila, puede utilizarse en la recolecta y uso de especies y ecotipos de gramíneas adaptadas en condiciones drásticas de sequía y temperaturas altas.

Conclusiones

La región de Cuchillas de la Zarca presenta una notable diversidad genética en especies gramíneas, lo que subraya la importancia de realizar estudios más detallados enfocados en aquellas especies con potencial forrajero. En la Comarca Lagunera se identificaron gramíneas nativas con alta adaptabilidad a condiciones adversas, como sequías prolongadas y temperaturas extremas, destacando su valor para sistemas de pastoreo extensivo en zonas áridas y semiáridas. Estas especies representan una alternativa viable para garantizar la disponibilidad de forraje en épocas de escasez, contribuyendo así a la seguridad alimentaria animal y a la resiliencia del sistema pecuario regional. Su aprovechamiento estratégico puede sentar las bases para el desarrollo de prácticas ganaderas más sostenibles en los estados de Durango y Coahuila. Se recomienda profundizar en la evaluación de la diversidad genética y las características forrajeras de especies prometedoras como *Chloris virgata* (barbas de indio) y *Bouteloua barbata* (navajita liebrera), así como de otras gramíneas con amplia adaptabilidad en el norte-centro de México, con el fin de integrarlas eficazmente en programas de producción pecuaria sostenible.

Referencias

Arrieta H., Y., y A. Cortés. 2009. Diversidad de las gramíneas de Durango, México. Polibotánica 28: 49-68.

Cisneros A., D., M. I Mata, E. O. Rueda, y M. A. Garbalena. 2009. Evaluación cuantitativa de la vegetación en agostaderos sobre pastoreados tratados con rodillo aereador. Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales. Universidad Autónoma de Nuevo León-Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. México. 1p.

Esquivel R., A. 2023. Estimación de la biomasa aérea en pastizales de Durango, México, mediante el uso de sensores remotos e índices de vegetación. Tesis de Doctorado UAAAN-Unidad Laguna. Torreón, Coah., México. 59 p.

Gloria, G. & Pérez, L. (1982). Plantas de Pastizales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. p. 163, 165, 192, 218, 223, 239, 247, 257. [Consultado: 27 – 10 – 2023]

Medina G., G., R. Gutiérrez L., F. G. Echavarría C., M. D. Amador R., y J. A. Ruiz, C. 2009. Estimación de la producción de forraje con imágenes de satélite en los pastizales de Zacatecas. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 47(2): 135-144.

Melgoza, A., Morales-Nieto, C.R., Royo-Márquez, M.H., Quintana-Martínez, G., Lebge-Keleng, T., Sierra-Tristán, S. (2016). Manual práctico para la identificación de las principales plantas en los agostaderos de Chihuahua. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chihuahua, México. Pp: 208.

Morales, C. & Melgoza, A. (2010). Características productivas de zacates forrajeros importantes en el norte de México. Sitio experimental La Campana-Madera. México. Pp. 17-18, 29-30. Morales, C.R., Avendaño-Arrazate, C., Melgoza-Castillo, A., Martínez-Salvador, M., Jurado-Guerra, P. (2015). Caracterización morfológica y molecular de poblaciones de zacate tempranero (Setaria macrostachya Kunth) en Chihuahua, México. Phyton-Revista Internacional de Botánica Experimental. 84: 190–200.

Moreno S., Y., U. N. Gutiérrez G., A. Bustamante A., A. Esquivel R., M. E. Ríos V., y O. G. Gutiérrez G. 2022. Grados de afectación de la región ecológica Cuchillas de la Zarca mediante datos del monitor de sequía de México. *In*: XI Congreso Internacional de Manejo de Pastizales. p. 93.

Morales, C. & Melgoza, A. (2010). Características productivas de zacates forrajeros importantes en el norte de México. Sitio experimental La Campana-Madera. México. Pp. 17-18, 29-30. Morales, C.R., Avendaño-Arrazate, C., Melgoza-Castillo, A., Martínez-Salvador, M., Jurado-Gerra, P. (2015). Caracterización morfológica y molecular de poblaciones de zacate tempranero (Setaria macrostachya Kunth) en Chihuahua, México. Phyton-Revista Internacional de Botánica Experimental. 84: 190–200.

Nava B., C. A., R. Rosales S., F. O. Carrete C., R. Jiménez O., P. A. Domínguez M., O. Reyes E. 2018. Productividad y calidad de forraje de pastos cultivados durante la época de seca en Durango, México. Agrociencia 52(6): 803-816.

Lebgue, T. y A. Valerio. 1991. Gramíneas de Chihuahua. Manual de identificación. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Méx. 301 p.

Salinas G., H., E. D. Valle M., M. de los A. de Santiago M., F. G. Veliz D., J. A. Maldonado J., L. I. Vélez M., D. Torres H., L. M. Isidro R. y U. Figueroa V. 2016. Análisis descriptivo de unidades caprinas en el suroeste de la Región Lagunera, Coahuila, México. Interciencia 41(11): 763-768.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2025. Población ganadera. Disponible en: 2https://nube.agricultura.gob.mx/poblacion_ganadera/. Consultado el 29 de agosto de 2025.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) Compendio de estadísticas ambientales 2020. Disponible en línea: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2020/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet5d07.html. Consultada el 29 de agosto de 2025.

BIOHERBICIDA A PARTIR DE GUISHE DE *Agave lechuguilla* Torr.: ALTERNATIVA SOSTENIBLE AL CONTROL QUÍMICO DE ARVENSES

César R. Sarabia-Castillo[1*], David Castillo-Quiroz[2], Gabriela Guillen-Cruz[1], José E. Cortez-Torres[1], Adriana Antonio-Bautista[3*]

[1] Programa de Recursos Fitogenéticos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, CP. 25315, México. [2] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, CP. 25315, México.[3] Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, CP. 25315, México. *Autor de correspondencia: ing.cesarsarabia@gmail.com

Introducción

Las arvenses, conocidas comúnmente como malezas, son plantas que crecen de manera no deseada en los campos de cultivo y representan uno de los factores limitantes del rendimiento, ya que compiten por recursos como nutrientes, espacio, luz y agua, reduciendo el adecuado desarrollo del cultivo principal (Gómez-Gómez, 2024). Hoy en día las arvenses se pueden controlar con el uso de productos químicos especializados (herbicidas), pero con la consecuencia de que dejan residuos que representan un impacto ambiental negativo afectando a la seguridad alimentaria y a la salud del ser humano (Baćmaga et al., 2024). En este sentido se han estado desarrollando bioherbicidas a base de extractos vegetales que han surgido como una alternativa prometedora para el control de arvenses, ofreciendo una estrategia con menor impacto ambiental y segura para los sistemas agrícolas.

Lo anterior, aprovechando metabolitos secundarios o principios activos producidos por algunas plantas que suprimen la germinación y crecimiento de las poblaciones de arvenses, además, exhiben características como su rápida degradabilidad, por lo que es menos probable que causen contaminación de suelo y agua; baja o nula toxicidad, los que los hace insignificantemente dañinos para los ecosistemas y hacia la salud humana y reducen el riesgo de resistencia a los herbicida debido a sus múltiples modos de acción favoreciendo su utilización (Guevara González et al., 2019; Hasan et al., 2021).

El ”guishe”, subproducto de la extracción de fibras naturales (ixtle) de *Agave lechuguilla* Torr., puede contener moléculas bioactivas como saponinas, ácidos fenólicos y flavonoides, las cuales tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de las malezas (Sánchez Robles et al., 2023) y tener capacidad antimicrobiana, antifúngica y antioxidante (Chavez-Cobian, 2022), por lo que el objetivo de esta investigación es evaluar el potencial de un extracto de guishe de *A. lechuguilla* Torr., como bioherbicida en el manejo de arvenses en sistemas agrícolas.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Laboratorio de Producción y Almacenamiento de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas del Departamento de fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (25° 23' 42'' N, 100° 59' 57'' O). La evaluación del efecto herbicida de un extracto de guishe de *A. lecguguilla*, desarrollado y suministrado por la Facultad de Ciencias Químicas de la UAdeC, se realizó a través de pruebas de germinación de semillas de *Panicum máximum* L. como especie modelo, proporcionadas por INIFAP-Veracruz. Las pruebas se realizaron con cuatro repeticiones. Se sembraron cinco semillas en bolsas de vivero negras de 10×20 cm, empleando peat moss como sustrato. Se evaluaron 8 tratamientos más un tratamiento con un herbicida comercial y un testigo (agua destilada; Cuadro 1) aplicando un diseño completamente al azar.

En cada unidad experimental se aplicaron 8 ml de cada tratamiento con una jeringa de 10 ml sobre la plúmula, teniendo una altura de 20 cm, realizando 2 aplicaciones en total. Durante estas 2 aplicaciones se regó con agua destilada para mantener su optima humedad. La evaluación se realizó a los once días después de la siembra donde se determinó, el número de plantas dañadas, el porcentaje de daño y el índice de control de maleza. La información se analizó en Rstudio 2024.04.1 mediante análisis de varianza y comparación de medias utilizando la prueba de Tukey.

Cuadro 1. Descripción del contenido de los tratamientos aplicados a semillas de *Panicum máximum*.

Tratamiento	Descripción
JG	100% jugo natural
JGN-A	85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20
JGN-M	60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20
JGN-B	35% jugo natural + 61% vinagre blanco + 4% tween 20
JGA	100% jugo fermentado
JGA-A	85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20
JGA-M	60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20
JGA-B	35% jugo natural + 61% vinagre + 4% tween 20
GL	100% glifosato
Testigo	100% agua destilada

Resultados y discusiones

Los resultados obtenidos muestran que la efectividad de los tratamientos JGN-A, JGA-B y JGA-M (Cuadro 2) es significativamente comparable con la efectividad de un herbicida comercial como es el glifosfato (GL) al presentar el 100% de plantas dañadas en comparación con el tratamiento control, esto concuerda con lo reportado por (Lopes et al., 2022) que indican que la fitotoxicidad de extractos vegetales usados como bioherbicidas se manifiestan de manera visible en la deformación de raíces o presencia de tejidos necróticos lo que evidencia el daño a las plántulas, por lo anterior se puede decir que el empleo de estas formulaciones puede usarse como una alternativa a herbicidas químicos, representando un menor impacto al ambiente e incentiva a la revaloración de subproductos destinados como desechos. Por otro lado, de acuerdo con la escala del grado de control de maleza de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM) (Alvez et al., 1974), se puede decir que el uso de las formulaciones de los tratamientos JGN-A, JGN-B, JGA-M y JGA-B presentan un grado de control de malezas como *P. maximum*, comparable con los resultados obtenidos al aplicar glifosfato.

Cuadro 2. Efecto de diferentes tratamientos sobre el control de *Panicum maximum*, número de plantas dañadas e índice de control según criterios de la Asociación Latinoamericana de Malezas.

Tratamiento	Número de plantas dañadas (Unidades)	Índice de control de maleza (%)	Grado de control ALAM
JG	4.00 ^{bc}	80	Bueno
JGN-A	5.00 ^{a}	100	Excelente
JGN-M	NR	NR	NR
JGN-B	4.75 ^{ab}	95	Excelente
JGA	3.50 ^{c}	70	Bueno
JGA-A	4.00 ^{bc}	80	Bueno
JGA-M	5.00 ^{a}	100	Excelente
JGA-B	5.00 ^{a}	100	Excelente
GL	5.00 ^{a}	100	Excelente
Testigo	0.00 ^{d}	0	Ninguno o pobre

* NR, no reportado. ** Valores medios con diferente letra indican diferencia estadística (Tukey α= 0.05).

Conclusión

Los hallazgos revelaron que los tratamientos más efectivos que incluían combinaciones de jugo natural con vinagre y tween 20, lograron un control de malezas comparable a herbicidas sintéticos como el glifosato. Específicamente, los tratamientos JGN-A, JGA-M, JGA-B demostraron un control de malezas excelente, alcanzando una eficacia del 100% de daño. El estudio destaca la viabilidad del guishe de *A. lechuguilla*, como bioherbicida post-emergente, proponiendo una opción prometedora para el manejo sostenible de malezas.

Referencias

Alvez, A., Piedrachita, W., López, H., Kogan, M., Espinosa, E., Helfgott, s., & Hansen, R. (1974). Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación de ensayos de control de malezas. IIa Reunión de ALAM, Cali, Colombia. *Revista ALAM* 1(1), 35-38.

Baćmaga, M., Wyszkowska, J., & Kucharski, J. (2024). Environmental Implication of Herbicide Use. *Molecules*, *29*(24), 5965. https://doi.org/10.3390/molecules29245965

Chavez-Cobian, J. A. (2022). *Análisis de factibilidad de un bioproceso para la obtención de antocianinas a partir del bagazo de Agave lechuguilla* [Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C.]. http://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/2649

Gómez-Gómez, R. (2024). ¿Malezas o arvenses? Una propuesta conceptual para su manejo agroecológico*. *Agronomía Mesoamericana*, *35*. https://www.redalyc.org/journal/437/43776424040/html/

Guevara González, J., Narváez Flies, C., Marín Navarrete, A., Gutiérrez López, J., & Troncoso Troncoso, C. (2019). Bioherbicida a partir de extracto fenólico obtenido de residuos de almazaras. *Scientia Agropecuaria*, *10*(4), 497–503. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.06

Hasan, M., Ahmad-Hamdani, M. S., Rosli, A. M., & Hamdan, H. (2021). Bioherbicides: An Eco-Friendly Tool for Sustainable Weed Management. *Plants*, *10*(6), 1212. https://doi.org/10.3390/plants10061212

Lopes, R. W. N., Marques Morais, E., Lacerda, J. J. D. J., & Araújo, F. D. D. S. (2022). Bioherbicidal potential of plant species with allelopathic effects on the weed Bidens bipinnata L. *Scientific Reports*, *12*(1), 13476. https://doi.org/10.1038/s41598-022-16203-5

Sánchez Robles, J. H., Luna Enríquez, C. F., Reyes, A. G., Cruz Requena, M., Ríos González, L. J., Morales Martínez, T. K., Ascacio Valdés, J. A., & Medina Morales, M. A. (2023). Initial Study of Fungal Bioconversion of guishe (Agave lechuguilla Residue) Juice for Bioherbicide Activity on Model Seeds. *Fermentation*, *9*(5), 421. https://doi.org/10.3390/fermentation9050421

LÍNEA BASE DE LAS FRACCIONES DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE ECOSISTEMAS ÁRIDOS Y SEMIÁRIDOS DE AHUMADA, CHIHUAHUA.

Eva Aurora Bautista-Calderon[1*], Alan Tinoco Delgadillo[2], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Nuria Aide López-Hernández[1], Alan Alvarez-Olguin[3] y José Miguel Prieto-Rivero[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Zona Industrial km 6.5 Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. [2]Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango. México [3]Facultad de Zootécnica y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada km 1, Chihuahua, Chihuahua. *Autor para correspondencia: bautista.eva@inifap.gob.mx

Introducción

Los ecosistemas áridos y semiáridos abarcan alrededor del 60 % del territorio mexicano; no obstante, aún existe limitada información sobre su papel en el ciclo global del carbono (C) (Montaño et al., 2016). Comprender la dinámica del C en estos ambientes resulta prioritario para dimensionar las consecuencias del incremento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera y, al mismo tiempo, identificar estrategias de adaptación y mitigación frente al cambio climático. El carbono orgánico del suelo (COS) constituye una fracción esencial del ciclo del C, ya que forma parte principal de la materia orgánica del suelo (MOS). Este componente es clave para el mantenimiento de múltiples funciones ecosistémicas fundamentales para la biosfera, tales como la producción de biomasa, la filtración y almacenamiento de agua, el reciclaje de nutrientes, el soporte de la biodiversidad edáfica y, especialmente, el almacenamiento de carbono (Wiesmeier et al., 2019). En conjunto, los suelos representan el mayor reservorio terrestre de carbono, almacenando hasta tres veces más C que la vegetación (Lal, 2010). El almacenamiento de COS reviste gran relevancia no solo por su contribución a la regulación climática, sino también porque influye en la fertilidad y la productividad agrícola. Dentro de este almacenamiento, las distintas fracciones de carbono cumplen funciones diferenciadas: el carbono lábil es una fuente inmediata de energía para los microorganismos y sensible a cambios en el manejo del suelo; el carbono intermedio o moderadamente recalcitrante regula la estabilidad de la MOS a mediano plazo; y el carbono recalcitrante constituye un reservorio más estable, con permanencia a escalas de décadas o siglos. Esta diferenciación permite entender cómo los suelos no solo actúan como sumideros de C, sino también como moduladores del flujo de carbono hacia la atmósfera, lo que resulta clave en escenarios de cambio climático.

La importancia del COS y sus fracciones ha impulsado el interés por prácticas de manejo orientadas a conservar y potenciar estas funciones, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la adaptación de los sistemas productivos (Lal, 2018). No obstante, antes de implementar estrategias de manejo, resulta imprescindible establecer una línea base del contenido de COS. Esta línea base permite conocer el estado inicial del recurso, facilita la evaluación de cambios a largo plazo y constituye un punto de referencia para monitorear la efectividad de las acciones implementadas.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo establecer la línea base del COS y sus fracciones en ecosistemas áridos y semiáridos del municipio de Ahumada, Chihuahua, con la finalidad de aportar información clave para la gestión sostenible del suelo y la mitigación del cambio climático.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en predios que se caracterizan por presentar vegetación de matorral desértico micrófilo, pastizal halófilo y vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural, ubicados en el municipio de Ahumada, Chihuahua, con coordenadas 30° 14 ´ 30.17" N y 106° 21´ 41.80" O. Se caracteriza por pertenecer a la provincia de Sierras y Llanuras. El rango de temperatura oscila de los 12 a 18 °C con precipitaciones de 100 a 400 mm. El principal uso es para el desarrollo de praderas cultivadas y el aprovechamiento de vegetación de pastizal (INEGI, 2010) (Figura 1a).

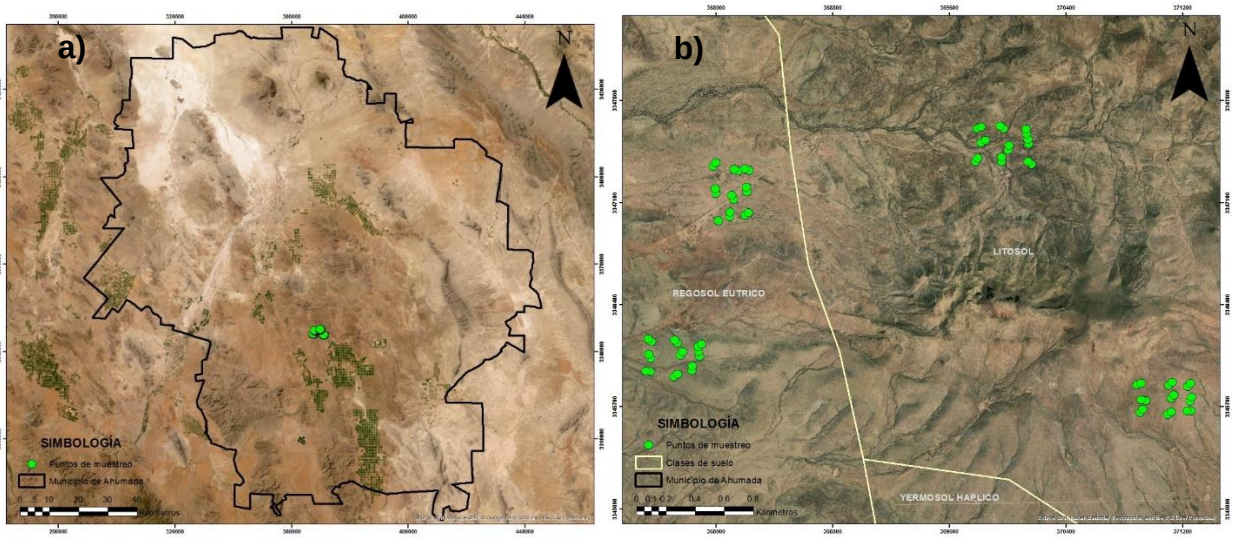


Figura 1. a) Localización de la zona de estudio dentro de municipio de Ahumada, Chihuahua; b) Distribución de los sitios de muestreo

Se realizó un muestreo por conglomerado (Figura 1b) donde se agruparon muestreos de acuerdo a la clase de suelo presente en la región y con base en la cartografía del Conjunto nacional de información edafológica escala 1:250 000 Serie III. Se obtuvieron tres muestras simples para conformar una muestra compuesta. La profundidad de muestreo fue de 30 cm.

Las muestras de suelos se secaron en sombra a temperatura ambiente, se tamizaron y se llevaron al Laboratorio de agua y suelo del CENID-RASPA INIFAP para su análisis. Las variables evaluadas fueron pH (1:2 agua), conductividad eléctrica (Pasta saturada (dS/m, R1:2)), materia orgánica (Walkey y Black) y carbono orgánico lábil (CL %), carbono orgánico de mediana recalcitrancia (CMR %) y carbono orgánico recalcitrante (CR %) utilizando el método de perfil oxidativo. Todos los análisis de suelo se realizaron de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). El carbono total (CT) se estimó dividiendo el contenido de materia orgánica entre el factor de Van Bemmelen (1.724), que asume que la materia orgánica contiene un 58 % de carbono. Posteriormente, el contenido de C (%) se transformó a concentración ($g \cdot kg^{-1}$) mediante la fórmula: C (g/kg) = (%C) *(1000) /100.

Los datos fueron analizaros en el software The SAS Systems 9.0 donde se comprobaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (Test de Barlett) e independencia. Posteriormente los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de Tukey ($p< 0.05$) usando el software R Studio 4. 5. 0 para determinar la diferencia estadística en las concentraciones de COS.

Resultados y discusión

Los muestreos de suelo se localizaron en dos unidades de clasificación edáfica: Litosols y Regosols, en cada una de las cuales se conformaron dos grupos de muestreo, con un total de 18 muestras compuestas por grupo (Figura 1b).

De acuerdo con la Base Referencia Mundial del Recurso Suelo (WRB, 2014), los suelos clasificados como Litosols corresponden actualmente a la denominación de Leptosols, caracterizados por su reducido espesor, elevada proporción de fragmentos gruesos y una marcada limitación para el desarrollo radicular. Por su parte, los Regosols se distinguen por la ausencia o escasa diferenciación de horizontes diagnósticos, lo que refleja un escaso desarrollo pedogenético.

Los análisis fisicoquímicos indicaron que el pH en ambas clases de suelo se encuentra en el rango de ligeramente alcalino (6.62–8.69), condición que en general favorece la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes esenciales, aunque en valores más elevados puede restringir la disponibilidad de fósforo. La conductividad eléctrica (C.E.) se registró en un intervalo de bajo a moderado (0.18–1.24 dS/m), lo cual corresponde a condiciones de baja salinidad; no obstante, en algunos casos aislados de los Regosols se identificaron valores elevados, posiblemente asociados a la acumulación de sales en el perfil. En relación con la disponibilidad de nitrógeno, los resultados muestran concentraciones superiores a 40 ppm, lo cual sugiere procesos de acumulación natural derivados principalmente de las condiciones geológicas locales (Figura 2).

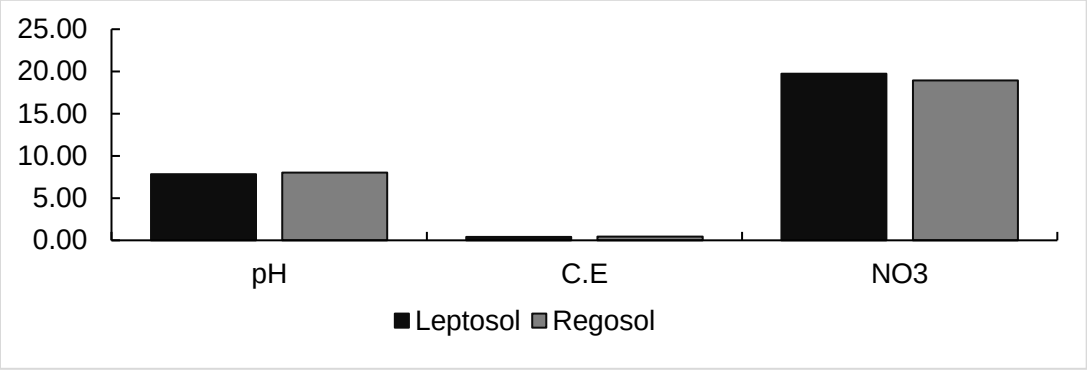


Figura 2. Análisis físico – químicos de las clases de suelo: Leptosols y Regosols en el municipio de Ahumada, Chihuahua.

Finalmente, la materia orgánica (MO) presentó valores que oscilaron entre 0.31 y 2.4%, clasificándose como bajos a moderados y situándose en todos los casos por debajo de la media nacional reportada para suelos agrícolas (2.4%) (Brady & Weil,2016 y Ortiz, 2019).

Las fracciones de carbono analizadas (COS, CL, CMR y CR) reflejan distintos grados de disponibilidad y estabilidad del carbono orgánico del suelo. En este estudio, CL representa la fracción lábil (rápidamente mineralizable y disponible para la actividad microbiana y la liberación de nutrientes), CMR la fracción intermedia o moderadamente recalcitrante (descomposición más lenta, contribuye a la formación de materia orgánica más estable) y CR la fracción recalcitrante (altamente estable, resistente a la descomposición y clave para el secuestro de carbono a largo plazo) (Lal, 2014 y Lefèvre et al., 2017).

El análisis estadístico mostró diferencias en la dinámica de las fracciones de carbono entre Leptosols y Regosols para el caso del COS y las fracciones CMR. Aunque ambos suelos comparten la condición de ser poco evolucionados, sus características edáficas influyen de manera diferenciada en el almacenamiento y la estabilidad del carbono. En términos generales, los Leptosols presentaron mayores contenidos de COS, CL, CMR y CR. Sin embargo, solo el COS y CMR presentaron diferencias significativas entre los reservorios de las dos clases de suelo (Figura 3).

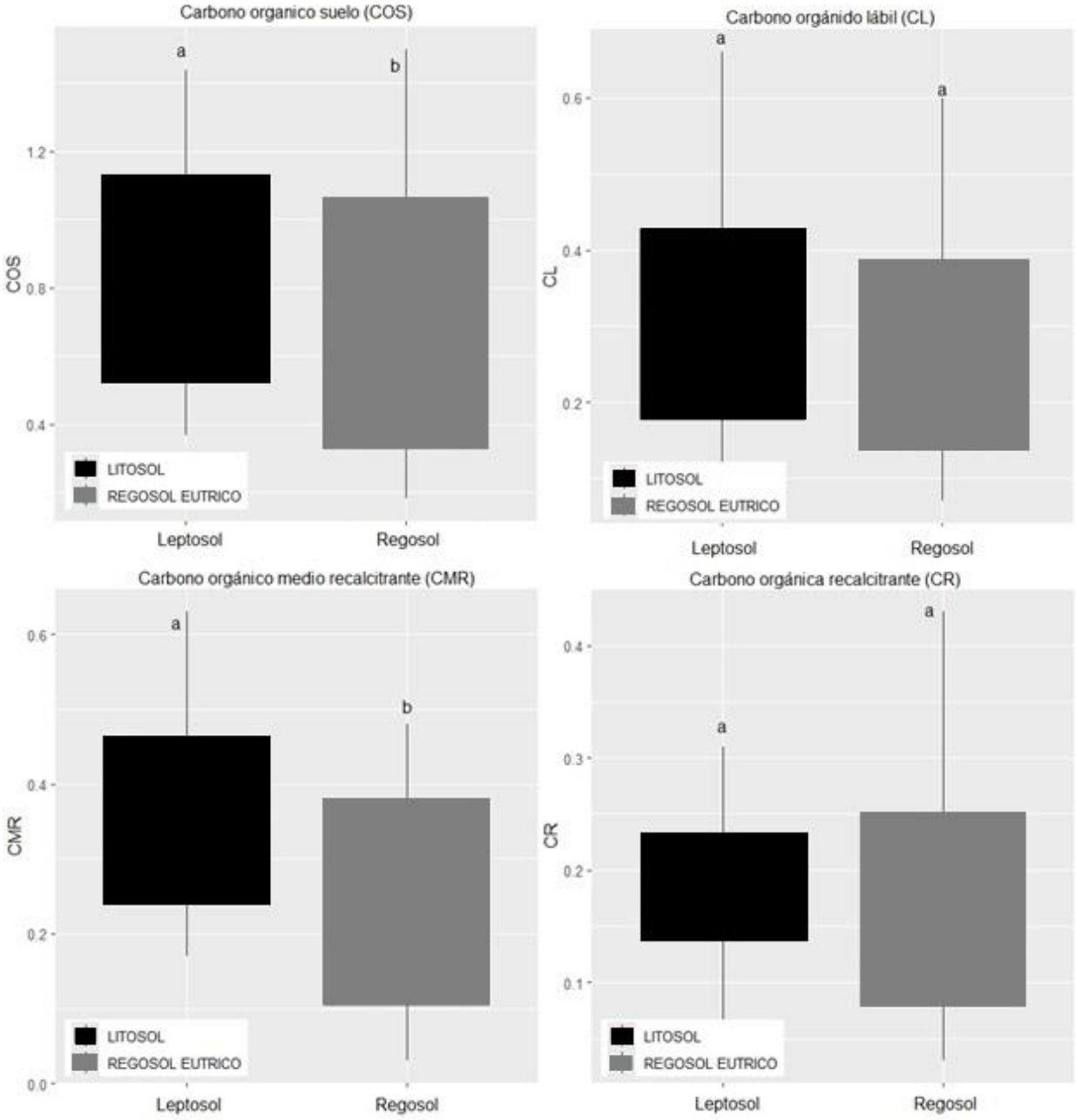


Figura 3. Dinámica del carbono orgánico en suelo (COS) y sus fracciones (CL, CMR y CR) en dos clases de suelos: Leptosols y Regosols. Letras iguales indican diferencias no significativas entre clases de suelo ($p>0.5$).

Estos resultados permiten inferir que, desde la perspectiva del secuestro de carbono, los Leptosols ofrecen un mayor potencial de almacenamiento a corto plazo, especialmente en las fracciones activas, aunque la estabilidad a largo plazo es limitada debido a su bajo contenido de arcillas y capacidad de agregación. Mientras que los Regosols, aunque pobres en COS total, pueden mantener carbono más estable en el tiempo.

Conclusiones

La gestión diferenciada en ambos tipos de suelos es fundamental: en Leptosols deben aplicarse prácticas de manejo orientadas a la estabilización de la materia orgánica (uso de enmiendas orgánicas, cobertura vegetal y prácticas de conservación), mientras que en Regosols resulta más pertinente promover estrategias de enriquecimiento de materia orgánica superficial y evitar la pérdida por erosión. Para estrategias de manejo orientadas a mitigar emisiones y aumentar el secuestro, es prioritario aumentar la transferencia de CL hacia fracciones más recalcitrantes (CMR/CR) mediante prácticas que favorezcan la estabilización (aumento de agregación, enmiendas estables, reducción de laboreo y aumento de entradas continuas de C).

En conjunto, los hallazgos corroboran la importancia de considerar la variabilidad edáfica en la estimación de los reservorios de carbono, especialmente en regiones áridas y semiáridas, donde las limitaciones de profundidad, pedregosidad y textura condicionan de manera significativa la dinámica del carbono.

Referencias

Lal, R. (2010). Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. Bioscience 60 (9), 708–72. https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8

Lal, R. (2014). *Managing terrestrial carbon in a changing climate*. In S. Kapur & S. Erşahin (Eds.), Soil Security for Ecosystem Management (*SpringerBriefs in Environment, Security, Development and Peace*, Vol. 8, pp. –). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00699-4_1

Lal, R. (2018). Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology, 24*(8), 3285–3301. https://doi.org/10.1111/gcb.14054

Lefèvre C, Rekik F, Alcantara, V, Wiese, L (2017). Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. FAO. https://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf

Montaño, N. M., Ayala, F., Bullock, S. H., Briones, O., García Oliva, F., García Sánchez, R., ... & Yépez, E. (2016). Almacenes y flujos de carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: Síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana*, *34*(1), 39-59.

Ortiz, S.C.A. (2019). Edafología. México. Editorial Trillas. 145-188

Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S., de Moraes Sa, J. C., & Albrecht, A. (2002). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-Effects of no-tillage. Agronomía, 22(7-8), 755-775.

Weil, R., & Brady, N. (2017). The nature and properties of soils. (15th edition). Pearson

Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobley, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., et al. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils: A review of drivers and indicators at various scales. Geoderma, 333, 149–162. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026

WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Primera actualización. FAO, Roma.

POTENCIAL BIOHERBICIDA DEL GUISHE DE *Agave lechuguilla* Torr. EN LA INHIBICIÓN DE ARVENSES

Gabriela Guillen-Cruz[1], David Castillo-Quiroz[1], Adriana Antonio-Bautista[2]*, Zariel Bracamontes-Saldaña[1], Cesar Roberto Sarabia-Castillo[1]

[1]Programa de Recursos Fitogenéticos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. [2]Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas del Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. * Autor de correspondencia: adriana.antoniob@uaaan.edu.mx

Introducción

El uso indiscriminado de herbicidas sintéticos, intensificado a partir de la Revolución Verde, ha permitido un incremento notable en la productividad agrícola, pero también ha traído consigo serios impactos ambientales y problemas de salud pública (Aguilar-González et al., 2022; Dayan et al., 2019). Entre los efectos negativos destacan la contaminación del suelo y cuerpos de agua, la pérdida de biodiversidad, la exposición de los trabajadores agrícolas a compuestos tóxicos y la creciente resistencia de malezas a herbicidas convencionales (Damiani, 2021). Ante esta problemática, los bioherbicidas han emergido como una alternativa viable y sostenible. Estos productos de origen natural, basados en extractos vegetales o microorganismos, ejercen efectos alelopáticos que inhiben la germinación y crecimiento de especies arvenses sin los mismos niveles de persistencia y toxicidad de los herbicidas químicos (Triolet et al., 2020; Islam et al., 2024). Dentro de las especies vegetales con potencial bioherbicida, el *Agave lechuguilla* Torr. ocupa un lugar destacado. Esta planta, endémica de las zonas áridas del norte de México, genera durante su desfibrado un residuo fibroso conocido como 'guishe', el cual tradicionalmente carece de aprovechamiento productivo. Estudios fitoquímicos recientes han demostrado que el guishe contiene saponinas (diosgenina, hecogenina, tigogenina, entre otras) y flavonoides (quercetina, kaempferol) con efectos alelopáticos comprobados (Morreeuw et al., 2021). El presente estudio evaluó el efecto pre-emergente de distintas formulaciones de extracto de guishe de lechuguilla sobre la germinación de dos especies de importancia agrícola: *Panicum maximum* Jacq. (zacate guinea, monocotiledónea) y *Amaranthus* sp. (quelite, dicotiledónea). Ambas malezas son altamente competitivas y representan un desafío para la producción de granos y forrajes en México. El objetivo fue analizar la eficacia del guishe como bioherbicida y explorar su viabilidad como alternativa ecológica al glifosato.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el laboratorio de producción y almacenamiento de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas del departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN, localizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El extracto de *Agave lechuguilla* fue formulado por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila como resultado de una investigación. Los extractos fueron obtenidos a partir de guishe de *Agave lechuguilla*, un residuo generado tras el proceso de desfibrado de esta especie. Como material vegetal se emplearon semillas de *Panicum maximum* Jacq., proporcionadas por el INIFAP Veracruz y semillas de *Amaranthus* sp., obtenidas del Campo Experimental Saltillo-INIFAP. Para evaluar la capacidad bioherbicida del extracto de guishe de lechuguilla en la inhibición de la germinación de las semillas se diseñaron 10 tratamientos con diferentes concentraciones, además de un testigo que recibió riego exclusivamente con agua destilada (Cuadro 1).

Cuadro 2. Tratamientos evaluados para determinar su efecto en la germinación de *Panicum maximum Jacq*. y *Amaranthus sp.*

Tratamientos	Descripción
JG	100% jugo natural
JGN-A	85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20
JGN-M	60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20
JGN-B	35% jugo natural + 61% vinagre blanco + 4% tween 20
JGA	100% jugo fermentado
JGA-A	85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20
JGA-M	60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20
JGA-B	35% jugo natural + 61% vinagre + 4% tween 20
GL	100% glifosato
TESTIGO	100% agua destilada

Se utilizó papel poroso grueso como primer sustrato y turba (Peat moss) como segundo, utilizando cajas Petri como soporte. El diseño experimental fue completamente al azar, con 4 repeticiones por tratamiento. Para cada uno de los sustratos se colocaron 25 semillas, humedeciendo el papel con 3 ml de la solución correspondiente y aplicando un riego cada cuatro días para mantener la húmedas adecuada. Se realizó un registro diario del avance de germinación durante 7 días. Las variables evaluadas fueron el porcentaje de germinación (PG), en donde el número de semillas germinadas es dividido entre el número de semillas sembradas multiplicado por cien. La otra variable es el porcentaje de inhibición de germinación (PIG) que es la relación inversa del porcentaje de germinación.

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA), y las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey con el programa estadístico R Studio versión 2020.04.1.

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos (p<0.01), pero no entre especies ni sustratos, lo que indica que el efecto inhibitorio del guishe fue consistente y no dependió del medio de germinación (Cuadro 2).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de los diez tratamientos evaluados en la germinación de Panicum maximum Jacq. y Amaranthus sp.

F.V	G.L	P.GER
TRAT	9	14512 **
SUS	1	8.1 NS
ESP	1	12.7 NS

**= Diferencias altamente significativas, NS= No significativo, F.V: Fuente de variación, G.L: Grados de libertad, P.GER: Porcentaje de germinación.

En la prueba de comparación de medias, el tratamiento testigo (agua destilada) alcanzó 100% de germinación en ambas especies, confirmando la viabilidad de las semillas. En contraste, todas las formulaciones de guishe y el glifosato mostraron un 0% de germinación, sin diferencias significativas entre sí (Figura 1). Esto confirma una inhibición del 100% en la emergencia.

Estos hallazgos validan el efecto alelopático del guishe de lechuguilla y coinciden con estudios previos que documentaron la capacidad del jugo de guishe para inhibir la germinación de maíz, tomate y Rye Grass (Sánchez Robles et al., 2023; Villanueva, 2024). El hecho de que no existan diferencias entre las formulaciones indica que tanto el jugo natural como el fermentado mantienen compuestos activos suficientemente potentes para inhibir la germinación.

El modo de acción probable se relaciona con la alta concentración de saponinas esteroidales y flavonoides, conocidos por afectar la permeabilidad de membranas, la respiración celular y la actividad enzimática durante la germinación (Morreeuw et al., 2021; Triolet et al., 2020). Además, la uniformidad de los resultados frente a diferentes grupos de arvenses sugiere un amplio espectro de acción.

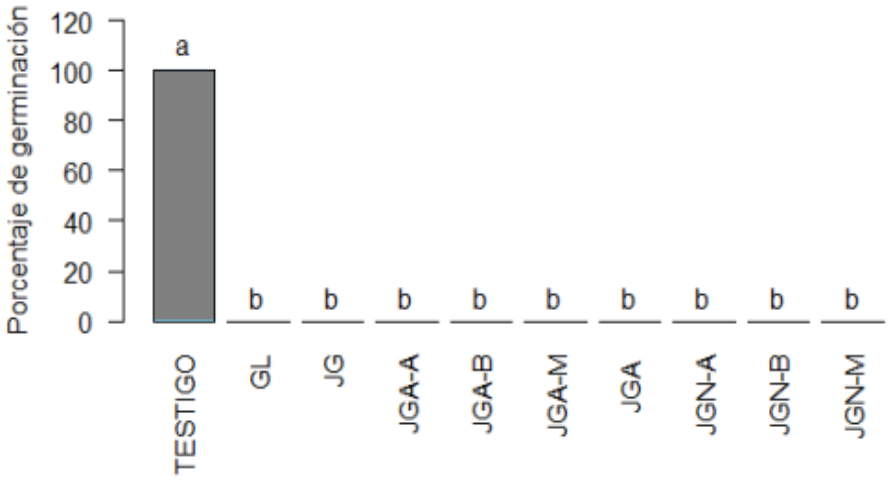


Figura 1. Prueba de comparación de medias mediante el método Tukey para la variable porcentaje de germinación.

Aunque los resultados en laboratorio son altamente promisorios, se requieren investigaciones complementarias para evaluar la selectividad del extracto sobre cultivos de interés, su eficacia bajo condiciones de campo, su persistencia en el suelo y posibles efectos en la microbiota edáfica.

Conclusiones

El presente estudio demuestra que el guishe de *Agave lechuguilla* posee un marcado efecto bioherbicida, al inhibir en un 100% la germinación de *Panicum maximum* y *Amaranthus* sp. bajo condiciones controladas. Este efecto, comparable al obtenido con glifosato, confirma que los metabolitos secundarios presentes en el guishe principalmente saponinas y flavonoides, ejercen una acción alelopática capaz de interrumpir procesos fisiológicos clave en la fase de germinación, independientemente del tipo de especie (monocotiledónea o dicotiledónea) y del sustrato utilizado.

Referencias

Aguilar-González, X., Ronquillo-Cedillo, I., Ávila-Nájera, D. M., Rodríguez-Hernández, C., Pedraza-Mandujano, J., & Martínez-Jiménez, D. L. (2022). Riesgos a la salud por el uso de herbicidas. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible, 10*(1), 23–33. https://doi.org/10

Damiani, F. (2021). Manejo sostenible de malezas: Retos y perspectivas. *Revista de Ciencias Agrícolas, 38*(2), 45–56.

Dayan, F. E., Barker, A., & Duke, S. O. (2019). Herbicide discovery: History, evolution, and future. *Weed Science, 67*(1), 95–110. https://doi.org/10.1017/wsc.2018.79

Islam, A. K. M., Hasan, M., & Alam, M. (2024). Bioherbicides in sustainable agriculture: Advances and challenges. *Journal of Environmental Management, 355,* 119866. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119866

Morreeuw, Z. P., Saavedra-Molina, A., & González-Reyes, A. (2021). Secondary metabolites of *Agave lechuguilla*: Potential for biotechnological applications. *Plants, 10*(11), 2492. https://doi.org/10.3390/plants10112492

Sánchez Robles, J., Pérez, A., & Hernández, L. (2023). Actividad bioherbicida del jugo de guishe de *Agave lechuguilla*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 14*(5), 101–112.

Triolet, M., Guillemin, J. P., & Cordeau, S. (2020). Bioherbicides: Constraints and opportunities for sustainable weed management. *Weed Research, 60*(5), 309–318. https://doi.org/10.1111/wre.12427

Villanueva Blanco, V. O. (2024). *Efecto herbicida pre-emergente de extracto de guishe de lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) sobre semillas de rye grass (Lolium perenne L.)* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio Institucional UAAAN. https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/49928

GERMINACIÓN DE BOMBAS DE SEMILLA DE *Pinus hartwegii* Lindl.

Tomás Pineda-Ojeda[1*], Eulogio Flores-Ayala[1], Andrés Flores-García[2], Enrique Buendía-Rodríguez[1], María Isabel Martínez Ponce[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México. Ctra. México-Texcoco, Km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, Av. Progreso Núm. 5, Barrio Santa Catarina, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México. [3]Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Ctra. México-Texcoco, km. 36.5, Montecillo, Texcoco, México. *Autor de correspondencia: pineda.tomas@inifap.gob.mx

Introducción

Los efectos del cambio climático, los incendios forestales y la afectación por plagas y enfermedades cada vez ocasionan la diminución de la superficie forestal. Para tratar de recuperar estas áreas se realizan trabajos de reforestación. Una limitante a estos trabajos son las áreas de difícil acceso, donde por las condiciones del terreno es riesgoso que el personal de campo realice los trabajos de plantación. Para estas áreas, una opción de reforestación es por medio de siembra directa. Rodríguez (2021), señala que, ante una mayor extensión de la degradación de los ecosistemas, la siembra directa surge como una alternativa, o complemento de las técnicas ya existentes (como lo es la reforestación con planta producida en vivero), recomendada por su potencial para facilitar el aumento de escala de la rehabilitación y/o restauración ecológica. Peñuelas et al. (2002), señalan que el resultado de la siembra directa está determinado por el banco de semillas sembradas y la sobrevivencia de las plántulas emergidas. La pérdida de semillas en una reforestación por siembra directa, puede ser disminuida al mínimo posible, por diversas acciones, como lo pueden ser la preparación del terreno a intervenir, el momento de la siembra y el tratamiento que se le a la semilla.

Los tratamientos a la semilla pueden ser: escarificación, estratificación, remojo, o protección (cubrimiento). En cuanto a la protección o cubrimiento, puede ser con recubrimiento de película, incrustación o peleteado (INCOTEC, 2025). Dentro del peleteado se encuentran las bombas de semillas. Gornish (2023), señala que las bolas o bombas de semillas, son estructuras hechas generalmente de arcilla, composta, agua y semillas y que estas estructuras pueden mejorar las condiciones que contribuyen al fracaso de la restauración de zonas áridas. También señala que las bombas de semillas evitan la pérdida de semillas por depredación y sirven para mejorar el contacto entre las semillas y el suelo, la arcilla sirve de protección hasta que las lluvias la eliminan y la plántula recién germinada recibe nutrientes de la composta. El objetivo de este trabajo fue evaluar la germinación inicial, en vivero, de la siembra de bombas de semillas de *Pinus hartwegii* Lind.

Materiales y métodos

Elaboración de bombas de semillas. Para elaborar las bombas de semillas, se utilizó semilla de *Pinus hartwegii*, la cual presentaba un porcentaje de germinación del 83%. Los materiales utilizados fueron: arcilla (1 kg), peat moss (1 l), tierra de diatomeas (200 g), carbón vegetal (100 g) y agua limpia (700 ml). Después de pesados los componentes, se mezclaron en seco y por último se agregó el agua. Se continuó con el mezclado hasta obtener una masa homogénea sin grumos (Figura 1).

Figura 1. Pesaje y mezclado de los materiales para elaborar las bombas de semillas.

Para formar la bomba de semilla se tomó una porción aproximada de 5 g de la mezcla y se formó una bola o esfera, a la cual se le realizó una perforación con un lápiz o punzón y se introdujeron dos semillas de la especie de *Pinus hartwegii*. El procedimiento se repitió hasta terminar la masa formada con la mezcla de cubrimiento. Las bombas de semillas fueron colocadas en charolas y fueron puestas a secar a temperatura ambiente, por 4 días (Figura 2). Posteriormente, se almacenaron en frío a 4°C, hasta el momento de realizar la siembra.

Figura 2. Elaboración de las bombas de semillas.

La prueba de germinación de las bombas de semillas se desarrolló en dos etapas: siembra en vivero y siembra en campo.

Siembra. Este ensayo se estableció en un invernadero del Programa de Botánica, del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, México. Para evaluar la germinación en vivero, se seleccionaron 80 bombas de semillas de forma aleatoria, estas se dividieron en dos grupos de 40 bombas, cada uno se sometió a un tratamiento diferente: bombas enterradas y bombas sin enterrar (Figura 3). Las bombas de semilla fueron depositadas en charolas de polietileno negro con un volumen de 93 cm^3 por cavidad El sustrato utilizado fue: corteza y arena de rio (50:50). La germinación fue registrada de forma diaria durante 30 días (29 de julio al 29 de agosto de 2025), para determinar el porcentaje de germinación total.

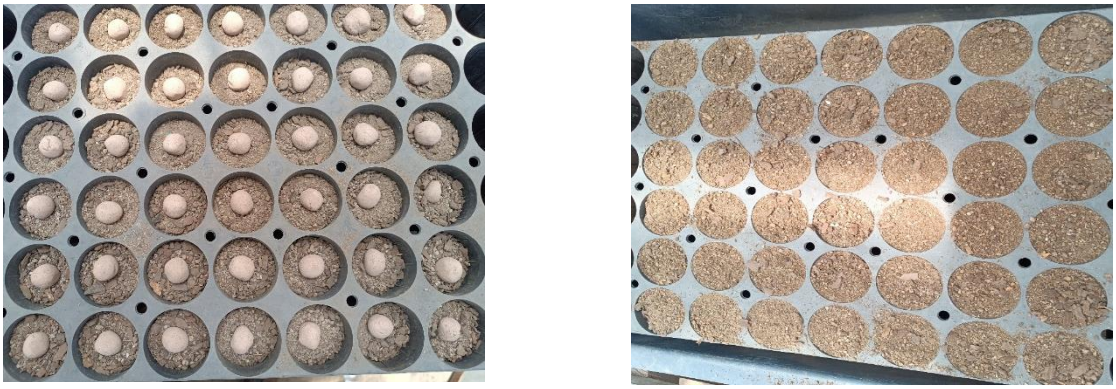


Figura 3. Siembra de bombas de semillas en vivero. Bombas de semilla sin enterrar (izquierda) y bombas de semillas enterradas (derecha).

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA) para evaluar el efecto del enterramiento sobre la germinación de bombas de semillas. Se tuvieron dos tratamientos: T1 (bombas sin enterrar, depositadas sobre la superficie) y T2 (bombas enterradas a profundidad de 2 cm). Cada tratamiento incluyó cuatro repeticiones (n=4), totalizando ocho unidades experimentales asignadas aleatoriamente para garantizar la independencia estadística. La variable respuesta consistió en el número de bombas de semillas germinadas por tratamiento, cuantificada mediante conteo directo durante el período de evaluación. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de un factor utilizando un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ mediante el paquete agricolae versión 1.3-7 (de Mendiburu, 2023) sobre R versión 4.3.3 (R Core Team, 2024). Previo al análisis, se verificaron los supuestos fundamentales del modelo: normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, homogeneidad de varianzas a través de la prueba de Levene, e independencia por diseño experimental. Se calcularon estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, varianza) para cada tratamiento, así como el tamaño del efecto mediante eta cuadrado (η^2). Los intervalos de confianza del 95% para las diferencias entre medias se estimaron para facilitar la interpretación práctica de los resultados. El análisis estadístico se complementó con representaciones gráficas múltiples (gráficos de barras, diagramas de caja, y gráficos de puntos) para visualizar la distribución de datos y magnitud de las diferencias observadas, los cuales se realizaron en R versión 4.3.3. (R Core Team, 2024) con el paquete ggplot2 versión 3.4.4 (Wickham, 2016).

Resultados y discusión

El análisis estadístico del ensayo en vivero, mediante ANOVA de un factor, reveló diferencias significativas entre los tratamientos de germinación evaluados ($F = 40.11$, $p = 0.0007$, $\alpha = 0.05$). El tratamiento T1 (bombas de semillas sin enterrar) exhibió una media de germinación superior (5.75 ± 0.96 semillas) comparado con el tratamiento T2 (bombas enterradas) que presentó una media de 1.00 ± 1.15 semillas. La magnitud del efecto calculada mediante cuadrado ($\eta^2 = 0.8699$) indica que el 87% de la variabilidad observada en la germinación se atribuye al tipo de tratamiento aplicado (enterradas y no enterradas). La diferencia entre medias alcanzó 4.75 semillas por bomba, con un intervalo de confianza del 95% de [2.91, 6.59], confirmando la superioridad estadística del tratamiento sin enterrar. La verificación de supuestos del ANOVA mostró homogeneidad de varianzas (prueba de Levene: $p = 0.3559$) e independencia por diseño experimental, aunque se detectó una posible violación leve del supuesto de normalidad en T2 (Shapiro-Wilk: $W = 0.7286$, $p = 0.0239$). Los resultados proporcionan evidencia robusta para recomendar el uso de bombas de semillas sin enterrar como estrategia óptima de reforestación.

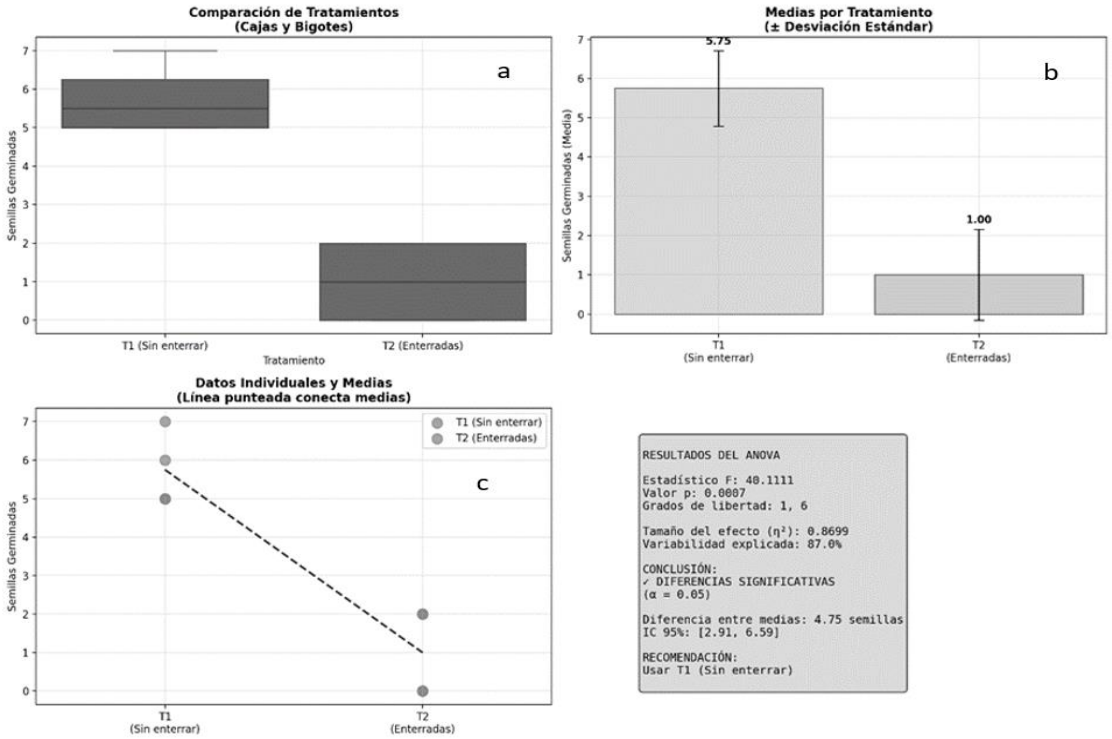


Figura 4. Resultados que evidencian las diferencias significativas entre tratamientos. a) Diagramas de caja, b) gráfico de barras y c) representación de puntos individuales.

La Figura 4 muestra que el tratamiento T1 (sin enterrar) alcanzó una media de 5.75 semillas germinadas (± 0.48 ES), mientras que T2 (enterradas) registró 1.00 semillas (± 0.58 ES). Del mismo modo en la Figura 4b revelan que T1 presenta una distribución más compacta con un rango intercuartílico de 5.0-6.75 semillas, mediana de 5.5, y ausencia de valores atípicos. En contraste, T2 exhibe una distribución asimétrica con mediana de 1.0, rango intercuartílico de 0-2.0, y mayor dispersión relativa. Asimismo, en la Figura 4c, confirma que T1 mantiene valores consistentemente superiores (rango: 5-7 semillas) comparado con T2 (rango: 0-2 semillas). El análisis gráfico corrobora la significancia estadística ($p < 0.001$) mediante la ausencia de solapamiento entre intervalos de confianza del 95%. La diferencia absoluta de 4.75 semillas entre medias resulta evidente visualmente, sustentando la recomendación práctica de utilizar bombas de semillas sin enterrar para optimizar los procesos de revegetación y restauración ecológica.

Rosas-Chavoya et al. (2023), evaluaron, en condiciones de laboratorio, la germinación de semilla de *Pinus hartwegii* Lindl., mediante tres tipos de peletizado: peletizado I (carbón vegetal, tierra de diatomeas y arcilla), peletizado II (tierra de diatomeas), peletizado III (arcilla) y el control (semilla sin peletizar), en todos los tratamientos de peletización el aglutinante fue en una solución de piloncillo (azúcar de caña sin refinar). Los tratamientos control y peletizado III (arcilla) presentaron mayor porcentaje de germinación (94,5 % y 94 %), con diferencias en el momento de mayor germinación, primer y tercer semana, respectivamente. Si bien no se observaron ventajas sustanciales en la tasa de germinación en las semillas con algún tratamiento de peletización, señalan que la diferencia en el momento de mayor germinación podría significar una ventaja en el establecimiento de una población con crecimiento heterogéneo y en condiciones ideales de precipitación.

La posible causa de la baja germinación pudo deberse a: posibles efectos adversos del humedecimiento de la semilla al momento de elaborar la bomba de semilla y su posterior secado junto con los materiales de cubrimiento, el tiempo transcurrido entre la elaboración de la bomba de semilla y la siembra. Al no aplicarse fungicida en los materiales de elaboración de las bombas, ni en el agua de riego en el ensayo en vivero, lo cual pudo ocasionar que se presentara *Damping off* preemergente.

Conclusiones

Se concluye que la germinación inicial de bombas de semillas de *Pinus hartwegii* Lind., en vivero, bajo diferentes condiciones de siembra cumplió satisfactoriamente con el objetivo planteado. La forma de siembra debe ser sin enterrar.

Referencias

de Mendiburu, F. (2023). agricolae: Statistical procedures for agricultural research (Version 1.3-7) [R package]. The Comprehensive R Archive Network (CRAN). https://CRAN.R-project.org/package=agricolae

Gornish, E. (2023). The Gornish Lab. College of Agriculture & Life Sciences. https://www.gornishlab.com/seedballs

INCOTEC. (2025). Recubrimiento de semillas. INCOTEC The seed enhacement company A Croda Brand. https://www.incotec.com/es-mx/seed-technologies/seed-coating

Peñuelas, R., J. L., S. Domínguez L., N. Herrero S., J. L. Nicolás P., R. Fernández S., S. Sarria Sopeña., P. Sendra A. y J. C. Costa P. (2002). Experiencias de aplicación de semillado directo en la restauración forestal en Andalucía. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. A. G. Novograf. S. A. Sevilla, España. 180 p.

R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing (Version 4.3.3) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Rodríguez, A. M. E. (2021). Rehabilitación ecológica de sitios degradados por disturbios severos en el Monte Austral Neuquino: evaluación de la siembra directa con especies nativas. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de la Plata.

Rosas-Chavoya, M. (2023). Evaluación de la germinación de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. con distintos tratamientos de peletización. Quebracho - Revista de Ciencias Forestales, 31(1): 38-46,

Wickham, H. (2016). ggplot2: Create elegant data visualizations using the grammar of graphics (Version 3.4.4) [R package]. The Comprehensive R Archive Network (CRAN). https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2

EFECTO HERBICIDA PRE-EMERGENTE DE EXTRACTO DE GUISHE DE LECHUGUILLA (*Agave lechuguilla* Torr.) SOBRE SEMILLAS DE RYE GRASS (*Lolium perenne* L.)

Víctor O. Villanueva-Blanco[1*], Adriana Antonio-Bautista[1], David Castillo Quiroz[2], Mario E. Vázquez-Badillo[1], Francisco Catillo Reyes[2].

[1]Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315, México, [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Saltillo, Hacienda de Buenavista No. 9515, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: victor.villanueva.10080@gmail.com

Introducción

La agricultura orgánica ha emergido como una alternativa sustentable y socialmente responsable dentro del sistema agroalimentario global, promoviendo una relación más armónica con el entorno natural, prácticas justas para los productores y productos de alta calidad para los consumidores (Gómez et al. 2001). Actualmente, esta forma de agricultura, también conocida como ecológica o biológica, se practica en más de 160 países, abarcando una superficie superior a los 81.6 millones de hectáreas, con la participación de alrededor de 1.9 millones de agricultores, reflejando una tendencia creciente en la aceptación por parte de los consumidores (FiBL-IFOAM, 2016). Dentro de este contexto, la gestión de arvenses representa un desafío crítico, ya que su presencia puede limitar severamente el rendimiento de los cultivos. La identificación temprana de estas especies y su caracterización morfológica (hoja angosta vs. hoja ancha) permite diseñar estrategias de control más eficaces, considerando que las especies perennes, aunque menos frecuentes, presentan mayores dificultades de erradicación (Aldaba, 1993). Tradicionalmente, el control manual o mecánico ha sido la principal herramienta, pero factores como la escasez de mano de obra o condiciones climáticas adversas han incentivado el uso extensivo de herbicidas (Urzúa, 2005). El uso indiscriminado de estos compuestos ha provocado la aparición de biotipos resistentes, como el caso de *Lolium perenne* L. (Rye grass), cuyas poblaciones han desarrollado resistencia al glifosato, comprometiendo la eficiencia de los métodos de control convencionales y generando la necesidad de explorar nuevas alternativas bioherbicidas (Sánchez, 2020). Paralelamente, en las zonas áridas y semiáridas de México, la recolección de *Agave lechuguilla* Torr. para la obtención de ixtle representa una fuente de ingreso fundamental para comunidades rurales. No obstante, la extracción del cogollo genera como subproducto un residuo fibroso conocido como “guishe”, que representa hasta el 85% del peso fresco y que, en la mayoría de los casos, es desechado o incinerado, generando impactos ambientales negativos (Castillo et al. 2005; Taylor et al. 2017). En este sentido, el aprovechamiento del guishe como fuente de compuestos con potencial alelopático se presenta como una alternativa prometedora en el manejo ecológico de arvenses resistentes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de extractos de guishe de *Agave lechuguilla* Torr. sobre la germinación de semillas de *Lolium perenne* L., con el propósito de determinar su eficacia como posible bioherbicida.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el laboratorio de producción y almacenamiento de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS), perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicado en Saltillo, Coahuila (25° 23' 42'' N, 100° 59' 57'' O; altitud 1,796 msnm). El material biológico consistió en un lote de semillas viables de *Lolium perenne* L. (Rye grass), proporcionadas por especialistas del INIFAP Veracruz, debido a su creciente importancia como maleza invasora en zonas agrícolas del noreste mexicano.

Se evaluaron un total de 10 tratamientos, de los cuales nueve correspondieron a formulaciones experimentales derivadas del guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) tanto en jugo natural como fermentado en diferentes proporciones con vinagre blanco y Tween 20, y uno como testigo absoluto (agua destilada), los tratamientos fueron los siguientes: 100% jugo natural (JG); 85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGN-A); 60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGN-M); 35% jugo natural + 61% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGN-B); 100% jugo fermentado (JGA); 85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGA-A); 60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGA-M); 35% jugo natural + 61% vinagre + 4% tween 20 (JGA-B). Como tratamiento de referencia, también se incluyó glifosato al 100% (GL). El ensayo se dividió en dos etapas: una preliminar y una principal. En la fase preliminar, se verificó la viabilidad y ausencia de latencia en las semillas, sembrando cuatro repeticiones de 25 semillas sobre papel de filtro humedecido con agua destilada en cajas de Petri, incubadas a 25 °C durante siete días. Para el experimento principal, se emplearon dos sustratos conforme a lo establecido por ISTA (2019, sección 5.4.2): (1) papel poroso grueso y (2) turba comercial (Peat Moss, marca Berger). En ambos casos, se colocaron cuatro repeticiones de 25 semillas por tratamiento, aplicando 3 mL de la solución correspondiente al inicio y cada cuatro días, para mantener una humedad adecuada. Adicionalmente, se estableció un montaje en bolsas de vivero (10 × 20 cm) rellenadas con turba, sembrando 25 semillas por bolsa y aplicando los tratamientos de forma similar. Las condiciones ambientales fueron monitoreadas y mantenidas constantes a lo largo del ensayo. Las variables de respuesta evaluadas al séptimo día fueron: porcentaje de germinación (PG), definido como la proporción de semillas que germinaron exitosamente, y porcentaje de inhibición de la germinación (PIG), el cual cuantifica el efecto supresor del tratamiento aplicado sobre el proceso germinativo. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con tres repeticiones por tratamiento. El modelo estadístico aplicado fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij},$$

Donde: Y_{ij} es la observación del tratamiento *i* en la repetición *j*, μ la media general, T_i el efecto del tratamiento y ε_{ij} el error experimental. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), utilizando el software RStudio versión 2024.04.1.

Resultados y discusión

Los resultados (Cuadro 1) evidenciaron que la fuente de variación correspondiente a los tratamientos presentó grandes diferencias, lo cual refleja una marcada heterogeneidad atribuible a la naturaleza de los tratamientos aplicados. Este resultado sugiere que las formulaciones evaluadas tuvieron un efecto determinante sobre el proceso germinativo de *Lolium perenne* L. En contraste, la fuente de variación relacionada con el tipo de sustrato no mostró efectos sobre la germinación, lo que implica que, bajo las condiciones del experimento, el tipo de medio utilizado (papel poroso o turba) no influyó de manera relevante en el desempeño germinativo de las semillas. Resultados similares han sido reportados por Cuevas (2022), quien observó diferencias al aplicar tratamientos pre-emergentes a base de mezclas experimentales de guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en ensayos con semillas de frijol y maíz, lo cual respalda la potencialidad herbicida de este subproducto vegetal.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de los 10 tratamientos evaluados en la germinación de Rye Grass (*Lolium perenne* L.)

F.V	G.L	P.GER
TRAT	9	4902.5**
SUSTR	1	0.22NS

**= Diferencias altamente significativas, NS= No significativo, F.V: Fuente de variación, G.L: Grados de libertad, P.GER: Porcentaje de germinación.

De acuerdo con los datos obtenidos (Cuadro 2), se observó que los diez tratamientos experimentales aplicados generaron una inhibición total de la germinación en *Lolium perenne* L., reflejando una eficacia del 100% en todos los casos. En contraste, las semillas del tratamiento testigo, irrigadas exclusivamente con agua destilada, mostraron una elevada capacidad germinativa, alcanzando un 92% de germinación cuando se utilizaron sustratos de papel, y un 93.25% cuando se utilizó turba como medio de crecimiento. Estos hallazgos evidencian que los compuestos bioactivos presentes en los extractos de *Agave lechuguilla* ejercen un efecto inhibitorio contundente sobre el proceso germinativo de *L. perenne*, lo cual resalta su potencial como bioherbicida alternativo. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Torres et al. (2017), quienes evaluaron extractos herbales de orégano, tomillo y romero sobre semillas de *Spergula arvensis* L. y *Rumex obtusifolius* L., observando una inhibición significativa en la primera especie, mientras que la segunda mostró una mayor tolerancia a los tratamientos. Esto sugiere que la eficacia de los bioherbicidas puede estar fuertemente influenciada por la especie vegetal objetivo. Asimismo, los resultados se alinean con la investigación de Aguilar (2023), quien documentó una notable disminución en la germinación del zacate Johnson (*Sorghum halepense*) al aplicar diferentes concentraciones de un bioherbicida formulado con cornezuelo (*Claviceps purpurea*) y vinagre. Las tasas de germinación se redujeron a 14.5%, 7% y 49% al aplicar concentraciones del 75%, 100% y 25% respectivamente, lo que equivale a eficiencias del 85.5%, 93% y 51%. Estos datos confirman que, tanto la dosis como la composición del bioherbicida, desempeñan un papel determinante en la capacidad de inhibición germinativa.

Cuadro 2. Cuadro de comparación de medias para la variable Porcentaje de Germinación (PG).

	Porcentaje de germinación	
Tratamientos	Sobre papel	Sustrato
JG	0.0 b	0.0 b
JGN-A	0.0 b	0.0 b
JGN-M	0.0 b	0.0 b
JGN-B	0.0 b	0.0 b
JGA	0.0 b	0.0 b
JGA-A	0.0 b	0.0 b
JGA-M	0.0 b	0.0 b
JGA-B	0.0 b	0.0 b
GL	0.0 b	0.0 b
TESTIGO	92.0 a	93.25 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. 100% jugo natural (JG); 85% jugo natural + 11% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGN-A); 60% jugo natural + 36% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGN-M); 35% jugo natural + 61% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGN-B); 100% jugo fermentado (JGA); 85% jugo fermentado + 11% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGA-A); 60% jugo fermentado + 36% vinagre blanco + 4% tween 20 (JGA-M); 35% jugo natural + 61% vinagre + 4% tween 20 (JGA-B); 100% glifosato (GL); 100% agua destilada (Testigo).

Conclusión

El análisis del comportamiento germinativo de *Lolium perenne* L. bajo la influencia de nueve formulaciones experimentales derivadas del guishe de *Agave lechuguilla* Torr. permitió confirmar la eficacia esperada de cada uno de los tratamientos. Las soluciones aplicadas demostraron su capacidad para generar una respuesta clara en términos de inhibición germinativa, validando así tanto la composición como la estrategia de formulación empleada. Los resultados obtenidos respecto al porcentaje de inhibición de la germinación fueron consistentes con las hipótesis planteadas, mostrando que todas las mezclas lograron efectos supresores notables sobre el desarrollo de las semillas. Estos hallazgos no sólo respaldan el diseño experimental propuesto, sino que abren posibilidades concretas para el desarrollo de bioherbicidas alternativos a base de residuos agroindustriales, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles.

Referencias

Aguilar Hernández, M. D. J. (2023). Pruebas de germinación en semillas de zacate Johnson aplicando un bioherbicida de cornezuelo (Claviceps purpurea)(l.) y vinagre. Aldaba M.J.L. (1993) Generalidades de los herbicidas. En Memoria Curso pre-Congreso de la Asociación Mexicana de la Ciencia.

Castillo, Q. D., Berlanga, R. C. A., y Cano, P. A. (2005). Recolección, extracción y uso de la fibra de lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.) en el estado de Coahuila. CIR Noreste Centro. INIFAP. Publicación Especial, (6).

Cuevas G. R. (2022). Extracto a base de guishe de lechuguilla y hojasén como herbicida pre-emergente sobre plantas de maíz (Zea mays l.) y frijol (Phaseolus vulgaris L.).

FiBL, I. F. O. A. M. (2016). The world of organic agriculture. Statistic and Emerging Trends.gonza.

Gómez, T. L., Gómez, C. M. A., y Schwentesius, R. R. (2001). Desafíos de la agricultura orgánica: certificación y comercialización. Mundi-Prensa. México, 52 p.

International Seed Testing Association (2019) Internationl rule for seed testing.

Sánchez, M. (2020). Vigor inicial de cuatro variedades de trigo (Triticum aestivum L.) y su incidencia en la habilidad competitiva de ryegrass perenne (Lolium perenne L.) resistente a glifosato (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales).

Taylor, N. T., Davis, K. M., Abad, H., McClung, M. R., y Moran, M. D. (2017). Ecosystem services of the Big Bend region of the Chihuahuan Desert. Ecosystem Services, 27, 48-57.

Urzúa, S.F. (2005) Biología de malezas. En Memorias pre-Congreso del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. 16-18/11/2005. Universidad Autónoma de Tamaulipas. México. Pp 1-25.

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO RIZOSFÉRICO ASOCIADAS A ESPECIES DE LENTO CRECIMIENTO Y DIFICIL REGENERACIÓN EN COAHUILA

Adriana Antonio-Bautista[1*], Mario E. Vázquez-Badillo[1], Víctor M. Villanueva-Coronado[1], Olga L. Rumayor-Rodríguez[2].

[1]Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Fitomejoramiento, Buenavista, Saltillo, Coahuila. C.P. 25315. [2]Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Coahuila, Saltillo Coahuila. CP2500. [*]Autor para correspondencia: adis_anba@hotmail.com

Introducción

Las características del suelo dependen de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas y estas propiedades pueden emplearse como mecanismos de análisis y pueden ser utilizados como indicadores de calidad (Gil-Stores et al., 2005). La fertilidad de un suelo involucra no solo la parte mineral sino también las poblaciones microbianas que mejoran la disponibilidad de nutrientes en las plantas (Reyes y Valery, 2007). La rizósfera es una franja donde interactúan las raíces de las plantas, los microorganismos del suelo y las partículas del suelo adheridas a las raíces donde se presenta una alta actividad biológica, las actividades que se presentan en estas zonas son muy importantes ya que contribuyen en la disponibilidad de nutrientes (Oliveros y Macías, 2009). La relación que ocurre entre las plantas y el suelo juega un papel sumamente importante sobre todo en la determinación de la dinámica y diversidad de especies al facilitar o competir por especie y nutrientes, además la tolerancia a las condiciones climáticas de temperatura y humedad contribuye a la distribución de una especie. El Objetivo de la presente investigación fue evaluar las características edáficas asociadas a especies de lento crecimiento y difícil regeneración en Coahuila

Materiales y métodos

Localización de los sitios de muestreo. La presente investigación se llevó a cabo en el Estado de Coahuila de Zaragoza, México y con base al programa de ordenamiento ecológico Regional del Territorio de Coahuila de Zaragoza (POETE), se seleccionaron tres sitios de muestreo de la región Sureste; Cañón de San Lorenzo 25° 20.306'N y 100° 59.196'O) (CSL) Ejido Cuauhtémoc 100° 59.196'O y 101° 4.013'O (EC) y la pequeña propiedad Ramos Arizpe (25° 32.468'N,100° 54.552'O) (RA); y dos de la región Centro-Desierto; la pequeña propiedad San Lázaro 26° 18.141'N y 101° 24.067'O (SL) y La Muralla 26° 19.973'N y 101° 20.307'O (LM) (figura 1). Dicha selección estuvo basada en datos de distribución natural de especies que presentan un lento crecimiento y una mayor dificultad para su regeneración.

Los sitios de muestreo fueron delimitados de 100 m2, basados en la presencia de las especies. Para localizar los sitios de muestreo se utilizó la base de datos reportada por la secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Coahuila (SMA), donde se reportan la observación de las poblaciones naturales vulnerables y que se incluyen áreas deterioradas por condiciones de cambio climático y por cambios de uso de suelo según la matriz multicriterio del POETE (https://www.sema.gob.mx/). Se siguió la metodología del sistema de muestreo sistemático de Otzen y Manterola (2017).

Identificación de las especies. Para la identificación de los géneros y especies en estudio se llevó a cabo a través de claves botánicas según Arias y Aquino (2019), además se usaron las claves fotográficas de la guía de cactáceas del Estado de Coahuila de Flores (2005).

Caracterización edáfica. Para la caracterización edáfica se colectaron 250 g de suelo rizosférico debajo de cada planta el cual puesto en una bolsa con sello hermético fue puesto en una hielera y fue llevado al laboratorio, donde se determinó el pH por el método del potenciométrico desarrollado por Bates (1954); Willard, Merrit y Dean (1958) en una suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2, la densidad aparente (DA) se llevó a cabo mediante el método volumétrico de la Probeta Desarrollado por Beaver (1963) y se expresó g/cm3, conductividad eléctrica (CE) se determinó por el método del conductímetro tomado de Aguilera y Domínguez (1980) y se expresó en □□S/cm y la materia orgánica del suelo (MO) se realizó por el método de calcinación a 400° C durante 4 h y se expresó en porcentaje.

Análisis de datos. Los datos fueron procesados mediante el programa estadístico R 2020. Se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk para comprobar la homocedasticidad de las varianzas. Se realizó una correlación de Pearson y se aplicó el método ANOVA de una vía, seguido de una prueba de Tukey para los valores distribuidos normalmente.

Resultados y discusión

Identificación de las especies . De acuerdo al análisis del programa POETE basada en la matriz multi-criterio y con la base de datos de las poblaciones naturales de especies vulnerables e impactadas por cambios de uso de suelo reportada por SMA y conforme a los resultados de la evaluación de los datos de las poblaciones naturales, se determinaron que hay 10 especies de la familia *Cactacea* que presentan vulnerabilidad por su difícil regeneración y lento crecimiento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies de la familia cactácea identificadas en los sitios de muestreo.

Especie/Localidad	CLS	EC	RA	SL	LM
Echinocactus horizonthalonius	A	P	P	P	A
Echinocereus enneacanthus	A	A	A	P	P
Echinocereus pectinatus	A	P	A	P	A
Epithelantha micromeris	A	A	A	P	P
Hamatocactus hamatacanthus	A	A	P	P	P
Lophophora williamsii	A	A	P	P	P
Mammillaria chionocephala	P	P	A	A	A
Mammillaria freudenbergerii	A	P	A	P	P
Neolloydia conoidea	P	A	P	P	A
Thelocactus bicolor	A	P	P	A	P

Cañón de San Lorenzo (CLS), Ejido Cuauhtémoc (EC), Pequeña propiedad Ramos Arizpe (RA), Pequeña propiedad San Lázaro (SL), Pequeña propiedad La Muralla (LM), Presente (P), Ausente (A).

En el cuadro 2, se muestra la comparación de medias para las variables edáficas y climáticas, para los sitios. El sitio CSL presentó el pH más bajo con un porcentaje de MO bajo y el sitio SL mostró un pH alto y un porcentaje de MO alto, el pH en los sitios resultaron de levemente alcalino a moderadamente alcalino.

Cuadro 2. Comparación de medias de Tukey (p <0.05) para las variables edáficas en cinco sitios de muestreos.

Sitios	pH	CE (□S/cm)	DA (g/cm^3)	MO (%)
CSL	7.52± 0.212c	246.26±10.78ª	0.89±0.13ª	10.00±1.95ª
EC	8.20±0.159ab	243.03 ±38.9ª	1.15±0.12ª	5.66±1.56ab
RA	8.14±0.160abc	229.85 ±28.8ª	1.03±0.10ª	5.60±1.47ab
SL	8.32±0.144a	377.32 ±37.48ª	1.21±0.09ª	3.02±1.95b
LM	7.81±0.160bc	290.82±18.51ª	1.16±10.10ª	6.60±1.47ab

Las medias con la misma letra indican que no son significativamente diferentes, pH, Densidad aparente (DA), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica del suelo (MO), Temperatura media anual (TemMA), precipitación anual (PrecipA), Cañón de San Lorenzo (CLS), Ejido Cuauhtémoc (EC), Pequeña propiedad Ramos Arizpe (RA), Pequeña propiedad San Lázaro (SL), Pequeña propiedad La Muralla (LM).

El sitio que presentó la mayor presencia de las especies estudiadas (ocho) fue SL y la menor con dos especies presentes fue el CSL, las especies estuvieron presentes entre dos y tres sitios de muestreo, especies presentes en suelos con pH alcalinos (7.69 a 8.31), suelos salinos con CE (2.09 a 4.71), suelos compactos con DA (1.03 a 1.11) y bajos en MO (4.03 a 8.01), peculiaridades de suelos Calcisoles en combinación con Solonchak característicos de los suelos de las zonas áridas y semiáridas del desierto Chihuahuense. El género Echinocereus prefieren suelos menos alcalinos 7.96, con DA 1.03 y con MO 8.3.

Conclusiones

Las Especies en estudio estuvieron presentes en tipos de suelos Calcisoles en combinación con Solonchak mismos que características de las zonas áridas y semiáridas del desierto Chihuahuense.

Referencias

Gil–Stores, F., C. Trasar–Cepeda, M. C. Leiros, and S. Seoane. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. Soil Biol. Biochem. 37: 877–887.

Reyes, Isbelia, y Valery, Alexis. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento Del maíz (zea mays l.) Con azotobacter spp. Bioagro, 19(3), 117-126

Oliveros-Bastidas, Alberto de J.; Macías, F. A.; Carrera Fernández, C.; Marín, D.; Molinillo, José M. G. 2009. Exudados de la Raíz y su Relevancia Actual en las Interacciones Alelopáticas. Revista Química Nova, Vol. 32, No. 1, p. 198-213.

Otzen, T. y Manterola, C. 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. International Journal of Morphology, 35(1):227-232.

DIVERSIDAD DE INSECTOS ASOCIADOS A TRAMPAS MULTIEMBUDO TIPO LINDGREN EN LA REFORESTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Rosalinda Cervantes-Martínez[1*], Josefina Vásquez-Ventura[1], Julián Cerano-Paredes[2], Eladio H. Cornejo-Oviedo[1], Héctor D. González-López[1], Genaro E. García-Mosqueda[1].

[1]Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. [2]INIFAP CENID-RASPA. Km 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México. *Autor de correspondencia: cervantesmrosalinda@gmail.com

Introducción

En los ecosistemas terrestres los insectos son el grupo con mayor éxito evolutivo (Purvis y Héctor, 2000) y son la vida animal más abundante en la tierra, encontrándose distribuidos en diferentes hábitats, siendo la fauna de insectos la que ocupa la mayor diversidad de los ecosistemas, pero no todos presentan las mismas relaciones en los sistemas que se encuentran, ya que cumplen diferentes comportamientos ecológicos (Llorente-Bousquets et al., 1996; Mattoni et al., 2000; Vargas et al. 2017). Se considera que los insectos son indicadores de cambios ambientales rápidos y se les considera una herramienta útil para evaluar que tan efectivas son las estrategias de manejo de los ecosistemas (Malenque et al., 2007). Los estudios sobre la diversidad de insectos a nivel mundial son escasos, se enfocan a algún componente del ecosistema, los estudios realizados para determinar monitoreo y trampeo dirigido a plagas en sistemas forestales, emplean trampas multiembudos tipo Lindgren, donde el objetivo es la captura de insectos descortezadores; sin embargo, aunque se capturan otros insectos, no se identifican. Por lo tanto, teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la diversidad de insectos asociados a las trampas multiembudos tipo Lindgren en la reforestación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Materiales y métodos

El área de estudio se localiza en la reforestación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la cual forma parte del Área Natural Protegida Sierra de Zapaliname (Figura 1). Cuenta con una superficie aproximada de 1,000 hectáreas, la mayoría de estos terrenos fueron destinados a reforestación en el año 1960; dicha reforestación se llevó a cabo en siete etapas durante el periodo de 1960 a 1977, considerando especies de pino como *Pinus ayacahuite* Schltdl.*, Pinus halepensis* Mill.*, P. halepensis* var. *Brutia, Cupressus arizonica* Grenne*, Agave sp., Ligustrum japonicum* Thunb. *y Melia azederach* Lin (Oviedo, 1980).

Se seleccionaron diez sitios, en cada uno se colocó una trampa multiembudos tipo Lindgren con atrayentes (alfa-pineno y frontalina) y vaso colector con anticongelante, se colocaron a una distancia de 100 m de separación una de otra siguiendo el gradiente altitudinal, cada trampa fue enumerada y geo-referenciada (Figura 2).

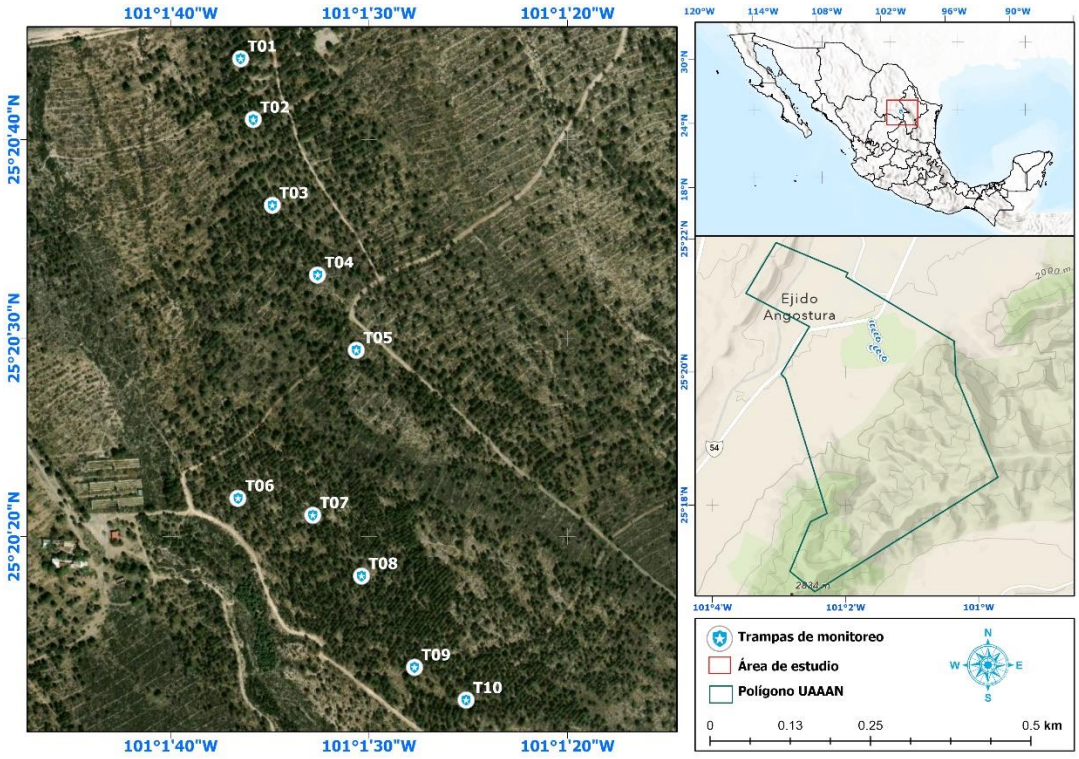


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio en la reforestación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y distribución de trampas multiembudos tipo Lindgren para el monitoreo de insectos.

Figura 2. Revisión de trampas (A) y colecta del material biológico (B y C).

Las colectas se realizaron cada 15 días durante dos meses y medio, del 15 de abril al 30 de junio del 2025, fueron extraídos del vaso colector con ayuda de un colador y de manera cuidadosa con un pincel (Figura 2), se colocaron en bolsas ziploc etiquetadas con fecha y número de trampa para el traslado al laboratorio del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo; en donde se llevó a cabo su limpieza, conteo e identificación. Los insectos se colocaron en frascos etiquetados con alcohol al 70% para su preservación.

Se realizó el conteo de las muestras de forma manual en el laboratorio. El registro de la información se llevó a cabo en una base de datos creada en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel, en la cual se anotó sitio, numero de trampa, fecha de colecta, número de insectos colectados, orden, familia, género y especie. Se identificaron taxonómicamente con base en su morfología externa, separándolos por orden, familia, género y especie. Para la identificación se utilizaron claves taxonómicas para cada uno de las categorías. El índice general de Diversidad Shannon-Wiener índice (H'), que mide la riqueza y comunidad estructural, se determinó mediante el programa Microsoft Excel.

Resultados y discusión

De cinco colectas de insectos (una en el mes de abril, dos en mayo y en junio), se contabilizó un total de 893, los cuales se agruparon en siete ordenes: Coleóptera, Lepidóptera, Hymenoptera, Hemiptera, Diptera, Orthoptera e Isoptera (Figura 3). El orden coleoptera fue el mas representativo con 291 individuos. Por el contrario, los ordenes Orthoptera e Isoptera presentan la menor abundancia (Figura 3). Un estudio realizado por Jiménez et al. (2022) donde emplean trampas multiembudos con atrayentes, reportan resultados similares, destacan que el orden coleóptera es el más diverso de la clase insecta; así mismo, señalan que el orden lepidótera muestra alta representatividad comparada con los demás ordenes. Borgellá et al. (2024) empleando un muestreo en zigzag, encontraron que los ordenes Coleoptera y Lepidoptera son los más abundantes en ecositemas forestales.

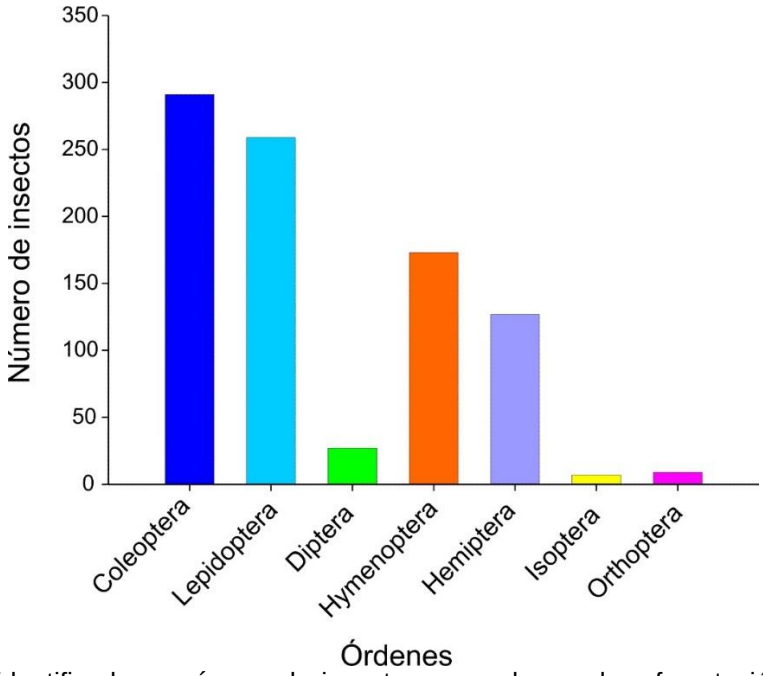


Figura 3. Órdenes identificados y número de insectos por orden en la reforestación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

En lo que respecta a las familias, se identificaron 27, Curculionidae, Trogossitidae, Cleridae, Cerambycidae, Acrididae, Asilidae, Apidae, Buprestidae, Coccinellidae, Cicacidae, Formicidae, Pentatomidae, Vespidae, Reduviidae, Dermestidae, Ichneumonidae, Meloidae, Muscidae, Membracidae, Nitidulidae, Scarabeidae, Staphylinidae, Termetidae, Noctuidae, Pyralidae, Yponomeutidae, Culicidae. El orden Coleóptera fue el mas representativo con 11 familias, la familia Curculionidae tuvo el mayor número de especimes seguida de las familias Pyralidae y Noctuidae del orden Lepidóptera (Figura 4). Por otro lado las familias Culicidae, Ichneumonidae y Meloidae están representadas por un solo individuo. Estos resultados son similares a los reportados por otros autores que realizaron estudios sobre diversidad de insectos en ecosistemas forestales, quienes reportan que los órdenes más representativos son el Coleóptera y Lepidóptera (Borgellá et al.,2024; Pérez-Venero et al.,2020; Sánchez et al., 2018).

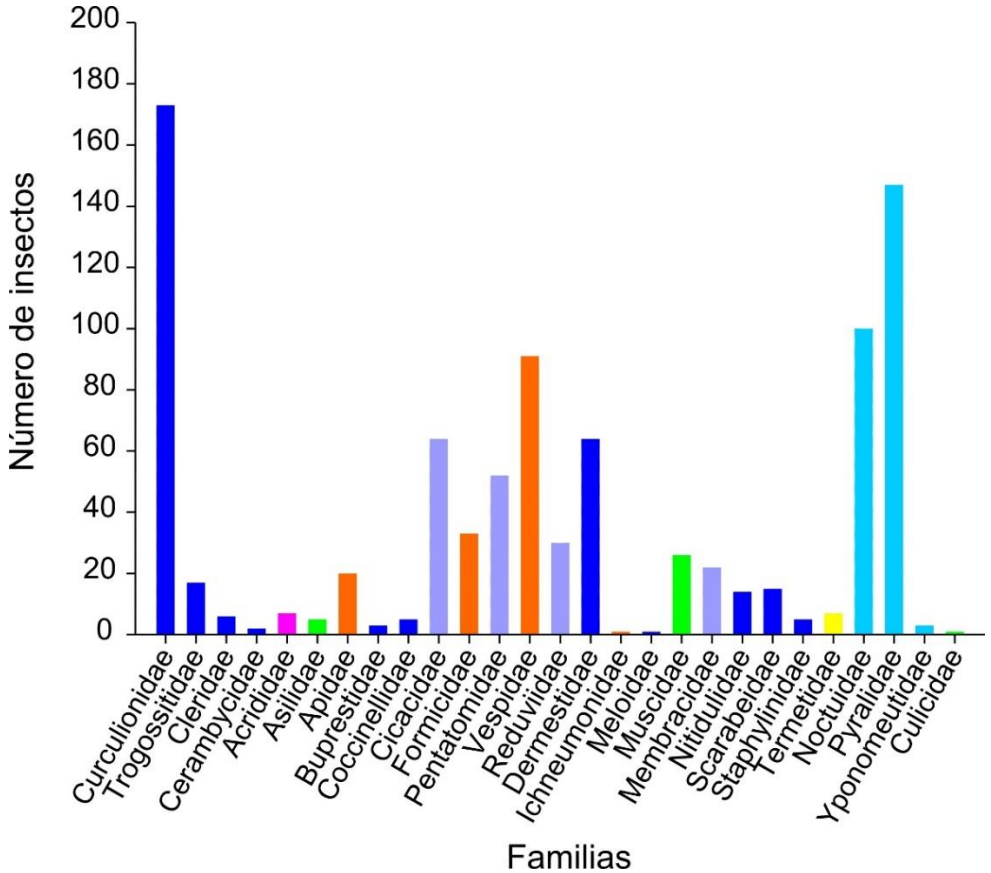


Figura 4. Numero de insectos identificados por cada una de las diferentes familias en la reforestación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los colores muestran el número de familias por cada uno de los órdenes indicados en la figura 3.

El índice de diversidad de Shannon-Wiener(H') muestra un valor de H'= 2.18, lo cual se considera dentro del rango de diversidad alta, indicando que la población no está dominada por una sola especie, sino que varias especies contribuyen de manera significativa al total de los individuos. Esto refleja que la estructura de la población es relativamente equilibrada y estable. El cálculo de H' sobre el total combinado de las cinco recolectas permite capturar la variabilidad temporal de los insectos. Cuando se agrega los individuos de todas las muestras, se incluyen especies que pueden ser más abundantes en ciertos momentos o lugares. Por lo tanto, el valor H' = 2.18 no solo refleja la diversidad promedio, sino también una diversidad acumulada o general, más representativa de la comunidad en el sitio de estudio.

Conclusiones

Como conclusión el orden Coleóptera presenta el mayor número de familias, dentro de la cual se destaca la familia Curculionidae con un mayor número de especies, seguido de las familias Pyralidae y Noctuidae del orden Lepidóptera. El índice de Shannon-Wiener (H') indica una comunidad diversa y abundante de insectos en la reforestación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Referencias

Borgellá Salazar, M., Rodríguez Lamber, T., & Flores Galano, G. (2024). Diversidad de insectos en los bosques de Pinus Cubensis Griseb. en la Empresa Agroforestal Baracoa. *Revista Forestal Baracoa*, *43*, https://cu-id.com/0522/v43e13.

Jiménez, A. A., Cabrera, P. R. C., & Agramonte, J. E. (2022). Fluctuación poblacional de Ips calligraphus en pinares de la vertiente norte de la cordillera Central, República Dominicana. *Novitates Caribaea*, (20), 137-154.

Llorente-Bousquets, J., González S., E., García-Aldrete, A. N., & Cordero, C. (1996). Breve panorama de la taxonomía de artrópodos en México, pp. 3-14. In: J. Llorente B., A.N. García A., E. González S. (Eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. CONABIO-UNAM, México.

Malenque, M. A., Ishii, H. T., Maeto, K., & Taniguchi, S. (2007). Line thinning fosters the abundance and diversity of understory hymenoptera (Insecta) in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D.Don) plantations. Journal of Forest Research, 12: 14-23.

Mattoni, R., Longcore, T., & Novotny, V. (2000). Arthropod moni toring for fine scale habitat analysis: a case study of the El Segun do Sand Dunes. Environmental Management, 25, 445-4521

Oviedo, José Luis. (1980). "Inventario de Las Alternativas de Transformación de Especies Forestales de la Sierra Zapaliname. Antecedentes, UAAAN, Saltillo, Coahuila México." Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Pérez-Venero, Y., Flores-Galano, G., & Lescaille Acosta, J. (2020). Entomofauna asociada a Pinus cubensis G. en áreas del Departamento de Conservación Cupeyal del Norte. Hombre, Ciencia y Tecnología, 24, 107-114. http://hct.cigetgtmo.co.cu/revis tahct/index.php/htc/article/view/1104

Purvis, A., & hector, A. (2000). Getting the measure of biodiversity. Nature, 105, 212-219

Sánchez, L., Barrios, B., & Vázquez, G. (2018). Entomofauna asociada al bosque de pino encino, en la comunidad de Capuluaque, Tetela de Ocampo, Puebla.

Vargas, B. B., Mendoza, B. E. O., Escobar, P. Y., González, P. L. y Rizo, M.M. (2017). Diversidad de insectos asociados a la flora existente en dos fincas de la agricultura suburbana de Santiago de Cuba. *Agrotecnia De Cuba*, *41*(2), 60-71. https://agrotecnia.edicionescervantes.com/index.php/agrotecnia/article/view/201

INFLUENCIA DE LA SEQUÍA ATMOSFÉRICA EN EL CRECIMIENTO RADIAL DE *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) FRANCO EN LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL, MÉXICO.

Juan Ramírez-Méndez[1]*, Julián Cerano-Paredes[2], Eladio H. Cornejo-Oviedo[3], Judith Reyes-Flores[4], Sergio I. Jiménez-Jiménez[2]

[1]Consultor Forestal Independiente, Saltillo, Coahuila. [2]Laboratorio de Dendrocronología. CENID-RASPA INIFAP. Gómez Palacio, Durango. [3]Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. [4]Programa Docente de Postgrado en Maestría en Ciencias en Ingeniería en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. *Autor para correspondencia: juan.ramirezmendez@outlook.com

Introducción

El Déficit de Presión de Vapor (VPD, por sus siglas en inglés) definido como la diferencia entre la presión de vapor de saturación y la presión de vapor real del aire, indica el grado de sequedad atmosférica y la presión evaporativa sobre las plantas (Grossiord et al., 2020). Con el calentamiento global, el VPD tiende a incrementar como resultado de cambios en la temperatura del aire (Breshears et al., 2013). Este incremento provoca el cierre estomático de las plantas como mecanismo de defensa para reducir la pérdida de agua por transpiración (Jalakas et al., 2021). Algunos estudios han señalado un aumento en el VPD a nivel global en las últimas décadas (Grossiord et al., 2020; Broz et al., 2021). Otros trabajos con anillos de árboles han identificado aumento del VPD y a la temperatura como una limitación importante para el crecimiento de los árboles, por ejemplo, en México son pocos los estudios que han considerado el VPD en sus análisis de respuesta del crecimiento radial (Correa-Díaz et al., 2020; Pompa-García et al., 2022). Más recientemente, Cerano-Paredes et al. (2024) realizaron el primer análisis sobre la influencia del VPD en el crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.). Este estudio contribuye al conocimiento sobre la respuesta de los bosques de *P. menziesii* en la Sierra Madre Occidental (SMOc) frente al aumento de temperatura y el VPD. Los objetivos en este estudio fueron: 1) desarrollar una cronología regional de anillos de crecimiento de *P. menziesii* y; 2) evaluar la influencia de la temperatura máxima y el VPD en el crecimiento radial de *P. menziesii*.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en dos sitios en Chihuahua: Campo Verde (CAM) y San Juanito (SAN), y dos sitios en Durango: El Tarahumar (TAR) y El Brillante (BRI) (Figura 1). Los sitios de estudio presentan un clima templado húmedo, con temperatura media del mes más frío entre -3 y 18 °C, y precipitación anual de 800 a 1200 mm (García, 2004). La vegetación corresponde a un bosque mixto de pino-encino (Rzedowski, 2006). Las muestras se colectaron de árboles dominantes con características fenotípicas específicas como: apariencia longeva, tallo en espiral y ramas colgantes. Se extrajeron de dos a tres muestras por árbol de un total de 20 árboles por sitio (Speer, 2010), con taladros de Pressler. Las muestras se prepararon de acuerdo con procedimientos dendrocronológicos estándar y para determinar el año exacto de la formación de los anillos, se empleó la técnica de fechado cruzado (Stokes & Smiley, 1996). El ancho de los anillos se midió con un sistema de medición Velmex con una precisión de 0.001 mm, conectado al software especializado MeasureJ2X. Una vez realizada la medición, el fechado se validó estadísticamente con el programa COFECHA (Holmes, 1983). Se aplicó el modelo exponencial negativo para estandarizar las series individuales y así eliminar el ruido no climático. A partir de las series estandarizadas se desarrollaron cronologías promedio de índice de ancho de anillo (RWI, por sus siglas en inglés) al utilizar una media robusta biweight de Tukey (Bunn et al., 2025).

El proceso de estandarización y generación de las cronologías se llevó a cabo a través del paquete dplR en R (R Core Team, 2024); asimismo, este software se utilizó para calcular las estadísticas descriptivas de las cronologías como la correlación promedio entre todas las series de los árboles (Rbar) y la Señal Expresada de la Población (EPS, por sus siglas en inglés) (Speer, 2010).

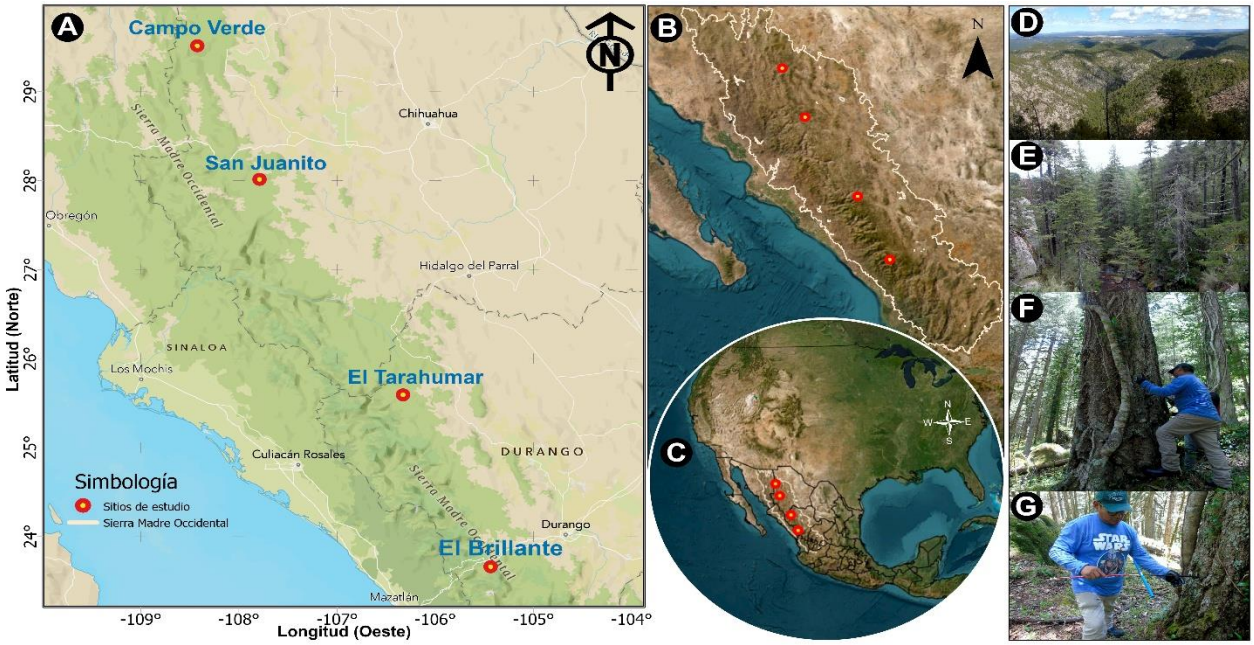


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio en la Sierra Madre Occidental (A-C). Condiciones físicos de los rodales (D-E). Proceso de extracción de núcleos de crecimiento (F-G).

Se utilizaron datos climáticos mensuales de reanálisis ERA5-Land, desarrollado por el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF) (Muñoz, 2019) para el periodo 1950-2023, descargados en Google Earth Engine (Temperatura máxima [Tmax], mínima, y punto de rocío). Con ellos se estimó el VPD al seguir la metodología de Allen et al. (2006). Para determinar la similitud entre los RWI de los sitios y realizar la agrupación, se utilizó el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés). Se determinó la relación entre el índice de anillo de *P. menziesii* y las variables climáticas (Tmax y VPD) con el paquete treeclim en R (Zang & Biondi, 2015; R Core Team, 2024). El análisis comprendió 73 años, se consideraron 17 meses (junio-diciembre del año previo y de enero-octubre del año actual) para detectar efectos rezagados. Así mismo, se corrió un análisis de correlación móvil con ventana móvil de 30 años con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Resultados y discusión

Se logró fechar al año exacto de su formación el 92% (159) del total de núcleos de crecimiento (179) correspondientes a 79 árboles de *P. menziesii*. Se determinó una correlación estadísticamente significativa ($p < 0.01$) entre las series, con coeficientes que oscilan entre 0.61 y 0.74. Esto indica alta sensibilidad a los cambios ambientales en sus crecimientos, lo cual se valida con los coeficientes de intercorrelación entre series que superan el mínimo establecido por el programa COFECHA ($r \geq 0.3281$; $p < 0.01$) (Holmes, 1983). La extensión de las cronologías de RWI varió de 243 años en la cronología más corta y 369 años en la más larga (Figura 2A). El PCA muestra una variabilidad común entre las cronologías, agrupa las cronologías en el primer componente (PC1) que explica el 63.4% de la varianza total de los RWI (Figura 2B-C).

Se integró una cronología regional de RWI de *P. menziesii* (Figura 2D). La cronología regional comprende el periodo de 1655-2023 (369 años), con tamaño de muestra de 159 series. La intercorrelación entre series obtenida es estadísticamente significativa (r = 0.58, p < 0.01). La serie regional registra valores de EPS > 0.85 para el período de 1699-2023 (Figura 2E). De acuerdo con Speer (2010), el EPS depende de la profundidad de la muestra. Por lo tanto, la cronología regional presenta un tamaño de muestra suficiente y adecuado para el periodo de 1699-2023 (324 años) (Figura 2E).

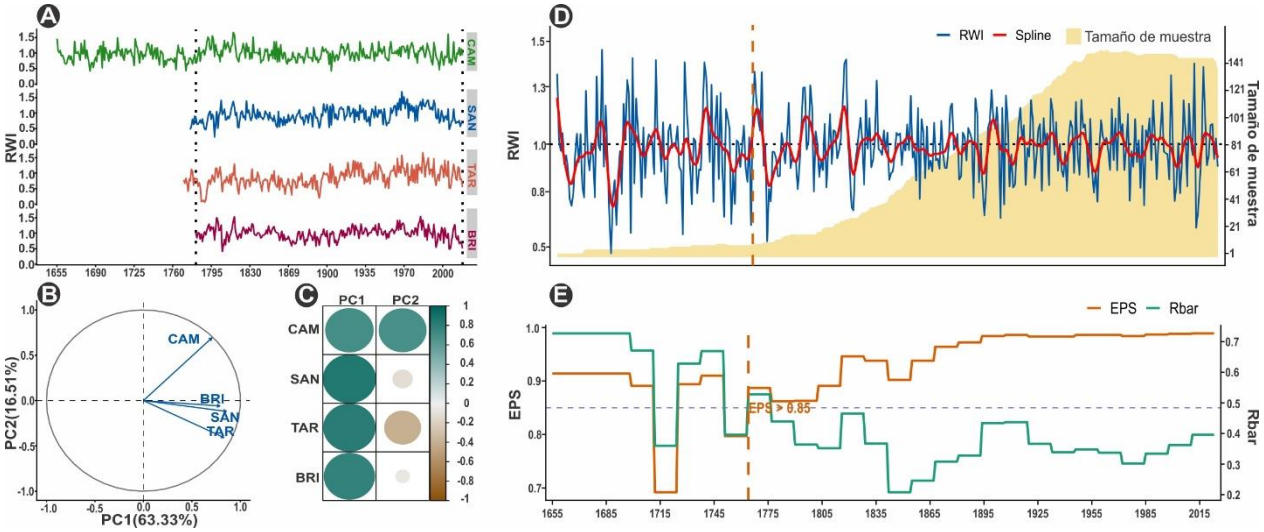


Figura 2. Red de cronologías de ancho de anillo de *Pseudotsuga menziesii* (A). Análisis de componentes principales (B). Contribución de las variables al PC1 (C). Cronología regional (D). Estadísticos descriptivos (E).

La correlación entre el RWI y la Tmax mostró valores negativos significativos (p < 0.05) (Figura 3A). El mes de abril del año actual presentó la más alta correlación negativa significativa (r = -0.62; p < 0.05) (Figura 3A). La correlación más alta para la Tmax acumulada se determinó para el periodo noviembre-julio (r = -0.82; p < 0.05) (Figura 3A). El análisis de correlación con ventana móvil entre el RWI y Tmax presenta correlaciones negativas estables de enero-junio, con dos periodos destacados: 1950-1969 (r = -0.75; p < 0.05) y 1970-2023 (r = -0.83; p < 0.05) (Figura 3C). La respuesta negativa de *P. menziesii* a la Tmax puede explicarse por el estrés hídrico ambiental que limita el crecimiento (Pallardy, 2008). En climas templados los déficits de agua en el suelo tienden a ocurrir a mitad de la temporada de crecimiento, cuando se registran altas temperaturas del aire y el agua del suelo disponible por el derretimiento de la nieve en invierno y las lluvias de primavera ya no está presente (Kashian et al., 2023).

El VPD mostró asociaciones negativas significativas (p < 0.05) sobre el RWI tanto en meses del año previo (junio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre) como en el año actual (enero a junio y septiembre). La más alta correlación se observó en abril del año actual (r = -0.71; p < 0.05). La correlación más alta para el VPD acumulado se observó para el periodo de enero-julio del año actual (r = -0.84; p < 0.05) (Figura 3B). La influencia del VPD sobre el RWI mostró estabilidad a lo largo del tiempo para los meses de enero-mayo del año actual, con asociaciones negativas y significativas (p < 0.05) (Figura 3D). A lo largo de 73 años (1950-2023), estas asociaciones negativas se intensificaron, al pasar de r = -0.72 en la década de 1950 a r = -0.88 en décadas recientes (Figura 3D). Estudios previos confirman esta relación negativa entre VPD y el crecimiento de coníferas (Correa-Díaz et al., 2020; Pompa-García et al., 2022) incluida *P. menziesii* (Cerano-Paredes et al., 2024).

Valores elevados de VPD (>1.9 kPa), registrados en años como 1951, 1980, 1998, 2011 y 2023 (Figura 3E), coincidieron con reducciones en $\Delta^{13}C$ y fuertes sequías (Correa-Díaz et al., 2020), lo que reflejó un estrés fisiológico por disminución de fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración (especialmente cuando Temperatura > 24 °C). Desde 1990, el VPD muestra una tendencia ascendente y se proyecta que continuará, lo que implica mayor vulnerabilidad de los bosques ante las sequías, incendios, plagas y especies invasoras (Grossiord et al., 2020).

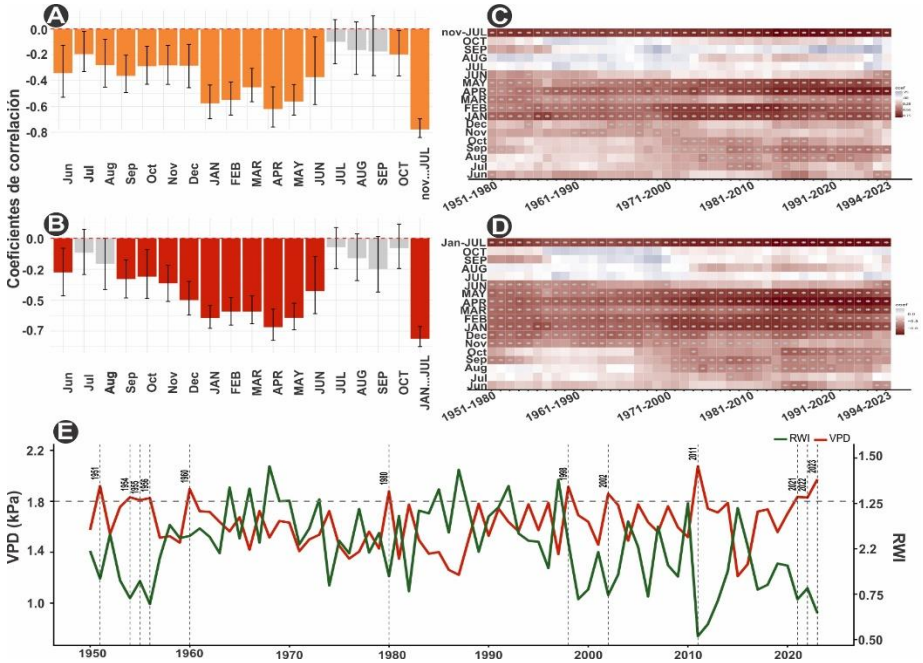


Figura 3. Coeficientes de correlación lineal (A, B) y móvil (C, D) con Bootstrap entre la cronología regional de *Pseudotsuga menziesii* y variables climáticas Tmax (A y C) y VPD (B y D). Valores de VPD y la cronología regional (E).

Conclusiones

Este estudio aporta evidencia novedosa sobre la influencia negativa de la Tmax y el VPD en el crecimiento radial de *P. menziesii* en la SMOc. Es el primer análisis que evalúa la respuesta de *P. menziesii* al VPD en la SMOc. La sequía atmosférica asociada a la Tmax y VPD ha registrado una relación negativa con el crecimiento radial, correlaciones negativas cada vez más altas de 1950 a las primeras décadas del siglo XXI. Los resultados destacan al VPD como un indicador clave que se puede emplear para estimar la demanda evaporativa, con implicaciones para el manejo forestal en bosques templados frente al cambio climático.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO. https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s00.htm

Breshears, D. D., Adams, H. D., Eamus, D., McDowell, N., Law, D. J., Will, R. E., Williams, A. P., & Zou, C. B. (2013). The critical amplifying role of increasing atmospheric moisture demand on tree mortality and associated regional die-off. *Frontiers in Plant Science, 4*, 266. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00266

Broz, A., Retallack, G. J., Maxwell, T. M., & Silva, L. C. R. (2021). A record of vapour pressure deficit preserved in wood and soil across biomes. *Scientific Reports, 11*(1), 662. https://doi.org/10.1038/s41598-020-80006-9

Bunn, A., Korpela, M., Biondi, F., Campelo, F., Klesse, S., Mérian, P., Qeadan, F., & Zang, C. (2025). *dplR: Dendrochronology program library in R* (versión 1.7.8) [R package]. https://CRAN.R-project.org/package=dplR

Cerano-Paredes, J., Avendaño-González, A., Muñoz-Villalobos, J. A., Cervantes-Martínez, R., Jiménez-Jiménez, S., & Cornejo-Oviedo, E. H. (2024). Influencia del déficit de presión de vapor en el crecimiento anual de *Pseudotsuga menziesii*. *Agrofaz – Journal of Environmental and Agroecological Sciences, 6*(2), 44–52. https://www.agrofaz.net/index.php/agrofaz/issue/view/13

Correa-Díaz, A., Silva, L. C. R., Horwath, W. R., Gómez-Guerrero, A., Vargas-Hernández, J., Villanueva-Díaz, J., Suárez-Espinoza, J., & Velázquez-Martínez, A. (2020). From trees to ecosystems: Spatiotemporal scaling of climatic impacts on montane landscapes using dendrochronological, isotopic, and remotely sensed data. *Global Biogeochemical Cycles, 34*(3), e2019GB006325. https://doi.org/10.1029/2019GB006325

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372

Grossiord, C., Buckley, T. N., Cernusak, L. A., Novick, K. A., Poulter, B., Siegwolf, R. T. W., Sperry, J. S., & McDowell, N. G. (2020). Plant responses to rising vapor pressure deficit. *New Phytologist, 226*(6), 1550–1566. https://doi.org/10.1111/nph.16485

Holmes, R. L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin, 43,* 69-78. http://hdl.handle.net/10150/261223

Jalakas, P., Takahashi, Y., Waadt, R., Schroeder, J. I., & Merilo, E. (2021). Molecular mechanisms of stomatal closure in response to rising vapour pressure deficit. *New Phytologist, 232*(2), 468–475. https://doi.org/10.1111/nph.17592

Kashian, D. M., Zak, D. R., Barnes, B. V., & Spurr, S. H. (2023). *Forest ecology* (5th ed.). https://www.wiley.com/en-be/Forest+Ecology%2C+5th+Edition-p-9781119476146#download-product-flyer

Muñoz, S. J. (2019). ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present. *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)*. https://doi.org/10.24381/cds.68d2bb30

Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of woody plants* (3rd ed.). Academic Press. https://www.sciencedirect.com/book/9780120887651/physiology-of-woody-plants

Pompa-García, M., Camarero, J. J., Valeriano, C., & Vivar-Vivar, E. D. (2022). Climate sensitivity of seasonal radial growth in young stands of Mexican conifers. *International Journal of Biometeorology, 66*(8), 1711–1723. https://doi.org/10.1007/s00484-022-02312-3

R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1ra ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf

Speer, J. H. (2010). *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press. https://search.worldcat.org/es/title/460061751

Stokes, M. A. & Smiley, T. L. (1996). *An introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press.

Zang, C., & Biondi, F. (2015). treeclim: An R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography, 38*, 431–436. https://doi.org/10.1111/ecog.01335

CRECIMIENTO E INCREMENTO DE *Pinus greggii* Engelm var. Greggii EN PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES DE DURANGO

Genaro Esteban García-Mosqueda[1]*, Adriana Gutierrez-Angeles[2], Celestino Flores-López[1], Salvador Valencia-Manzo[1], Jesús José Salas Quiñones[3], José Jil Cabrera-Hernández[1]

[1] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. [2] Multiceras, S.A. de C.V. Coordinador Forestal Documental, Rectángulos 100 Arco Vial, García, Nuevo León, México. [3]Servicios Técnicos Forestales, Av. Niños Heroes No. 903, Col. Zona Centro, Nuevo Ideal, Durango. *Autor de correspondencia: gegrmo2003@gmail.com

Introducción

En México los bosques naturales proveen de múltiples beneficios a la sociedad, tales como productos forestales, captura de carbono, esparcimiento, entre otros servicios ambientales (Arteaga-Martínez, 2003). Los bosques son considerados medios de subsistencia y bienestar para las poblaciones rurales, proporcionando además actividades generadoras de ingresos directos beneficiando a gran parte de la población mundial; sin embargo, la superficie que cubren los bosques disminuye continuamente (FAO, 2018). Como ejemplo de esta disminución se encuentran los bosques boreales, García-García et al., (2019) indica que la desaparición de este tipo de ecosistema tendría un gran impacto económico para la actividad forestal de aquellos países que aprovechan los bosques boreales. Aunado a esto, el mismo autor indica que la reducción o desaparición de los bosques boreales causaría una mayor presión sobre otros ecosistemas al tratar de suplir la demanda de madera y otros productos que actualmente satisfacen los bosques boreales, sin considerar la valiosa contribución de los servicios ecosistémicos. La actual y creciente demanda de productos y servicios provenientes de los bosques, requiere el establecimiento de nuevos bosques, donde se presentan las plantaciones forestales comerciales como una fuente de abastecimiento local y global de madera y servicios (García-Mosqueda et al., 2014). En México, la CONAFOR otorgó apoyos para impulsar el establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales, lo que puede permitir reducir las importaciones de productos forestales (Álvarez, 2018). Para el estado de Durango la CONAFOR, (2023), reporta 7397 hectáreas de plantaciones forestales comerciales. Dentro de estas se ha trabajado con *Pinus greggii*, especie con tasas de crecimiento aceptables para este fin y tolerancia a condiciones de estrés hídrico (Vázquez-Cisneros et al., 2018). *P. greggii* var. *greggii*, es nativo de la Sierra Madre Oriental en su porción norte, cuenta con rápido crecimiento, precoz floración, adaptación a condiciones adversas en áreas con baja calidad de sitio y tolerancia a la sequía (Gutierrez et al., 2010; Álvarez, 2018). Por otra parte, la utilización de modelos matemáticos para el manejo de los bosques y plantaciones así, como la determinación del turno, por medio de estos, para proyectar la producción y el aprovechamiento; soportan la toma de decisiones en tratamiento silvícolas resultando en un manejo ambientalmente responsable de los recursos, socialmente benéfico y viable económicamente (Serrada, 2011). El objetivo del presente estudio es ajustar un modelo para el crecimiento de la especie y determinar si existen diferencias significativas en el Incremento Medio Anual (*IMA)* en diámetro y altura a siete años de edad de dos plantaciones de *P. greggii* en Durango, México.

Materiales y métodos

El área de estudio consta de dos plantaciones forestales comerciales establecidas dentro de la Cuenca de Santiaguillo, en los municipios de Nuevo Ideal y Santiago Papasquiaro, Durango. La plantación "A" se ubica en el municipio de Santiago Papasquiaro en la Ex haciendo San Julián en las coordenadas 105°14'12.93" O y 25°7'28.36" N. La especie establecida en agosto de 2014 es *Pinus greggii* Engelm. var *greggii* en marco real utilizando rastra Savannah y tractor agrícola International 4896, logrando una preparación del sitio con profundidades de entre 60 y 70 centímetros. El espaciamiento entre planta es de 2.7 m y 3.0 m entre filas, significando una densidad de plantación de 1250 árboles por hectárea. Se aplicó fertilización con Multiocote de ocho meses de liberación con fórmula 12-25-12. La plantación "B" se encuentra en las coordenadas 105°5'55.75" O y 24°52'38.65" N, se estableció en julio de 2010 con *P. greggii* Engelm. var *greggii* en marco real preparando el terreno con Bulldozer e implementos agrícolas, el distanciamiento entre plantas fue de 2.5 m y entre filas 2.7 m representando una densidad de plantación de 1750 plantas por hectárea. Se aplicó tratamiento de poda altura de muñón (SIAFANI, 2014).

Se colectaron 11 árboles de cada plantación, seleccionándose individuos representativos. La cantidad fue limitada por indicación de los propietarios de las plantaciones. Previo al derribo se midieron las variables dasométricas así como toma de coordenadas UTM de cada individuo. Con una motosierra se realizó el derribo, desrame, y troceo para la obtención de rodajas de 5 cm de espesor, a una altura de 0.1 m, 0.3 m , 1.3 m, y posteriormente casa 1.0 m hasta donde el diámetro del fuste fuese mayor de 3 centímetros. Las rodajas se ordenaron y marcaron, para ser trasladadas a las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En dicho laboratorio se procesaron las rodajas y midieron determinándose el diámetro, numero de anillos, espesor de anillos, edad, a de cada rodaja y altura. Las mediciones se realizaron de forma manual con Vernier digital y lupa. Para capturar y generar la base de datos se utilizó el programa Excel de Microsoft Office.

Se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Edad a la altura de corte:

$$\text{Edad a la altura de corte} = edad\ total - \text{na}$$

Donde: Edad total es la edad total del árbol y *na* es el número de anillos presentes en la sección transversal evaluada.

Incremento Medio Anual:

$$IMA = \frac{variable}{edad}$$

Donde *IMA* es el incremento medio anual de la variable; *variable* se refiere a la variable a evaluar (diámetro y altura); *edad* se refiere a la edad total del árbol.

Los modelos para ajustar las curvas de crecimiento e incremento se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Modelos para ajustar las curvas de crecimiento e incremento de *Pinus greggii* Engelm, var *greggii* de dos plantaciones en la subcuenca de Santiaguillo, Durango.

Modelo	Ecuación
Schumacher's (M1)	$Y = e^{a+b/X}$
Weibull (M2)	$Y = 1 - e^{-aX^b}$
Chapman-Richard's (M3)	$Y = a\,[1 - e^{-bX}]^c$
Logístico (M4)	$Y = \frac{a}{1 + e^{b-cX}}$
Gompertz (M5)	$Y = ae^{-e^{-b-cX}}$

Fuente: Sit, V. y M. Poulin-Costello (1994). Donde: *Y*= variable de estudio; *a, b, c*= parámetro de regresión; *e*= base de logaritmo natural; *X*= edad.

Los criterios que fundamentaron la selección entre los modelos fueron los siguientes: 1) el valor mínimo del cuadrado medio del error (*CME*), 2) el valor máximo del coeficiente de determinación (R^2_{aj}), 3) análisis de los residuales estudentizados (*r*-Student), 4) criterio de convergencia (Sit & Poulin-Costelo, 1994).

Para la comparación del incremento medio anual (*IMA*) de las variables altura y diámetro a una edad de siete años entre las plantaciones, se utilizó la prueba de *t* Student (*P<0.05)* en el programa PAST que permite comparar dos poblaciones independientes de muestras ≤ 30 que presente distribución normal y homogeneidad en sus varianzas. La normalidad de los datos se comprobó con la prueba Shapiro-Wilk por tener un tamaño de muestra menor de 50 (Sánchez, 2015; Hanusz et al., 2016)

Resultados y discusión

Para la relación edad-altura se seleccionó el modelo de Gompertz para ambas plantaciones, debido a que presentó el menor valor del *CME* (0.2969 en la plantación A y 0.3825 en la B), así como el mayor (R^2_{aj}) (0.90 en la plantación A y 0.91 en la B). El modelo Gomperzt tal como en el presente estudio, fue el que mejor se ajustó en un estudio epidométrico para *P. montezumae* Lamb. en la región de Ciudad Hidalgo, Michoacán utilizando los mismos criterios (Pereyra, 2003). El *IMA* para altura de las dos plantaciones presenta un incremento rápido para el primer año, disminuyendo ligeramente a partir del segundo año y hasta el tercero, para despues de un ligero aumento mostrar una disminución de forma constante a partir del cuarto año (Figura 1). Estos resultados son similares a los obtenidos por Muñoz (2012), quien evaluó una plantación de *P. greggii* var. *australis* con dos espaciamientos en la Sierra Purepecha, Michoacán; donde señala que a la edad de seis años obtuvo valor de *IMA* de entre 1.15 m·año^{-1} y 1.23 m·año^{-1}, siendo valores similares a los presentes en ambas plantaciones de este estudio 1.08 m·año^{-1} (plantación A) y 1.15 m·año^{-1} para la plantación B. Lo que significan buenos incrementos en altura de ambas plantaciones.

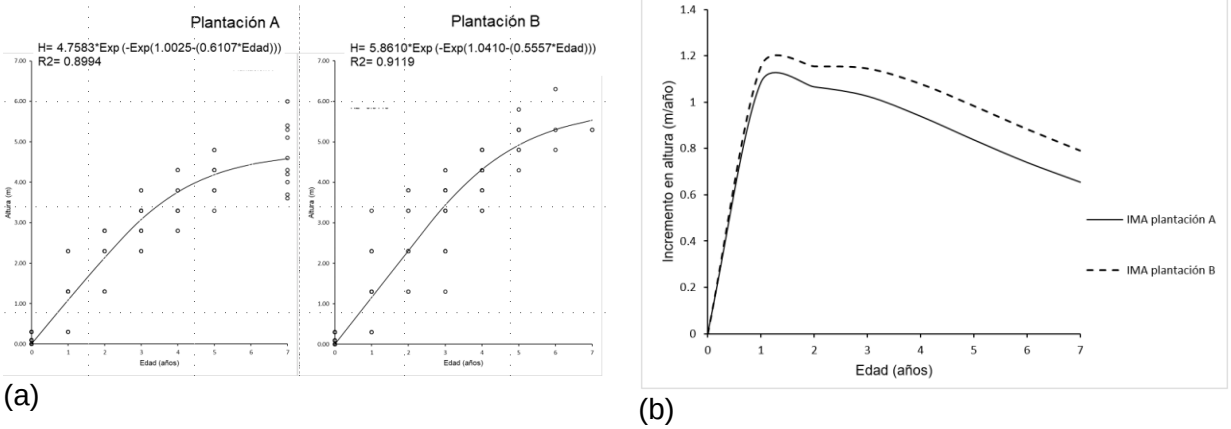
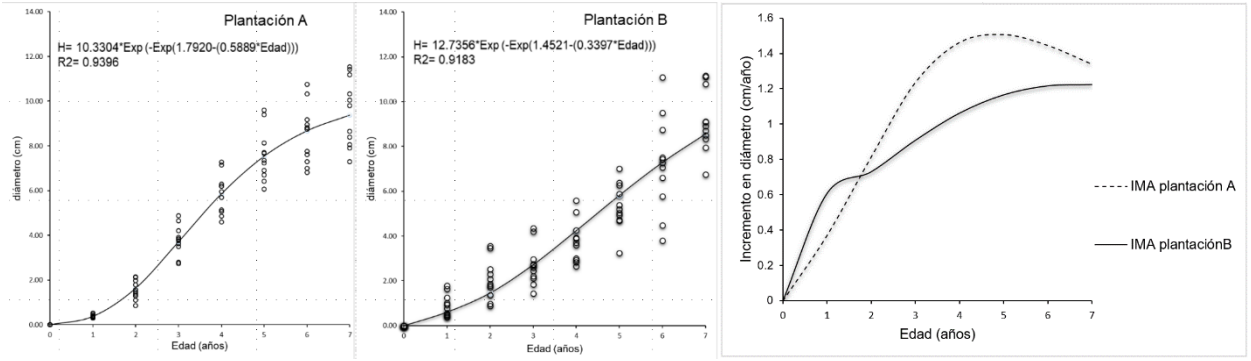


Figura 1. Curva de crecimiento edad-altura de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* generada con modelo Gompertz para dos plantaciones forestales en la subcuenca Santiaguillo, Durango, México (a). Curvas de incrementos edad-altura para ambas plantaciones a siete años de edad (b).

En cuanto a la relación edad-diámetro (0.10m), el modelo que mejor representa el crecimiento de *P. greggii* Engelm. var. *greggii*, para ambas plantaciones, ya que se obtuvieron valores de *CME* 0.7982 (plantación A) y 1.4248 (plantación B); así como los mayores valores de (R^2_{aj}) 0.94 para la plantación A y 0.92 para la plantación B. Lo cual concuerda con López (2015), quien evaluó una plantación de *P. patula* Schiede ex Schltdl & Cham var. *longepedunculata* en Miahuatlán, Oaxaca obteniendo los valores más altos de (R^2_{aj}) = 0.89 con el modelo de Gompertz. Coincidiendo también con un estudio elaborado por De la Cruz (2010), quien obtuvo valores de *CME* = 1.3955 y (R^2_{aj})= 0.96 con el modelo de Gompertz en una plantación de *P. greggii* en Los Lirios, Arteaga, Coahuila, similar al presente estudio.

El *IMA* en diámetro a 0.10 m de altura es lento en los primeros años en la plantación A con un punto de inflexión a los cuatro años presentando un máximo de 1.5 cm·año^{-1} a los cinco años, a partir de donde disminuye. Por su parte en la plantación B inicia un rápido incremento en el primer año teniendo un punto de inflexión la curva entre este y el segundo año para a partir del segundo año aumentar de forma constante hacia los siete años donde presenta un *IMA* = 1.22 cm·año^{-1}, siendo este valor el máximo para la plantación B. Al respecto Klepac (1976) indica que son los mismos factores los que afectan al incremento en altura como en diámetro, sin embargo, para el caso del diámetro se puede presentar mayor incremento cuando hay más espaciamiento y luz. Esto último pudiese explicar las curvas que presenta el *IMA* en las plantaciones estudiadas. Figura 2. De la Cruz (2010) indica que el *IMA* tiene un incremento lento a partir de los tres y hasta los 14 años obteniendo en su estudio un valor máximo de 0.553 cm·año^{-1}siendo este valor mucho menor al obtenido en el presente estudio tratándose de la misma especie *P. greggii*. En contraste en un estudio realizado por Muñoz (2012), quien evaluó *P. greggii* con dos espaciamientos, reporta *IMA* entre 1.94 a 2.06 cm·año^{-1} siendo estos valores mucho mayores a los obtenidos en el presente estudio.



(a) (b)

Figura 2. Curva de crecimiento edad-diámetro (0.10m) de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* generada con modelo Gompertz para dos plantaciones forestales en la subcuenca Santiaguillo, Durango, México (a). Curvas de incrementos edad-diámetro (0.10m) para ambas plantaciones a siete años de edad (b).

En cuanto a la comparación entre ambas plantaciones del *IMA* en altura y diámetro, no se evidenció diferencia estadísticamente significativa al realizar la comparación de medias mediante prueba de *t* de Student, lo cual se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Comparación de medias del *IMA* para las variables de altura y diámetro, a siete años de edad para entre dos plantaciones establecidas en la subcuenca Santiaguillo, Durango, México.

Variable	Plantación	Homocedasticidad T test	Normalidad (Shapiro-Wilk)	Medias	*T* Student	Valor (p=0.05)
Altura (m)	A	0.7465	0.2606	1.0267	1.4365	0.1764
	B			0.9062		
Diámetro (cm)	A	0.2115	0.3697	1.1672	0.9690	0.3517
	B			0.9880		

Conclusiones

Se logró ajustar un modelo para el crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* tanto para edad-altura como para edad-diámetro (0.10m) para ambas plantaciones estudiadas, seleccionándose de entre cinco modelos el modelo de Gompertz por sus mejores estadísticos.
No se encontró diferencia estadísticamente significativa con respecto al incremento medio anual (*IMA*) entre ambas plantaciones para las variables altura y diámetro a los siete años. Lo cual puede ayudar a la toma de decisiones para el manejo de plantaciones forestales comerciales en la subcuenca de Santiaguillo, Durango.

Referencias

Álvarez, R., Correa, M., Reyes, J. y Castañón, D. (2018). Insectos en plantaciones de *Pinus greggii*, en Durango, México. Memorias en extenso XVII Congreso Internacional XXIII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales*. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, *9*(21), 1205-1215. https://rlac.buap.mx/?q=content/volumen-9-n%C3%BAmero-21-noviembre-2018

Arteaga-Martínez, B. (2003). Evaluación dasométrica de una plantación de Pinus spp. en Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 5(1), 27-32. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49750105

CONAFOR. (31 diciembre de 2023). *PFC_abril_2024* [Archivo Excel]. Producción y Productividad. Recuperado el 15 de junio de 2025 de https://snif.cnf.gob.mx/produccion_y_productividad/

De la Cruz M., A. (2010). *Estudio epídometrico en una plantación de Pinus greggii Engelm. en el CAESA, los Lirios, Arteaga, Coahuila*. [Tesis de licenciatura], Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

FAO. (2018). *Estado de los bosques del mundo- Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Roma. 153 p. https://www.fao.org/interactive/state-of-forests/2018/es/

García-García, D.-A., García-Mosqueda, G.-E., Castillo Quiroz, D., Castillo-Reyes, F., Sáenz-Reyes, J.-T., y Muñoz-Flores, H.-J. (2019). Deforestación y degradación de ecosistemas boreales, causas y efectos. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, *15*(2), 49-58. https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/280

García-Mosqueda, G. (2014). Biomasa de dos especies de matorral en tres densidades de plantación en Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, *10*(2), 52-59. Recuperado a partir de https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/232

Gutiérrez Vázquez, N., Cornejo Oviedo, E., Zermeño González, A., Valencia Manzo, S. y Mendoza Villarreal, R. (2010). Conversión de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *greggii* a huerto semillero mediante eigen-analisis. *Bosque 31*(1), 45-52. https://doi.org/10.4067/s0717-92002010000100006

Hanusz, Z., Tarasinska, J. y Zielinski, W. (2016). Shapiro-Wilk Test Know Mean. *Statistical Journal*, *14*(12), 89-100. https://doi.org/10.57805/revstat.v14i1.180

Klepac, D. (1976). *Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales*. ENA. UACh. México.

López Moreno., C. (2015). *Crecimiento en plantaciones de tres especies de Pinos a 20 años de establecidas en Miahuatlán, Oaxaca*. [Tesis de licenciatura], Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Muñoz Flores, H., Coria Avaslos, V., García Sánchez, J., Velasco Bautista, E. y Martínez Molina, G. (2012). Evaluación de una plantación de Pinus greggii Engelm. con dos espaciamientos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *3*(11), 57-70. https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i11.517

Pereyra G., J. (2003). *Estudio epidometrico e índice de sitio para Pinus montezumae Lamb. En la región de Cd. Hidalgo, Michoacán*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo.

Sánchez Turcios, R. (2015). t-Student: Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*, *26*(1), 59-61. https://www.scielo.org.mx/pdf/rmc/v26n1/v26n1a9.pdf

Serrada, R. (2011). *Apuntes de Selvicultura*. Fund. Conde Valle Salazar. España.

SIAFANI. (2014). *Primer Informe de Plantación Forestal Comercial*. Plantaciones Forestales Comerciales. Inédito.

Sit, V. y Poulin-Costello, M. (1994) *Catalog of Curves for Curve Fitting*. Biometrics information handbook series. Ministry of Forest Research Program. British Columbia.

Vázquez-Cisneros, I., Prieto-Ruíz, J., López-López, M., Wehekel, C., Domínguez-Caballero, P. y Muñoz-Sáez, F. (2018). Crecimiento y supervivencia de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var *greggii*. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. *24*(2). 151-164. http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.05.036

VARIACIÓN GENÉTICA Y MORFOLÓGICA DE FORMAS SILVESTRES DE FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) DEL ESTADO DE DURANGO

Liliana Wallander-Compeán[1]*, José Antonio Ávila-Reyes[1], Erika Berenice León-Espinoza[2], Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez[1], Rene Torres Ricario[1], Shaila Nayeli Pérez Salinas[1], Elí Amanda Delgado-Alvarado[1], Vicente Hernández Vargas[1].

[1]Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. Sigma 119, Fraccionamiento 20 de noviembre II, Durango, Durango. C.P.34220. [2]Tecnologíco de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso, Av. Instituto Tecnológico s/n Ejido de San Felipe, Edo. De México. C.P. 50640. *Autor de correspondencia: lwallanderc@ipn.mx.

Introducción

En México existen numerosas variedades silvestres de frijol que crecen en diversos ambientes naturales. Los análisis con marcadores moleculares, evidencian menor variabilidad genética entre las formas cultivadas que entre los frijoles silvestres, y revelan el importante papel que tienen en el proceso de domesticación del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) (Chacón-Sánchez, 2018). Algunas características morfológicas han permitido comparar la variabilidad genética entre las formas silvestres y cultivadas, tales como: hábito de crecimiento y color, tamaño y forma de la semilla, son caracteres indudablemente más variables entre los frijoles domesticados (Morales-Santos et al., 2017; Hernández et al., 2013). Se puede afirmar que las diferencias genéticas entre formas silvestres y domesticadas de frijol se deben al efecto de pocos loci (Langarica et al., 2014). Las herramientas que se usan para llevar a cabo los análisis moleculares son los marcadores genéticos (Vu et al., 2021). Los marcadores de Secuencias de Repetición Marcadas Invertidas (ISTR) están basados en retrotransposones. Los ISTR son una herramienta molecular valiosa para identificar la variabilidad intra poblacional. En este estudio se realizó la caracterización molecular de formas silvestres de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) mediante ISTR, con el fin de diferenciar las poblaciones de formas silvestres y detectar la variabilidad intrapoblacional. El estudio del frijol silvestre es fundamental para conocer y conservar el genotipo de la especie.

Materiales y métodos

Se colectaron semillas de frijol común silvestre en ocho localidades de seis municipios del estado de Durango, México, El Mezquital, Súchil, Nombre de Dios, Canatlán, Nuevo Ideal y Pueblo Nuevo. Las colectas se realizaron en octubre-diciembre de 2018. Las semillas colectadas se sembraron en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, en Estado de Durango (24° 03′ 02.5″ Norte, 104° 36′ 41.7″ Oeste, 1884 msnm), durante el ciclo verano-invierno de 2019. La temperatura promedio máxima fue de 35.7 °C y la mínima de 6.6 °C. Se aplicó fosfato de amonio ((NH4)2 HPO4) como fertilizante únicamente al tiempo de la siembra.

Registro in situ y ex situ de datos morfométricos y morfológicos. Este tipo de datos se registró para 15 crecidas ex situ por población. Durante la quinta etapa se registró la forma de la parte terminal de los foliolos, y se midió el largo y ancho de los tres foliolos de cinco trifolios de10 plantas de cada población. En la décima etapa se determinó el largo, ancho, y espesor de vainas y de semillas. En esta etapa también se hicieron registros de la forma de las vainas. Las dimensiones de las vainas y de las semillas se registraron para un número mínimo de 10 por cada una de 10 plantas de cada población (100 en total por población). El registro de las dimensiones foliares, de las vainas, y de las semillas se realizó con un vernier digital (Surtek, 0-150mm; 122200). El peso de las semillas se registró en una balanza analítica (Velab modelo Ve204).

Análisis molecular. Variabilidad genética y epigenética.

Extracción de ADN. El método de extracción fue el descrito por Coelho et al. (2009), con modificaciones. El ADN total se aisló de manera individual para 50 plántulas de entre 7 y 10 días de edad a partir de tejido foliar (100 mg). Cada muestra de tejido se combinó con 800 µL de regulador de extracción (CTAB al 2%, NaCl 1.4 M, Tris-HCl 10 mM pH 8.0, EDTA 20 mM, 2-mercaptoetanol al 2%, y polivinilpirrolidona (PVP40 al 3%).

Amplificación de marcadores ISTR por PCR para la estimación de la variabilidad genética. Se utilizaron nueve combinaciones de iniciadores de marcadores ISTR. La secuencia de los iniciadores (Rohde, 1995) se muestra en el cuadro 1. Las combinaciones de pares de iniciadores fueron F1/B1, F1/B6, F1/B8, F9/B1 F9/B6, F9/B8, F10/B1, F10/B6, y F10/B8.

Las mezclas de amplificación estuvieron formadas por 25 ng de ADN, 0.25 unidades de ADN polimerasa Taq (Promega®), MgCl2 (3 mM), 0.3 µM de cada iniciador, 0.25 mM de la mezcla de dNTPs, y el volumen de agua ultrapura requerido para un volumen final de 20 µL.

Las condiciones de amplificación fueron las siguientes, de acuerdo a Osorio et al. 2006. Los fragmentos de amplificación se analizaron en geles de poliacrilamida al 5%. Las muestras se sometieron a electroforesis a una potencia constante de 90 W y se tiñeron con SYBR Safe.

Cuadro 1. Secuencia y tamaño de los iniciadores ISTR utilizados para la caracterización molecular de poblaciones silvestres de frijol común (*Phaseolus vulgaris*).

Iniciador	Tamaño (pb)	Secuencia (5'→3')
F1	19	GCA CTC CAC CAA GAA TAC C
F9	20	TTA CCT CCT CCA TCT CGT AG
F10	18	TAA GCA AGC ATC TCG GAG
B1	20	ATC AGG AAG GTC TGT AAA GC
B6	19	GGT TCC ACT TGG TCC TTA G
B8	18	ATA CCT TTC AGG GGG ATG

Resultados y discusión

Características morfométricas. En los resultados de las diferentes curvaturas de vaina, se encontró que el grado de curvatura débil se fue el de mayor frecuencia en las poblaciones de El Mezquital y Súchil, con una proporción entre 54 a 65%. El grado de curvatura medio se encontró en mayor frecuencia (entre 41 y 54%) en las poblaciones de Nombre de Dios, Nuevo Ideal, y Canatlán. La forma de la curvatura fue cóncava para todas las formas silvestres evaluadas. La parte distal de la vaina, fue de aguda a truncada en todas las poblaciones analizadas, y la mayoría de las vainas tuvieron el ápice curvado hacia abajo. Los resultados del presente estudio revelaron diferencias significativas en la longitud, anchura, y grosor de las semillas de los frijoles comunes de diferentes localidades que crecieron en condiciones homogéneas.

Variabilidad genética. En este análisis únicamente se incluyeron las poblaciones silvestres de El Mezquital, Súchil, y Nuevo Ideal, además de una población de frijol común escapado, Escapado Súchil. El valor de la relación A_{260}/A_{280} de cada muestra estuvo entre 1.7 y 2, por lo que, de acuerdo a Sunaryo et al., 2023 y Elkins 2013, su pureza fue adecuada. Torres (2009) reportó que para llevar a cabo análisis de variabilidad genética con marcadores ISTR, se requiere de 15 ng/µL de ADN. Los valores de concentración obtenidos con el método modificado de Coelho et al. (2009) cayeron entre 291.60 y 581.28 ng/µL, los cuales fueron suficientes para poder realizar el análisis de variabilidad genética.

De las combinaciones de ISTR utilizadas (Figura 1), cuatro amplificaron: 4 loci (258-1181pb), 7 loci(184-1449pb), 8 loci (169-1379pb), 19 loci (96-1480), 18 loci (74-1468), 15 loci (74-1468), 20 loci (106-1430), 13 loci (361-1302) y (F10/B8) no mostró amplificación en las muestras analizadas.

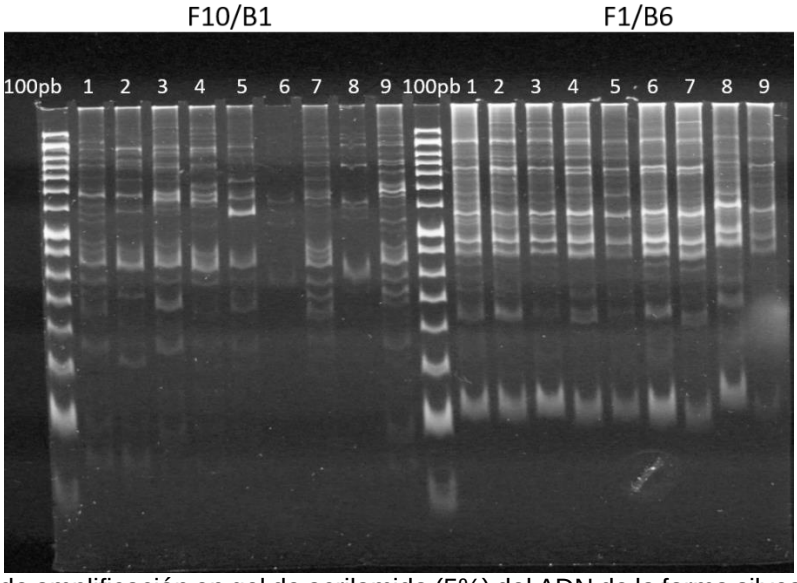


Figura 1. Patrones de amplificación en gel de acrilamida (5%) del ADN de la forma silvestre de El Mezquital, combinaciones F10/B1 y F1/B6. Carriles de 1 a 9 son nueve individuos de la población, 100 pb: Marcador molecular.

Conclusiones

Las variaciones en la longitud, anchura, y grosor de las semillas; anchura y grosor de las vainas; así como en el número de semillas/vaina estuvieron bajo control genético. Por el contrario, las variaciones en la longitud de las vainas y las dimensiones de los foliolos centrales no pudieron explicarse por un control genético. Las condiciones de crecimiento *ex situ* favorecieron el desarrollo de vainas más grandes, conteniendo mayor número de semillas más largas y anchas, aunque no más gruesas; así como hojas más grandes que las condiciones de crecimiento *in situ*, lo que revela un importante y útil potencial adaptativo que puede sustentar el desarrollo de programas de conservación y mejoramiento de frijol común.

Las poblaciones silvestres tuvieron diferenciación genética alta, el mayor valor se encontró para la población de El Mezquital, seguida por la de Súchil, y por la de Nuevo Ideal. Se logró diferenciar claramente a las poblaciones de frijol común silvestre estudiadas, lo que hace notar que, aunque las semillas analizadas pertenecen a la misma especie, si hay diferencias genéticas.

Referencias

Coelho RC, Faria MA, Rocha J, Reis A, Oliveira MBPP, Nunes E. 2009. Assessing genetic variability in germplasm of Phaseolus vulgaris L. collected in Northern Portugal. Sci. Hortic. 122: 333-338.

Chacón-Sánchez M I. 2018. The domestication syndrome in Phaseolus crop plants: A review of two key domestication traits. In: Origin and Evolution of Biodiversity (Pontarotti, P. Ed.). Springer, Cham, Switzerland, 37-60 pp.

Elkins, K. M. (2013). Determination of DNA Quality and Quantity Using UV-Vis Spectroscopy (pp. 59–62). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394585-3.00006-7

Hernández-López, V. M., Vargas-Vázquez, M. L. P., Muruaga-Martínez, J. S., Hernández-Delgado, S., & Mayek-Pérez, N. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. Revista fitotecnia mexicana, 36(2), 95-104.

Langarica, H. R. G., Serna, R. R., Delgado, S. H., & Pérez, N. M. (2014). Morphological and molecular characterization of common bean landraces cultivated in the semi-arid Mexican high plateau. Boletin de La Sociedad Argentina de Botanica, 49(4), 525–540. https://doi.org/10.31055/1851.2372.V49.N4.9891

Morales-Santos, M. E., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G., & Kohashi-Shibata, J. (2017). CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE GERMINACIÓN EN SEMILLAS Y PLÁNTULAS DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.) SILVESTRE, DOMESTICADO Y SU PROGENIE. Agrociencia, 51(1), 43–62. http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n1/1405-3195-agro-51-01-00043.pdf

Rohde W. 1995. Inverse sequence-tagged repeat (ISTR) analysis, a novel and universal PCR-based technique for genome analysis in the plant and animal kingdom. J. Genet. Breed. 50: 249-261.

Sanguinetti C, Díaz E, Simpson A. 1994. Rapid silver staining and recovery of PCR products separated on polyacrylamide gels. Biotechniques 17: 914-921.

Sunaryo, H., Wirman, A. P., Permanasari, E., Nikmatullah, N. A., Lestari, D., & Nurjanah, D. (2023). Optimization of DNA Extraction Methods in Fresh Meat (Rat and Chicken Meat) based on Incubation Time. Indonesian Journal of Halal Research. https://doi.org/10.15575/ijhar.v5i2.21325

Torres MMI. 2009. Caracterización molecular del complejo *Agave durangensis* por medio de marcadores ISTR. Tesis doctoral. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional (IPN). México, D. F. 109 pp.

Vu, T. N., Pham, L. B. H., Nguyen, N. L., Luu, H. L., Huynh, T. T. H., Nguyen, H. H., Ha, H. H., & Le, T. T. H. (2021). Molecular markers for analysis of plant genetic diversity. 18(4), 589–608. https://doi.org/10.15625/1811-4989/18/4/15326

SELECCIÓN DE SITIOS DE TERMORREGULACIÓN POR EL VENADO COLA BLANCA EN COAHUILA, MÉXICO.

Jaime Espinosa-Gomez[1], Eloy Alejandro Lozano-Cavazos[1], Fernando Isaac Gastelum-Mendoza[2*], José Isidro Uvalle-Sauceda[2], Iván Alejandro Lozano-Sifuentes[3], José Antonio Hernández-Herrera[1], José Javier Ochoa-Espinoza[1]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. [2]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional 85 km 145, C.P. 67700, Linares, N.L., México. [3]Texas A&M University. 400 Bizzell St, College Station, TX 77840, United States. *Autor de correspondencia: gastelummendozaisaac@gmail.com

Introducción

La calidad del hábitat para la fauna silvestre depende de la disponibilidad de alimento, agua, espacio y cobertura vegetal, los cuales determinan el desarrollo y crecimiento de las poblaciones (Fulbright & Ortega-Santos, 2006). En México, el venado cola blanca texano (*Odocoileus virginianus texanus*), es una de las 14 subespecies que se distribuyen en casi todo el territorio del país —con excepción de la península de Baja California—(Morrison et al., 2006). En los ecosistemas áridos y semiáridos del norte de México, los matorrales desérticos representan un componente clave de su hábitat (Gastelum-Mendoza et al., 2020), ya que proporcionan alimento, refugio y protección frente a las altas temperaturas que predominan durante el verano (Fulbright & Ortega-Santos, 2006; Mandujano et al., 2010). En estas condiciones, el venado cola blanca depende de la termorregulación, un mecanismo fisiológico y conductual que le permite mantener su temperatura corporal cercana a 36 °C, aun frente a variaciones ambientales extremas. Este proceso incluye estrategias como la selección de microhábitats sombreados, el uso de corredores de vegetación y la modificación de los patrones de actividad diaria, con el fin de reducir el estrés térmico y optimizar la eficiencia energética (Beier & McCullough, 1990; Demarais et al., 2000). La identificación de fragmentos del hábitat que provean las condiciones necesarias para la termorregulación, es un factor determinante para el manejo del hábitat del venado cola blanca (Mysterud & Østbye, 1999; Fulbright & Ortega-Santos, 2006).En las regiones semiáridas del noreste de México, en donde el hábitat del venado cola blanca se asocia al matorral desértico micrófilo (Gastelum-Mendoza et al., 2020) no existen estudios que documenten las especies vegetales utilizadas por el venado cola blanca como sitios de termorregulación ni sus características estructurales. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue identificar y evaluar las características de los echaderos utilizados como sitios de termorregulación por el venado cola blanca en un matorral desértico de Coahuila. Los resultados permitirán reconocer áreas con potencial para la reintroducción de la especie y contribuir al diseño de estrategias de conservación de su hábitat en el noreste de México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) Rancho San Juan (26°49’31.11’’ N, 101°01’57.77’’ O; clave SEMARNAT DGVS-CR-EX-3133-COA), localizada en el municipio de Monclova, en el estado de Coahuila de Zaragoza, México. Con presencia de matorral desértico micrófilo y rosetófilo, principalmente. La UMA cuenta con dos áreas de manejo intensivo que albergan una población aproximada de 600 venados cola blanca: la Reserva San Juan (RSJ) y la Reserva San Vicente (RSV). Ambas áreas son contiguas, están delimitadas con malla venadera (2.6 m de altura) y presentan superficies de 2,238 ha y 1,020 ha, respectivamente. Para identificar los echaderos utilizados por los venados, se empleó el método de radiotelemetría terrestre.

Para ello, en marzo de 2016 se capturaron 40 hembras adultas (20 en RSV y 20 en RSJ), a las cuales se les colocaron radiocollares de muy alta frecuencia (VHF) y se les asignaron números consecutivos del 1 al 40 mediante aretado. Cada individuo recibió una frecuencia única. El monitoreo se realizó de marzo a octubre de 2016. Se utilizó un sistema de radiotelemetría VHF (Hidalgo-Mihart & Olivera-Gómez, 2014) adquirido a la empresa TELENAX.

Una vez localizadas las hembras mediante radiotelemetría, se procedió a aproximarse cuidadosamente para evitar disturbios y registrar el sitio exacto del echadero. Estas observaciones se realizaron entre las 11:00 y las 15:00 h, periodo en el que la temperatura y la radiación solar alcanzan sus valores más altos. El echadero se georreferenció con una unidad GPS y se marcó con un listón plástico el arbusto que proporcionaba sombra al individuo, identificando su especie taxonómica.

Para la caracterización estructural de cada echadero, se utilizó el método de Canfield (1941). El cual, consiste en colocar líneas sobre el suelo y registrar, a lo largo de cada línea, la proyección horizontal de la cobertura de las plantas interceptadas. Con esta técnica se estimó el porcentaje de cobertura vegetal de cada especie y la cobertura total del sitio, proporcionando una medida cuantitativa de la estructura de la vegetación. Para ello, se colocaron cuatro líneas de 10 m de longitud, orientadas en los cuatro puntos cardinales a partir del centro del echadero. Cada echadero y su sitio testigo se evaluaron dentro de una superficie circular de 314.16 m² (radio de 10 m).

La densidad y riqueza de especies arbustivas se estimaron contabilizando todos los individuos por especie dentro del radio de 10 m. La cobertura aérea se evaluó mediante las cuatro líneas de Canfield (1941), mientras que el porcentaje de obstrucción visual se midió a 1, 5 y 10 m de distancia desde el centro del echadero, en cada punto cardinal y en cada uno de los estratos verticales de la vegetación (0 a 50 cm, 50 a 100 cm, 100 a 150 cm y 150 a 200 cm). Con el fin de contrastar los sitios de selección, por cada echadero se seleccionó un punto testigo, en el cual se repitió la misma metodología de caracterización.

Resultados y discusión

Mediante el método de radio telemetría se localizaron y caracterizaron 53 echaderos de venado cola blanca. En los cuales, se estimó una densidad promedio de 4,425 arbustos por hectárea, mientras que en los sitios testigo la densidad fue de 4,265 arbustos por hectárea. En los echaderos se registraron 29 especies de arbustos, y en los sitios testigo, 27 especies (Figura 1). No se detectaron diferencias en la composición y diversidad de las especies vegetales presentes en los 53 echaderos y tampoco en la selección de los echaderos en función de las especies vegetales.

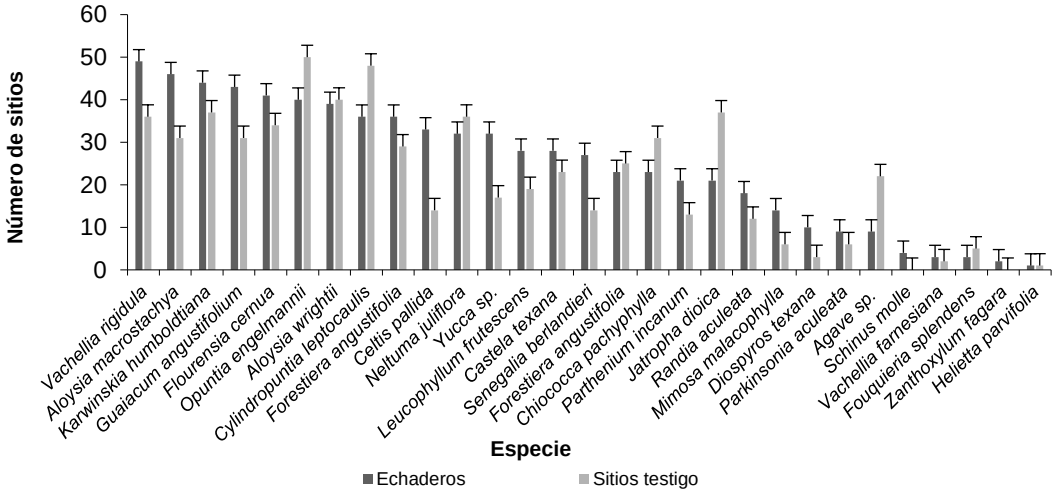


Figura 1. Número de sitios utilizados como echaderos por el venado cola blanca y sitios testigo asociados a diferentes especies arbustivas en un matorral desértico micrófilo de Coahuila (las líneas verticales sobre las barras representan el error estándar).

En los echaderos se observó que las venadas utilizaban algunos arbustos como cobertura térmica, los cuales fueron catalogados como especies sombra. En total se identificaron diez especies de arbustos empleados con este propósito (Figura 2). Entre ellos, *Vachellia rigidula* fue la más utilizada, registrada en 18 echaderos (33.96 %), seguida de *Senegalia berlandieri* en 13 (24.53 %) y *Neltuma juliflora* en nueve echaderos (16.98 %).

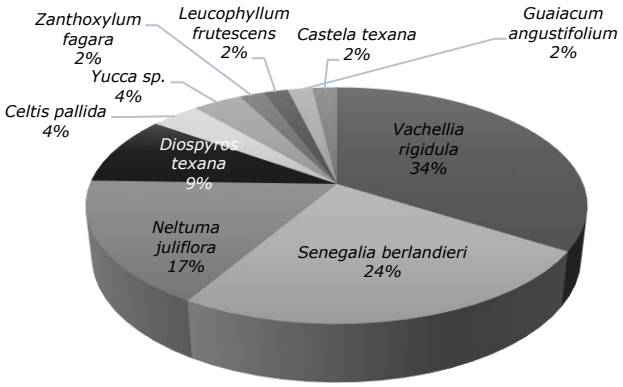


Figura 2. Frecuencia relativa de las especies sombra presentes en los echaderos utilizados por el venado cola blanca en el matorral desértico micrófilo.

Al comparar el porcentaje de cobertura arbustiva entre los echaderos seleccionados por el venado y los sitios al azar, se encontró una diferencia ($p \leq 0.05$) en todas las distancias evaluadas respecto al centro, siendo mayor la cobertura arbustiva en los echaderos seleccionados por el venado (61.5 ± 14 %). En cuanto a la cobertura vegetal en los echaderos, se identificó una diferencia ($p \leq 0.05$) en los metros uno, dos y tres con respecto al centro del echadero. No obstante, desde el metro cuatro hasta el metro diez no se observaron diferencias en el porcentaje de cobertura arbustiva (Cuadro 1). Sin embargo, en los sitios testigo, no se detectaron diferencias entre el metro uno y el metro diez respecto al centro. En conjunto, la cobertura arbustiva aérea promedio en los sitios testigo fue de 30.6 ± 4.35 %. Se identificaron diferencias ($p \leq 0.05$) en la altura promedio de la cobertura vegetal en función de la distancia al centro, tanto en los echaderos como en los sitios testigo.

Cuadro 1. Porcentaje de cobertura y altura promedio de las especies vegetales a diferentes distancias desde el punto central de los echaderos utilizados por el venado cola blanca y de los sitios testigo, en un matorral desértico micrófilo de Coahuila, México.

Distancia al centro (m)	Altura promedio (m; p= 0.0002*)		Cobertura vegetal (%; p= 0.0002*)	
	Echaderos	Sitios testigo	Echaderos	Sitios testigo
1	1.91	0.37	91.1	34.2
2	1.61	0.31	81.6	27
3	1.23	0.36	66	28.4
4	1.09	0.3	57.8	25.1
5	1.01	0.36	55.1	25.5
6	0.89	0.39	56	29.1
7	0.86	0.47	50.7	32.5
8	0.87	0.47	50.1	31
9	0.93	0.5	53.4	34.2
10	0.86	0.48	53.3	38.6
Promedio	**1.13 ± 0.36**	**0.4 ± 0.07**	**61.51 ± 14**	**30.56 ± 4.35**

* De acuerdo con la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney (α≤0.05)

En los echaderos, la altura promedio de la cobertura vegetal hasta los 10 m de distancia fue de 1.13 ± 0.36 m, mientras que en los sitios testigo fue de 0.40 ± 0.07 m (Cuadro 1). Además, la obstrucción visual fue diferente entre los echaderos y los sitios al azar en todas las distancias evaluadas y en los cuatro estratos verticales considerados (Figura 3; p ≤ 0.05), registrándose valores promedio más altos en los echaderos a diez metros de distancia del punto central (90.3 ± 4.8 %).

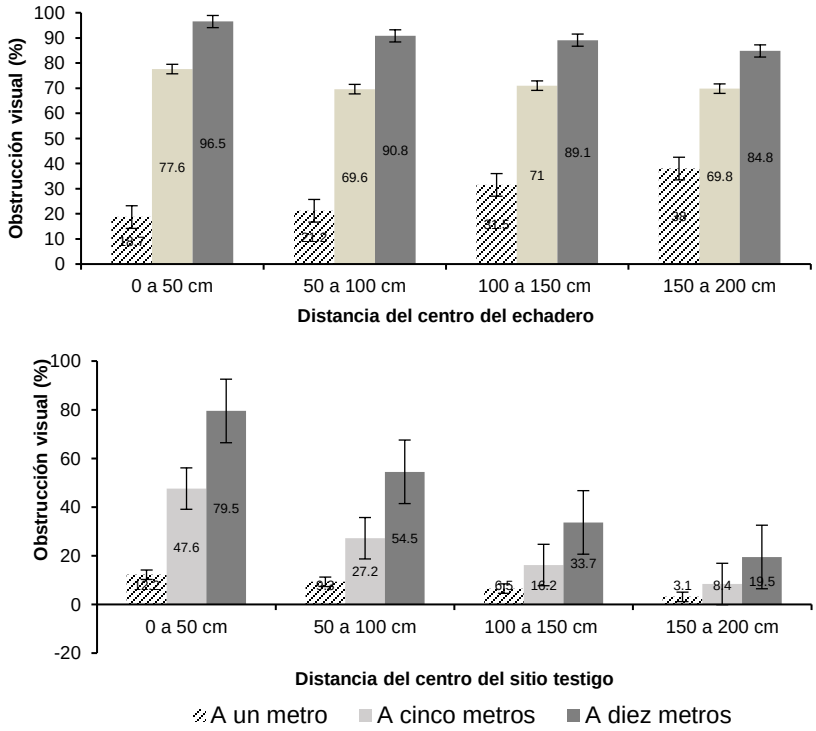


Figura 3. Relación entre el porcentaje de obstrucción visual y la distancia desde el punto central de los echaderos utilizados por el venado cola blanca y de los sitios testigo, considerando los diferentes estratos vegetales en un matorral desértico micrófilo de Coahuila, México (las líneas verticales sobre las barras indican el error estándar).

Conclusiones

Las hembras de venado cola blanca seleccionaron los sitios de termorregulación en función de la cobertura vegetal y la obstrucción visual proporcionada por el matorral. Entre los arbustos de sombra más utilizados destacaron *Vachellia rigidula*, *Senegalia berlandieri* y *Neltuma juliflora*. Los resultados obtenidos deben complementarse con la identificación de los sitios de selección utilizados por los machos, así como de las áreas de parición en diferentes años. Asimismo, este estudio aporta información relevante para identificar variables predictoras del hábitat idóneo para el venado cola blanca en el noreste de México.

Referencias

Beier, P., & McCullough, D. R. (1990). Factors influencing white-tailed deer activity patterns and habitat use. Wildlife Monographs, 109, 3–51.

Canfield, R. H. (1941). Application of the line interception method in sampling range vegetation. Journal of Forestry, 39(4), 388–394. https://doi.org/10.1093/jof/39.4.388

Demarais, S., Strickland, B. K., & DeYoung, R. W. (2000). White-tailed deer habitat: Ecology and management. In S. Demarais & P. R. Krausman (Eds.), Ecology and management of large mammals in North America (pp. 601–628). Prentice Hall.

Fulbright, T. E., & Ortega-Santos, J. A. (2006). White-tailed deer habitat: Ecology and management on rangelands. Texas A&M University Press.

Gastelum Mendoza, F. I., Cantú Ayala, C. M., Uvalle Sauceda, J. I., Lozano Cavazos, E. A., Serna Lagunes, R., & González Saldívar, F. N. (2020). Importancia del matorral desértico micrófilo para el venado cola blanca (Odocoileus virginianus mearns, 1898) en Coahuila. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 11(62). https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.747

Hidalgo-Mihart, M.G., & Olivera Gómez, L.D. (2014). Radiotelemetría de vida silvestre. En: Gallina, S. y C. López-Gonzalez, edits. 2011. Manual de Técnicas para el estudio de la Fauna. Volumen I. Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología, A.C. Querétaro, México.

Mandujano, S., Delfín-Alfonso, C. A., & Gallina, S. A. (2010). Comparison of geographic distribution models of white-tailed deer Odocoileus virginianus (Zimmermann, 1780) subspecies in Mexico: Biological and management implications. Therya, 1(1), 41–68. https://doi.org/10.12933/therya-10-5

Morrison, M. L., Marcot, B. G., & Mannan, R. W. (2006). Wildlife-habitat relationships: Concepts and applications (3rd ed.). Island Press.

Mysterud, A., & Østbye, E. (1999). Cover as a habitat element for temperate ungulates: Effects on habitat selection and demography. Wildlife Society Bulletin, 27(2), 385–394.

NÚCLEOS SEMILLEROS: ECOTECNOLOGÍA DE RESTAURACIÓN QUE INCREMENTA EL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO Y LA COBERTURA VEGETAL EN UN AGOSTADERO DEGRADADO

Erickson Basave-Villalobos[1*], Erika Nava-Reyna[2], José A. Sigala[1], Edith Ramírez-Segura[3], Abieser Vázquez-González[4], Pablo Antúnez[5], Laura Elena Martínez-Nevárez[6]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. [2]CENID RASPA, INIFAP. Gómez Palacio, Durango.[3] INIFAP, Centro Nacional de Investigación en Agricultura Familiar.[4]INIFAP, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. [5]División de Estudios de Posgrado-Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez. [6]Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango. *Autor de correspondencia: basave.erickson@inifap.gob.mx

Introducción

Los pastizales y matorrales en regiones del árido y semiárido del norte y centro de México, que se usan como agostaderos o terrenos de pastoreo extensivo, presentan una problemática preocupante de degradación a consecuencia del sobrepastoreo y el cambio en el uso del suelo (Velázquez- Martínez et al., 2015; Jurado-Guerra et al., 2021). En varias zonas el impacto de la degradación es evidente no solo por la disminución drástica de la cubierta natural de vegetación nativa e invasión de especies exóticas, sino también por las altas tasas de erosión que conllevan a una pérdida significativa de suelo, aunado a la disminución de la salud del suelo remanente. En consecuencia, la recuperación de estos sitios mediante procesos naturales es complicada debido a este grado de deterioro, siendo necesaria la intervención con estrategias de rehabilitación para recuperar la funcionalidad de estos ecosistemas. Durante varias décadas se han hecho esfuerzos para tal propósito, destacándose el establecimiento o revegetación con pastos nativos como una de las principales actividades realizadas para mejorar la salud del pastizal en predios ganaderos (Jurado-Guerra et al., 2021).

Lamentablemente, tales esfuerzos de resiembra de pastos han tenido poco éxito, en gran medida por las propias limitantes ambientales de esos entornos áridos, así que persiste la necesidad de buscar alternativas y desarrollar estrategias para revertir el deterioro de esos sitios. Desde la perspectiva de la restauración ecológica, se propone que la integración de prácticas que involucren obras de conservación de suelos (Alcalá-Galván et al., 2018), la siembra directa con semilla de calidad (Ramírez- Segura et al., 2022) o la plantación de materiales de vivero pueden ser acciones que, implementadas en conjunto, podrían contribuir a superar las limitaciones ambientales que dificultan el establecimiento de los pastos en los trabajos de rehabilitación de los agostaderos degradados (Basave-Villalobos et al., 2024). En este contexto, como parte de un proyecto de investigación en la materia, en 2023 se formuló e implementó una ecotecnología denominada “Núcleos de Dispersión de Semillas (NDS)” o “Núcleos Semilleros”, que funcionan como semilleros de pastos nativos para recuperar no solo la cobertura de este tipo de vegetación en las condiciones de sitio antes referidas, sino también para mejorar la salud del suelo, gracias a la incorporación de materia orgánica de las plantas que logran establecerse en esas unidades. No obstante, la factibilidad de cualquier práctica de restauración debe estar sustentada científicamente.

Un enfoque que ayuda a definir el potencial de una práctica es la evaluación con indicadores de corto y mediano plazo de recuperación de la salud del suelo como lo es la materia orgánica (MOS), el carbono orgánico del suelo (COS) y la fracción lábil de este. Ya que es sabido que el sobrepastoreo impacta considerablemente los reservorios de carbono porque acelera la descomposición del COS (Nava-Reyna et al., 2025). A dos años de haber establecido los NDS en la parcela experimental resulta importante validar si han logrado su propósito. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue analizar los cambios en la materia orgánica, el carbono orgánico del suelo y la cobertura vegetal en un agostadero degradado intervenido con NDS como ecotecnología de restauración activa.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la localidad Lázaro Cárdenas (Garabitos), en el municipio de Durango, Durango. Esta área está dentro de una microcuenca que abastece a la Presa Garabitos. De acuerdo con la clasificación de INEGI serie II con escala 1:250 000, el tipo de suelo es Leptosol. La precipitación media anual en la zona es de 496 mm. La comunidad vegetal es matorral con pastizal (González-Elizondo et al., 2006). El sitio muestra una alta pérdida de cobertura vegetal y de suelo con afloramiento evidente de material parental (rocas y piedras) (Figura 1). El suelo remanente, fuertemente compactado, es de textura franco-arcillosa-arenosa con pH moderadamente ácido (6.35), densidad aparente de 1.36 g/cm^3, conductividad hidráulica alta (5.30 cm h^{-1}), poca materia orgánica (1.11 %) y una fertilidad baja con deficiencia de macroelementos como el nitrógeno (3.17 mg kg^{-1}), fósforo (1.41 mg kg^{-1}), calcio (675 mg kg^{-1}), magnesio (77 mg kg^{-1}) y azufre (3.91 mg kg^{-1}), y de microelementos como el zinc (0.36 mg kg^{-1}), cobre (0.25 mg kg^{-1}) y boro (0.06 mg kg^{-1}) (Basave-Villalobos et al., 2024).

Figura 1. Aspecto del agostadero degradado por sobrepastoreo en el ejido Lázaro Cárdenas, Durango.

La parcela experimental en la que se establecieron los NDS tiene una pendiente de 15 % orientada al norte (Figura 1). Los núcleos consisten básicamente en la construcción de terrazas individuales en las que se realiza la siembra directa de pastos nativos con semilla de calidad o el trasplante de plántulas de estos materiales de tres meses de edad, previamente producidas en vivero en sistema de envase (Figura 2A). Los núcleos se establecen en curvas a nivel y con las características siguientes: diámetro de 1 m y 0.30 m de profundidad en un arreglo topológico de tresbolillo y dispuestos en líneas separadas de 10 m y distanciamiento de 5 m entre terrazas (Basave-Villalobos et al., 2024).

Al momento de implementar los NDS que fue en verano (julio) de 2023, se hizo un muestreo del suelo tomado como referencia el procedimiento señalado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Dicho muestreo se hizo tanto en el área degradada en donde se construyeron los núcleos como en un pastizal conservado situado en un predio adyacente, el cual sirvió como condición de referencia (Figura 1). Para el muestreo en cada unidad se empleó el método de zig zag, tomando con un cavador manual 15 muestras individuales (submuestras) de aproximadamente 0.5 kg por punto de muestreo en una profundidad de 5-10 cm, esto para completar cuatro muestras compuestas de 1.5 kg cada una para cada sitio (conservado y degradado). El suelo recolectado se transportó en bolsas de plástico para su secado inmediato, primero al aire dentro de un invernadero y posteriormente en una estufa de aire forzado a una temperatura de 105 °C hasta peso constante. En el laboratorio se determinó la concentración de COS conforme a la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) y MOS por el método de Walkley y Black (1934).

En agosto de 2025, el procedimiento de muestreo del suelo se repitió, pero ahora obteniendo muestras dentro de los núcleos a las cuales también se les determinó MOS y COS. En este último análisis se cuantificó la fracción lábil del carbono (C) a través del método de Blair et al. (1995), el cual se basa en el grado de oxidación del carbono por permanganato de potasio 0.333 M. Los resultados fueron expresados como g C kg^{-1} de suelo, la fracción lábil de C fue la oxidada por el permanganato (Nava-Reyna et al., 2025). Con los valores de MOS y COS de ambos periodos (2023 y 2025) se calculó un índice de recuperación (IR) para estimar en porcentaje el nivel de acercamiento del sitio restaurado al conservado respecto al degradado. Se utilizó la siguiente relación:

$$IR = \frac{me_rest - \mathrm{me}_deg}{me_cons - \mathrm{me}_deg} x100$$

Donde: IR es el índice de recuperación (%) de una variable, me_rest es la mediana de la variable en condición restaurada; me_cons es la mediana de la variable en condición conservada, me_deg es la mediana de la variable condición degrada.

Finalmente, dentro de los núcleos mediante un muestreo dirigido en 20 puntos, se estimó el porcentaje de cobertura de vegetación herbácea empleando cuadrantes de 20 × 20 cm. Afuera de los NDS también se muestreó la cobertura con la misma intensidad para comparar la cantidad de vegetación presente dentro de los núcleos contra la existente en el suelo degradado sin intervención. Los cambios en MOS y COS se analizaron mediante la prueba U de Mann-Whitney utilizando un nivel de significancia del 5 %. Dicho análisis se realizó en infoStat.

Resultados y discusión

Después de dos años de haber sido establecidos, los NDS registraron un aumento significativo (p = 0.0286) de los niveles MOS y COS presentando valores dentro de ellos de 3.06 y 1.77 %, respectivamente; cifras 179 % superiores comparadas con los niveles de 1.09 de MOS y 0.63% de COS presentados en el suelo degradado sin intervención al momento de implementar los núcleos. De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), la materia orgánica dentro de los núcleos se puede clasificar como condición media cuyo rango es de 1.6 a 3.5 % para suelos no volcánicos.

Asimismo, del COS determinado dentro de los núcleos, el contenido promedio de carbono lábil fue de 22.14 g C kg^{-1} de suelo, cantidad que supera los valores reportados en estudios previos en la zona (Nava-Reyna et al., 2025).

El incremento de MOS y COS propiciado por los núcleos se reflejó en el índice de recuperación de 116 %, el cual sugiere una compensación de materia orgánica y C. Este efecto puede explicarse al considerar que, con las terrazas, que son una obra de conservación del suelo, se mejoran las condiciones del sitio ya que se retiene suelo y se propicia la infiltración y retención de humedad durante la época de lluvias. Estas condiciones en conjunto favorecen la germinación de las semillas y facilitan el establecimiento de las plantas, que al estar en constante crecimiento aumentan la fijación de CO_2 por la fotosíntesis y favorecen la rizodeposición en el suelo (Liu et al., 2022). Más aún, al igual que los resultados obtenidos en esta investigación, Dou et al. (2023) reportaron el incremento de la concentración de COS y C lábil después de la restauración de la vegetación en ecosistemas degradados, debido a factores como la mayor acumulación de mantillo y secreciones de las raíces, proveyendo de COS primario y fuentes de carbono lábil en la capa superficial (Bai et al., 2020). A su vez, estos factores impulsan el desarrollo biológico en la rizósfera por proveer a los microorganismos de fuentes de C que llevan a promover su descomposición, lo que favorece el almacén de carbono en el suelo y las comunidades microbianas del suelo (Duo et al., 2023). Por otra parte, el grado de cobertura vegetal también contrastó (p = 0.0982) entre los NDS y el suelo sin intervención, ya que dentro de los núcleos se tuvo alrededor del 50 % de cobertura mientras que fuera de ellos esta no rebasó el 25% (Figura 2 B y C).

Figura 2. Aspecto de los núcleos al momento de su implementación (A) y cambios en la cobertura vegetal dentro (B) y fuera de estos (C).

Conclusiones

Los núcleos de dispersión de semilla bajo las condiciones ambientales del área de estudio contribuyeron a incrementar la materia orgánica, el carbono orgánico del suelo y la cobertura vegetal, lo cual sugiere su potencial como ecotecnología de restauración activa para recuperar agostaderos degradados.

Referencias

Alcalá-Galván, C. H., Barraza-Guardado, R. H., Ayala Álvarez, F. y Rueda-Puente, H. O. (2018). Uso sustentable de agostaderos y el sistema vaca-cría en el Noroeste de México. *Agronomía Mesoamericana*, *29*(2), 433-447.

Bai, X.J., Guo, Z.H., Huang, Y.M., An, S.S., 2020. Root cellulose drives soil fulvic acid carbon sequestration in the grassland restoration process. *Catena*, 191, 104575.

Basave V. E., Vázquez G. A., Sigala R. J. A., Ramírez F., M. A., Ramírez S. E., y Nava R. E. (2024). *Uso de núcleos semilleros de pastos para la recuperación de agostaderos degradados*. Folleto Técnico Núm. 129. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo., México. 20 p.

Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, *46*(7), 1459-1466.

Dou, Y., Liao, J., & An, S. (2023). Importance of soil labile organic carbon fractions in shaping microbial community after vegetation restoration. *Catena*, 220, 106707.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M. y Márquez-Linares, M. A. (2006). *Vegetación y ecorregiones de Durango*. CIIDIR Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional. Durango, México. 165 p.

Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R., Garza-Cedillo, R. D., Luna-Luna, M. y Chávez-Ruiz, M. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *12* (Supl 3), 261-285. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875

Liu, J., Isbell, F., Ma, Q., Chen, Y., Xing, F., Sun, W., Wang, L., Li, J., Wang, Y., Hou, F., Xin, X., Nan, Z., Eisenhauer, N., & Wang, D. (2022). Overgrazing, not haying, decreases grassland topsoil organic carbon by decreasing plant species richness along an aridity gradient in Northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 332, 107935. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2022.107935

Nava-Reyna, E., Sigala-Rodríguez, J.A., Basave-Villalobos, E., Constante-García, V., y Jacobo-Salcedo, M.R. (2025). *Labilidad de carbono como indicador de calidad del suelo bajo diferentes sistemas de manejo de pastoreo y obras de conservación de suelo*. INIFAP-CENID-RASPA. Folleto Técnico Núm. 57 Gómez Palacio, Durango, México. 44 p.

Ramírez-Segura, E., Maldonado-Jaquez, J. A., Torres- Salas, I., y Quero-Carrillo, A. R. (2022). Atributos físicos y fisiológicos de semilla de pastos nativos del México árido. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *45*(4): 453-460. https://doi.org/10.35196/rfm.2022.4.453

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Dirio Oficial de la Federación. 31 de diciembre de 2002. Segunda edición. México, D.F., México. 85 p.

Velázquez, M. M., Hernández, G. F. J., Cervantes, B. J. F., y Gámez, V. H. G. (2015). *Establecimiento de pastos nativos e introducidos en zonas semiáridas de México. Folleto para productores*. Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental San Luis Potosí. San Luis Potosí. 36 p.

Walkley, A. and Black, I.A. (1934) An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, 37, 29-38. http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

FOTOTRAMPEO DE MAMÍFEROS MEDIANOS Y GRANDES EN UN ÁREA INCENDIADA DE GENERAL ZARAGOZA, NUEVO LEÓN.

José Isidro Uvalle-Sauceda[1*], Juan Francisco Cerda-Moreno[1], César Martín Cantú-Ayala[1], Fernando Isaac Gastelum-Mendoza[1], Eloy Alejandro Lozano-Cavazos[2], Fernando Noel González-Saldívar[1]

[1]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Km 145, Carretera Nacional 85, Linares, Nuevo León, México. [2]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Calz. Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315. Saltillo, Coahuila. *Autor de correspondencia: juvalle.uanl@gmail.com

Introducción.

La técnica de fototrampeo consiste en el uso de cámaras fotográficas equipadas con sensores infrarrojos que detectan objetos en movimiento con mayor temperatura que la del ambiente, lo que permite registrar imágenes de manera automática. Esta característica convierte al fototrampeo en una herramienta eficaz para el monitoreo de fauna, ya que no interfiere con el comportamiento de las especies muestreadas. Además, es un método relativamente económico y fácil de implementar (Rovero et al., 2010). El fototrampeo ha demostrado ser útil para diversos estudios ecológicos, como el monitoreo de especies dispersoras de semillas, la preferencia de hábitat, los hábitos alimenticios, la abundancia relativa y los patrones de actividad (Mella-Méndez et al., 2019), así como para la realización de inventarios de fauna (Quintana et al., 2016), el registro de nuevas especies, la estimación de la diversidad y el estudio de interacciones interespecíficas (Andrade et al., 2020). Asimismo, se ha propuesto sistematizar las imágenes obtenidas mediante esta técnica para integrarlas a colecciones científicas (Botello et al., 2007), consolidando así su valor como herramienta para el manejo de la fauna y la toma de decisiones (Notario-Kumul et al., 2020). En el estado de Nuevo León, se han registrado 5,279 ejemplares de mamíferos, correspondientes a 128 especies. Asimismo, Contreras-Balderas et al. (2008) reportan la presencia de 419 especies de aves, de las cuales 412 son nativas y 7 exóticas. A nivel local, en el municipio de Zaragoza, Nuevo León, Ibarra y Paz (2013) documentaron la presencia de 57 especies de mamíferos y 205 especies de aves.

La importancia de este estudio radica en generar información sobre el impacto del fuego en la fauna silvestre, un conocimiento clave para el manejo adecuado del hábitat y las poblaciones. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar si existe preferencia de hábitat por parte de las especies de mamíferos en una zona afectada por un incendio forestal en el municipio de General Zaragoza, Nuevo León.

Materiales y métodos

El área de estudio se localiza en la comunidad de Santa Rosa, en el municipio de General Zaragoza, Nuevo León, y se encuentra comprendida entre las coordenadas extremas 23°49’14’’ – 23°47’23’’ N y 99°47’02’’ – 99°45’25’’ O, con un rango altitudinal de 2,200 a 2,600 m.s.n.m. La superficie total es de 402.55 hectáreas, de las cuales 150 ha corresponden a vegetación no afectada por incendios y 152.55 ha a vegetación incendiada. El clima predominante en la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano (clasificación climática C(w2)), de acuerdo con INEGI (2001a). Según datos de la estación climatológica de General Zaragoza, el área presenta una temperatura media anual de 16.6 °C, con una precipitación anual promedio de 534.9 mm, registrando su máximo pluvial en el mes de septiembre.

Para llevar a cabo el monitoreo poblacional, se instalaron tres cámaras trampa de las marcas Apeman, Browning y Cuddeback, con resoluciones de 16 y 20 megapíxeles, respectivamente. Estas cámaras permanecieron activas desde el 10 de noviembre de 2019 hasta el 10 de noviembre de 2020, abarcando un periodo continuo de un año. Las cámaras fueron distribuidas estratégicamente en el área de estudio con el objetivo de registrar la actividad de la fauna silvestre y determinar las zonas de mayor uso. Se colocaron en áreas de alimentación y corredores biológicos (Quintana et al., 2016), y fueron rotadas cada dos meses para maximizar la cobertura espacial. No se utilizaron cebos artificiales; sin embargo, en algunos puntos se aprovechó la presencia de ganado muerto por causas desconocidas y parcelas cultivadas como posibles atractores. Cada cámara fue instalada a una altura no mayor a 0.5 metros sobre el nivel del suelo, siguiendo recomendaciones metodológicas previas (Hernández et al., 2015). Se colocaron dos cámaras en el área incendiada (compuesta por dos fragmentos) y una en el área no afectada por el fuego.

A partir de los registros obtenidos se calcularon el Índice de Abundancia Relativa (IAR) y los patrones de actividad de las especies detectadas. El índice de Abundancia Relativa (IAR) se obtuvo mediante la fórmula utilizada por Notario-Kumul et al. (2020):

$$IAR = \frac{C}{EM * 1{,}000\ días - trampa}$$

Dónde; C, son las capturas o eventos fotografiados; EM, representa el esfuerzo de muestreo (No. de cámaras * días de monitoreo); 1,000 días-trampa, es la unidad estándar de monitoreo con fototrampeo.

Se consideraron como registros fotográficos independientes únicamente los siguientes casos; fotografías consecutivas de diferentes individuos; fotografías consecutivas de la misma especie, pero separadas por al menos 24 horas, criterio aplicado en casos donde no es posible determinar si se trata del mismo individuo. en este sentido, las fotografías tomadas en un lapso menor a 24 horas se contabilizan como un solo registro; fotografías no consecutivas de la misma especie (Monroy et al., 2011; Lira-Torres y Briones-Salas, 2012).

El patrón de actividad de las especies registradas se obtuvo siguiendo la metodología propuesta por Hernández et al. (2015), y se analizó únicamente para aquellas especies que presentaron al menos 10 registros independientes.

Los patrones de actividad fueron clasificados en tres categorías; diurnos, cuando las fotografías muestran luz solar; nocturnos, cuando no se observa luz solar en la imagen; crepusculares, cuando las fotografías fueron tomadas durante el amanecer (06:00–08:00 h) o el atardecer (18:00–20:00 h).

Para determinar la similitud de los sitios se utilizó el índice de Sorensen:

$$IS_s = \frac{2c}{A + B}$$

Dónde; IS_s, es el grado de similitud; C, es el número de especies compartidas entre dos comunidades; A, es el número total de especies en la primera comunidad; y B, es el número total de especies en la segunda comunidad. Se realizó una prueba de Chi-cuadrado para comparar los registros independientes de las dos áreas. Además de una prueba de t-student para comparar el índice de abundancia relativa y el número de registros entre especies.

Resultados y discusión

Se realizó un esfuerzo de muestreo de 1,095 días-trampa, se obtuvieron 30 registros independientes y se capturaron un total de nueve especies correspondientes a nueve géneros y 8 familias (Figura 1). Se capturaron cinco mamíferos medianos y grandes; *Odocoileus virginianus miquihuanensis (*IAR= 7.30, N= 8; Figura 1), *Canis latrans (*IAR= 7.30, N= 8), *Ursus americanus (*IAR= 1.82, N=2), *Linx rufus (*IAR= 1.82, N= 2), *Urocyon cinereoargenteus* (IAR= 0.91, N=1). Además, tres mamíferos pequeños, *Sciurus alleni* (IAR= 0.91, N=1) *Otospermophilus variegatus couchii (*IAR= 4.44, N= 2), *Sylvilagus* sp. (IAR= 0.91, N=1); y un ave, *Aphelocoma wollweberi (*IAR= 4.56, N= 5).

En el área incendiada solo se encontraron dos especies, *Odocoileus virginianus miquihuanensis* (*O. v. miquihuanensis*) y *Aphelocoma wollweberi*, con seis y un registro independiente, respectivamente. En el área sin incendio se encontraron las nueve especies. (*O. v. miquihuanensis*) y *Canis latrans* fueron las especies que tuvieron más presencia con el 27 % de los registros cada una. Fue más abundante el venado cola blanca (*O. v. miquihuanensis*) en el área incendiada y se fotografió tanto de día como de noche, lográndose registrar seis machos y 2 hembras, los cuales tuvieron actividad desde las 6:00 a las 12:00 h y desde las 18:00-3:30 h, las hembras solo se registraron de noche de las 24:30-3:30 h.

El índice de similitud de Sorensen mostró una similitud entre las dos áreas del 36.4 %. Sin embargo, la prueba de Chi-cuadrado no mostró diferencia estadística ($P > 0.05$) en la cantidad de registros independientes del área incendiada y del área sin incendio.

El Índice de Abundancia Relativa y el número de individuos si fue estadísticamente diferente entre especies ($P < 0.05$), de acuerdo con lo que arrojó la prueba de t-student.

Figura 1. Fotografías registradas por cámaras trampa en el municipio de General Zaragoza, Nuevo León (izquierda, *Odocoileus virginianus miquihuanensis;* derecha, *Canis latrans*).

Conclusiones

Aunque la prueba de Chi-cuadrado no mostró diferencias estadísticas en el número de registros independientes entre el área incendiada y el área sin incendio ($P > 0.05$), se observó una mayor presencia de fauna en el área no incendiada. Esto podría atribuirse a que el área afectada por el fuego aún se encuentra en una etapa temprana de sucesión ecológica, y la vegetación no ha alcanzado el nivel de regeneración necesario para ofrecer un hábitat con la cobertura y recursos adecuados para la mayoría de las especies registradas en el área sin afectación. La subespecie *Odocoileus virginianus miquihuanensis* fue la única especie de mamífero registrada en el área incendiada, lo que evidencia su alta plasticidad ecológica. Además, su presencia sugiere que los cambios estructurales en la vegetación derivados del incendio podrían haberle resultado favorables, particularmente por el rebrote del chaparral de montaña, que constituye una fuente importante de alimento para esta especie. Por otro lado, se observó que el fototrampeo fue más complejo en el área incendiada, debido a la existencia de una red extensa de senderos y a las múltiples rutas de desplazamiento posibles para la fauna. Esta situación puede haber reducido la probabilidad de detección de algunas especies, lo que representa una limitación metodológica al considerar la comparación directa entre ambas áreas.

Referencias

Andrade, P. G. P., Gallina, S., Gómez-Valencia, B., & Lira-Noriega, A. (2020). Coexistencia de *Vulpes macrotis* y *Canis latrans* (Carnivora: Canidae) en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *91*.

Botello, F., Monroy, G., Illoldi-Rangel, P., Trujillo-Bolio, I., & Sánchez-Cordero, V. (2007). Sistematización de imágenes obtenidas por fototrampeo: una propuesta de ficha. *Revista mexicana de biodiversidad*, *78*(1), 207-210.

Contreras-Balderas, A. J., González-Rojas, J. I., García-Salas, J. A. & Ruvalcaba-Ortega, I. (2008). Nuevo León. En Ortiz-Pulido, R., Navarro-Sigüenza, A., Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O. y Peterson, A. T (Eds.), *Avifaunas Estatales de México* (pp. 165-198). Pachuca, Hidalgo, México: CIPAMEX.

Hernández, E., Reyna, H. R., Castillo, V. G., Sanvicente, L. M., y Moreira, R. J. F. (2015). Fototrampeo de mamíferos terrestres de talla mediana y grande asociados a petenes del noroeste de la península de Yucatán, México. Therya, 6(3), 559-574.

Ibarra, S. C., & Paz, T. O. (2013). Fauna. En Especies, Sociedad y Hábitat, A. C. (Eds.), *Participación Social y Capital Natural de Zaragoza, Nuevo León* (1ª ed., pp. 54-68). Monterrey, N.L: Instituto Nacional de Desarrollo Social, Programa de Coinversión Social.

Lira-Torres, I., y Briones-Salas, M. (2012). Abundancia relativa y patrones de actividad de los mamíferos de los Chimalapas, Oaxaca, México. Acta Zoológica Mexicana, 28(3), 566-585.

Mella-Méndez, I., Flores-Peredo, R., Pérez-Torres, J., Hernández-González, S., González-Uribe, D. U., & Del Socorro Bolívar-Cimé, B. (2019). Activity patterns and temporal niche partitioning of dogs and medium-sized wild mammals in urban parks of Xalapa, Mexico. *Urban Ecosystems*, *22*(6), 1061-1070.

Monroy, V. O., Zarco-González, M. M., Rodríguez-Soto, C., Soria-Díaz, L., y Urios, V. (2011). Fototrampeo de mamíferos en la Sierra Nanchititla, México: abundancia relativa y patrón de actividad. Revista de Biología Tropical, 59(1), 373-383.

Notario-Kumul, S. M., Guiascón, O. G. R., & Contreras, J. A. V. (2020). Mantenimiento de fauna silvestre durante la temporada de secas mediante parcelas de manejo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *23* (15), 1-12.

Quintana, D. L. E., Acevedo, M. C., Plese, T., Ruales, C. A. D., & Monsalve, S. (2016). Análisis de la biodiversidad de fauna vertebrada en una finca de Caldas, Antioquia. *Revista de Medicina Veterinaria*, (32), 51-63.

Rovero, F., Tobler., & M. Sanderson, J. (2010). Camera trapping for inventorying terrestrial vertebrates. In Eymann, J., Degreef, J., Häuser, C., Monje, J. C., Samyn, Y., y Vanden-Spiegel, D (Eds., vol 8., pp. 100-128*).* Manual on field recording techniques and protocols for all taxa biodiversity inventories and monitoring. Belgica: The Belgian National Focal Point to the Global Taxonomy Initiative.

MARIPOSA MONARCA (*Danaus plexippus*) EN MÉXICO

Rosana Escobedo Flores[1], José Antonio Hernández-Herrera [1]*, José Javier Ochoa Espinoza[1], Michelle Ivonne Ramos-Robles[1], Luis Manuel Valenzuela Núñez [2], Perpetuo Álvarez Vázquez[1], Eloy Alejandro Lozano Cavazos[1].

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. [2]Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad S/N, Fracc. Filadelfia C.P. 35020, Gómez Palacio, Durango, México. *Autor por correspondencia: heheja@yahoo.com

Introducción

La mariposa monarca (*Danaus plexippus*), también llamada mariposa del algodoncillo o *Monarch Butterfly*, es una especie de gran relevancia cultural, ecológica y biológica a nivel mundial. Además de su valor simbólico, desempeña un papel crucial como polinizador, por lo que su pérdida tendría consecuencias severas para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los que depende la vida en el planeta (Fisher et al., 2023).

Pertenece al orden Lepidoptera, familia Nymphalidae y género *Danaus* (CONANP, 2010). Es reconocida globalmente por su migración anual, un fenómeno único entre las mariposas, que abarca cerca de 4,800 kilómetros desde el sureste de Canadá y el norte de Estados Unidos hasta los bosques de oyamel en México, donde hiberna durante el invierno (US Forest Service, 2024). Este proceso migratorio enfrenta importantes amenazas, como la pérdida de hábitat reproductivo, el cambio climático y el uso intensivo de agroquímicos (Wilcox et al., 2019). Al finalizar el invierno, las poblaciones se reactivan, se aparean y emprenden el regreso hacia el norte y el este en busca de algodoncillo, planta indispensable para la puesta de huevos y el desarrollo de nuevas generaciones. Así, los individuos que sobreviven al viaje, la depredación y las bajas temperaturas invernales son responsables de asegurar la continuidad del ciclo migratorio (Monarch Watch, 2024).

La conservación de esta especie requiere no solo de investigaciones científicas, sino también de la participación activa de la sociedad. En este sentido, plataformas como Naturalista han fortalecido el registro de observaciones, mientras que programas como Correo Real en México y Monarch Watch en Estados Unidos y Canadá han contribuido a identificar rutas migratorias, sitios de descanso y plantas de alimentación esenciales para su supervivencia (Naturalista, 2024; Monarch Watch, 2024; Profauna, 2024). En este contexto, el estudio de la presencia y desplazamiento de la mariposa monarca en México resulta fundamental para comprender sus patrones migratorios, definir estrategias de conservación y garantizar la persistencia de sus principales sitios de hibernación en los bosques de Michoacán y el Estado de México.

Materiales y métodos

Se recopilaron 11,304 registros de presencia de mariposa monarca (*Danaus plexippus*) a nivel nacional a partir de la plataforma Naturalista, considerando únicamente observaciones con grado de investigación. Los datos se agruparon en tres periodos: otoño (octubre-noviembre), invierno (diciembre-febrero) y primavera (marzo-abril). Como variables ambientales se incluyeron datos de velocidad del viento (m s^{-1}) provenientes de WorldClim, con resolución espacial de ~340 km^2, correspondientes a los meses de octubre a abril. Con esta información se realizó la modelación de la distribución potencial de la especie mediante con Maxent v.3.4.4.

Los mapas generados se procesaron en QGIS para su representación cartográfica a nivel nacional, generando salidas vectoriales que muestran la probabilidad de presencia de la especie en los distintos periodos analizados.

Resultados y discusión

La ciencia ciudadana, apoyada por la validación de curadores voluntarios en plataformas como Naturalista, contribuye al conocimiento del proceso migratorio de la mariposa monarca al generar datos confiables que complementan la investigación científica (Naturalista, 2024)

Los registros de presencia de mariposa monarca (*Danaus plexippus*) se concentraron principalmente en zonas urbanas, lo que refleja una mayor accesibilidad y frecuencia de registros fotográficos en estos entornos como en la Figura 1 en las cercanías a la Ciudad de Saltillo, Coahuila. Este proceso, en el que millones de individuos recorren alrededor de 4,300 km desde Canadá y Estados Unidos hasta los bosques de oyamel del centro de México, donde encuentran refugio invernal (Culbertson et al., 2022). Además de su relevancia ecológica como indicador de la salud de los ecosistemas, la migración de la mariposa monarca representa un fenómeno cultural y biológico de gran importancia para la región.

Figura 3. Ejemplares de mariposa monarca en el Bajío del campus Saltillo UAAAN, 2024.

La migración de la mariposa monarca inicia en agosto, registrándose su arribo a México a partir de septiembre. El ingreso ocurre por los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, continuando hacia San Luis Potosí, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y el Estado de México. A lo largo de la trayectoria, los individuos aprovechan las corrientes de viento que facilitan su desplazamiento y se alimentan de néctar proveniente de flores silvestres y especies cultivadas Los resultados del modelado indican que la migración de la mariposa monarca sigue una trayectoria paralela a la Sierra Madre Oriental y el Altiplano, aprovechando los vientos asociados a frentes fríos que facilitan el desplazamiento hacia los bosques de oyamel del Estado de México y Michoacán (SEMARNAT, 2016) como se observa en la Figura 2. Durante el trayecto, las mariposas dependen de recursos florales que proveen néctar y de condiciones climáticas adecuadas para su descanso y orientación, lo que subraya la importancia de conservar corredores biológicos a lo largo de la ruta.

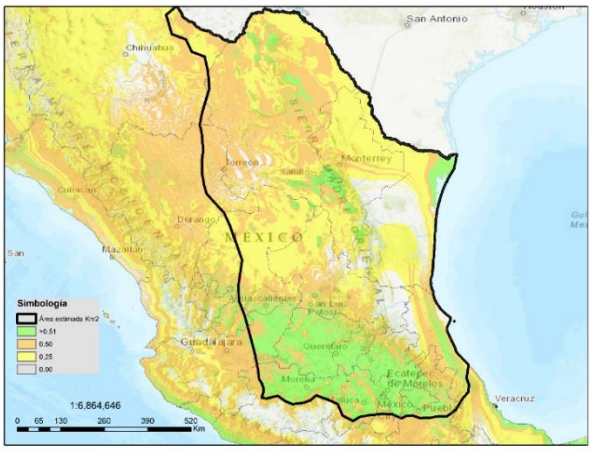


Figura 2. Mapa de probabilidad de presencia de los individuos de mariposa monarca de octubre y noviembre 2024.

Durante el invierno (diciembre-febrero), la mayoría de los individuos de mariposa monarca se concentra en la porción montañosa del Estado de México y Michoacán, especialmente en los bosques de oyamel del Eje Neovolcánico Transversal, incluyendo las reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, en las localidades El Rosario, Sierra Chincua, Piedra Herrada, La Mesa y Cerro Pelón en los estados de Michoacán y Estado de México, mientras que en menor medida se registran en otros estados de México (CONABIO, 2021) como se observa en la Figura 3.

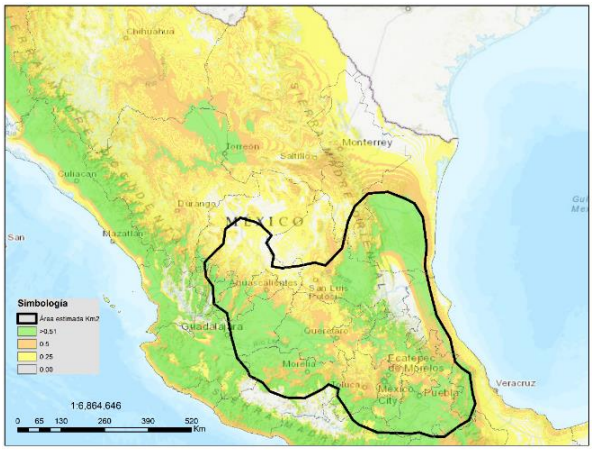


Figura 3. Mapa de probabilidad de presencia de los individuos de mariposa monarca de diciembre a febrero.

Con la llegada de la primavera, las mariposas monarca inician su regreso hacia sus áreas de reproducción en Estados Unidos y Canadá, siguiendo rutas similares a la migración de otoño a través del Altiplano Mexicano y las Sierras Madre Oriental y Occidental, lo que resulta crucial para la continuidad de la especie, registrando su presencia en los estados del norte y siguiendo la misma trayectoria de llegado en otoño como se observa en la Figura 4. Solo el 10 % de las mariposas monarca nacen en México, lo que resalta la importancia de sus ecosistemas locales como refugios invernales y sitios clave para la reproducción y conservación de la especie (Miller et al., 2012).

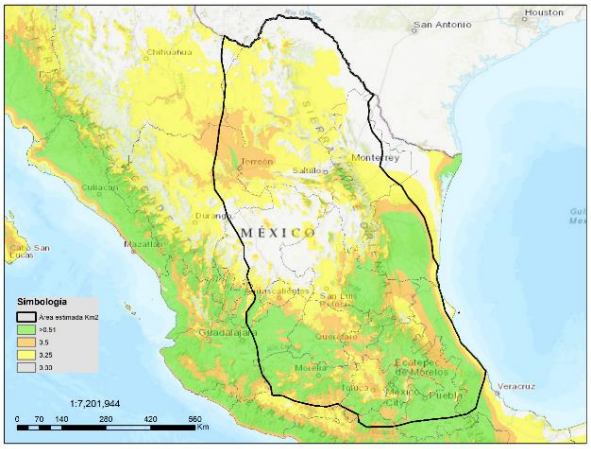


Figura 4. Mapa de probabilidad de presencia de los individuos de mariposa monarca de marzo y abril.

Conclusiones

La migración de la mariposa monarca en México sigue principalmente el altiplano central, guiada por las Sierras Madre Oriental y Occidental y apoyada por las corrientes de viento estacionales. Durante su trayecto la especie depende de corredores ecológicos con disponibilidad de néctar y sitios adecuados de descanso. Este fenómeno constituye no solo un indicador del estado de los ecosistemas, sino también un proceso clave para la conservación de la biodiversidad. La protección de hábitats urbanos, rurales, así como la mitigación de amenazas como el cambio climático, la contaminación y el uso de agroquímicos, resulta fundamental para garantizar la persistencia de la especie y de su migración anual.

Referencias

Conabio. (2021). *La monarca | Biodiversidad Mexicana*. Biodiversidad Mexicana. Recuperado de https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/espPrioritaria/monarca/la-monarca

CONANP. (2010). *Monitoreo de las colonias de hibernación de la mariposa monarca (Danaus plexippus) en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. Recuperado el 20 de noviembre de 2024, de https://www.conanp.gob.mx/acciones/fichas/mariposa/info/info.pdf

Culbertson, K. A., Garland, M. S., Walton, R. K., Zemaitis, L., & Pocius, V. M. (2022). Long-term monitoring indicates shifting fall migration timing in monarch butterflies (*Danaus plexippus*). *Global Change Biology, 28*(3), 727-738.

Fisher, K. E., Snyder, B. R., & Bradbury, S. P. (2023). Blooming Forbs Utilized by Breeding-Season *Danaus plexippus* in the USA North-Central Region. *The Journal of the Lepidopterists' Society, 77*(1), 29-42.

Miller, N. G., Wassenaar, L. I., Hobson, K. A., & Norris, D. R. (2012). Migratory connectivity of the monarch butterfly (*Danaus plexippus*): patterns of spring re-colonization in eastern North America. *PLoS One, 7*(3), e31891.

Monarchwatch. (2024). Monarch migration. https://www.monarchwatch.org/

Naturalista, 2024. Mariposa Monarca Danaus plexippus. https://mexico.inaturalist.org/taxa/48662-Danaus-plexippus.

Profauna. (2024). Programa Correo Real. Correo Real. https://www.correoreal.mx/

SEMARNAT. (2016). *Santuario de la Mariposa Monarca*. Recuperado de https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/santuario-de-la-mariposa-monarca

US Forest Service. (2024). Monarch butterfly migration and overwintering. United States Department of Agriculture. https://www.fs.usda.gov/wildflowers/pollinators/Monarch_Butterfly/migration/index.shtml

Wilcox, A. A., Flockhart, D. T., Newman, A. E., & Norris, D. R. (2019). An evaluation of studies on the potential threats contributing to the decline of eastern migratory North American monarch butterflies (*Danaus plexippus*). Frontiers in Ecology and Evolution, 7, 99.

COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN CUATRO VARIEDADES DE TUNA (*Opuntia* spp.)

Diana M. Alemán-Villa[1], Adriana Delgado-Alvarado[2], Margarita Torres-Aquino[1*], Clara Lourdes Tovar-Robles[3], Ernesto Peredo-Rivera[1]

[1]Colegio de Posgraduados Campus San Luis Potosí, Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. México. [2] Boulevard Forjadores de Puebla No. 205, Santiago Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México. [3]Av. Universidad # 940, Ciudad Universitaria, Aguascalientes, Ags. México. *Autor de correspondencia: maquino@colpos.mx

Introducción

La tuna (*Opuntia* spp.) es una fruta de la familia Cactaceae cultivada en regiones áridas y semiáridas del mundo, reconocida por su alto valor medicinal y nutritivo, además de su importancia económica para países en desarrollo y por ser el sexto cultivo frutícola de México (Villa-Jaimes et al., 2023; Enciso et al., 2021; Ochoa y Barbera, 2018). Su relevancia se debe principalmente a la presencia de compuestos bioactivos con efectos fisiológicos benéficos, como la prevención de enfermedades crónicas (Villa-Jaimes et al., 2023).

Entre estos compuestos destacan las betacianinas, pigmentos responsables del color rojo de algunas especies, por ejemplo *O. robusta* y *O. streptacantha* (González-Ponce et al., 2020), que mantienen su estabilidad durante la digestión y poseen propiedades antioxidantes (Lazcano-Hernández et al., 2023); los fenoles, con actividad antioxidante y antimicrobiana (Madrigal-Santillán et al., 2022; Mena et al., 2018); los flavonoides, con efectos antiinflamatorios, anticancerígenos y cardioprotectores (Chávez-Santoscoy et al., 2009); y la vitamina C, un antioxidante potente que protege a las células del daño oxidativo (Pulido-Hornedo et al., 2022; Thair et al., 2019).

La composición química de la tuna es variable y depende de la especie o variedad, el manejo agronómico y el estado de madurez del fruto. Esta última condición es especialmente relevante porque la tuna es una fruta no climatérica: a diferencia de otras, no continúa su proceso de maduración tras la cosecha, por lo que es fundamental recolectarla en el punto óptimo para garantizar su calidad sensorial y su perfil de compuestos bioactivos (Piga, 2004; Duru y Turker 2005). Además, la distribución de estos metabolitos secundarios varía entre la pulpa, la cáscara y las semillas (Lazcano-Hernández et al., 2023), lo que amplía su potencial como fuente de productos funcionales y nutracéuticos.

Con base en estas consideraciones, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el contenido de compuestos bioactivos en la pulpa y evaluar la capacidad antioxidante de cuatro variedades de tuna cultivadas en tres localidades del municipio de Salinas, San Luis Potosí, México.

Materiales y métodos

Se estudiaron cuatro variedades: Cardona (*Opuntia streptacantha*), Naranjona (*O. megacantha*), Cristalina y Fafayuca (*O. albicarpa*). Los frutos se recolectaron en madurez de consumo en huertos de autoconsumo (< 500 m²) y comerciales (> 500 m²) en Salinas de Hidalgo, La Reforma y Diego Martín. La pulpa se separó, se congeló a –20 °C y se prepararon extractos para cuantificar:

Fenoles totales y flavonoides: método Folin-Ciocalteu y quercetina, respectivamente (Viveros-Antonio et al. 2019)., Vitamina C: ensayo enzimático L-ascorbato (L-AA); (Cat. no. K-ASCO 04/19, Megazyme Ltd.)., Betalaínas: lectura por espectrometría a 480 y 538 nm. (Aparicio-Fernández et al. 2017)., Clorofila a y b: método de Lichtenthaler (1987)., Capacidad antioxidante: ensayos DPPH (Brand-Williams et al. (1995) y ORAC (Cao et al. 1993).

En lector multimodo espectral de microplacas (Thermo Scientific Varioskan Flash). Se realizaron estadísticas descriptivas como la media y su respectivo error estándar, en cuanto a las variables respuesta, se consideró realizar transformaciones potenciales Box-Cox puesto que los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se cumplieron. Posteriormente se realizó un modelo lineal generalizado (GLM) jerárquico el cual se acompañó de las pruebas de comparaciones múltiples post hoc de Tukey, considerando significativo aquellos valores menores a 0.05. Se utilizó el paquete Statistica versión 7 (2004) para la obtención de los resultados y el software Sigma Plot, en su versión 10.0 para la elaboración de las figuras.

Resultados y discusión

La variedad Cardona de Salinas de Hidalgo presentó el mayor contenido de fenoles totales (47.76 mg EAG 100 g^{-1} MF) y betalaínas (16.99 mg 100 g^{-1} MF), asociándose a una alta capacidad antioxidante (DPPH: 1065.30 µmol ET 100 g^{-1} MS) (Figura 1 A, Cuadro 1). La variedad Cristalina de Diego Martín mostró el mayor contenido de clorofila total (16.16 mg g^{-1} MF) y actividad ORAC elevada (155.70 µmol ET 100 g^{-1} MS). Se observaron diferencias significativas en vitamina C, con valores destacados en Fafayuca (25.08 mg mL^{-1} MF) (Figura 1C).

Los resultados confirman que la variedad y la localidad de cultivo determinan la acumulación de metabolitos secundarios (Figura 1). Las tunas de Salinas poseen perfiles antioxidantes comparables o superiores a los reportados en otras regiones (Monroy-Gutiérrez et al., 2017), lo que refuerza su potencial como alimentos funcionales y fuente de compuestos con valor nutracéutico.

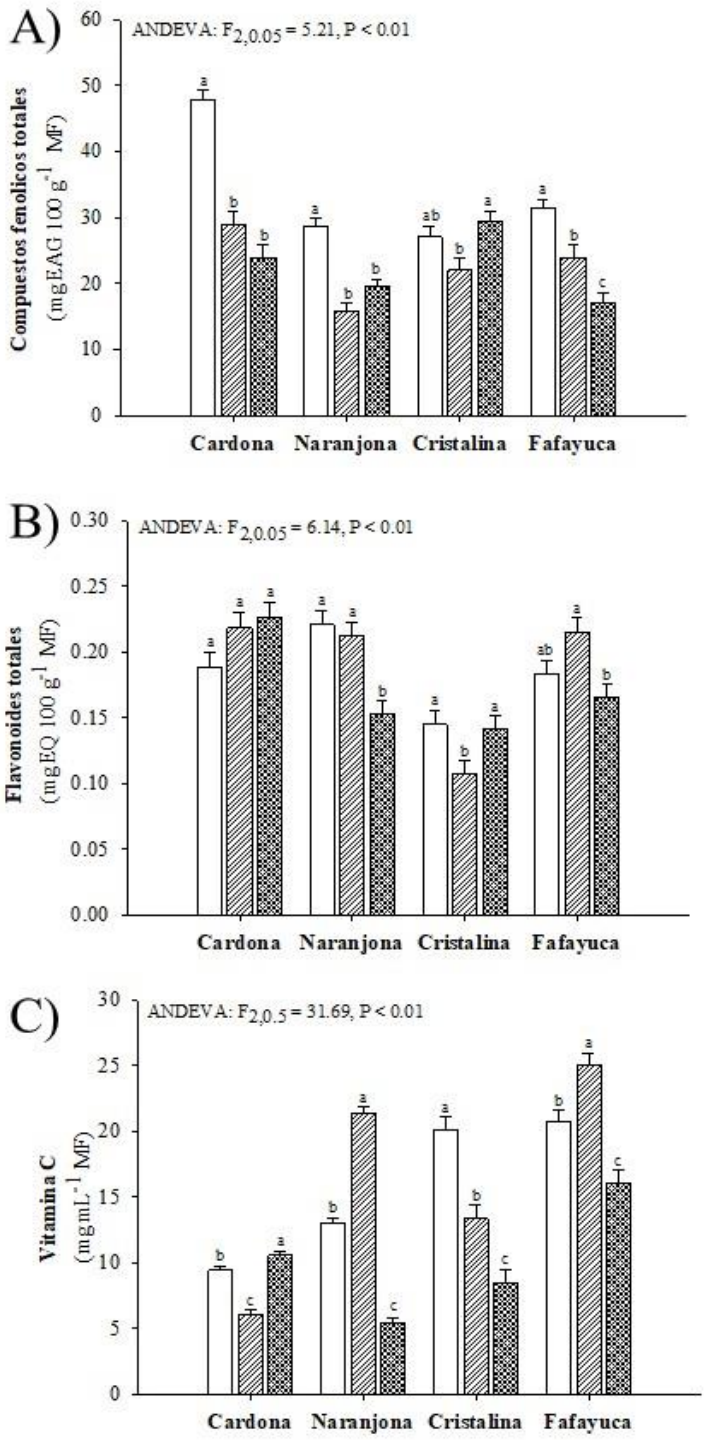


Figura 4. Concentración de A) compuestos fenólicos totales (CFT), B) Flavonoides totales y C) Vitamina C en pulpa de cuatro variedades de tuna de las localidades de Salinas de Hidalgo (▭), La Reforma (▨) y Diego Martin (▩) del Municipio de Salinas, San Luis Potosí. las medidas que no comparten una letra son significativamente diferentes con base en la prueba de post hoc de Tukey (α=0.05).

Cuadro 1. Comparación de capacidad antioxidante por ensayo ORAC y ensayo DPPH con base en la media ± error estándar, considerando los factores variedad: Cardona (C), Naranjona (N), Cristalina (Cr) y Fafayuca (F) y localidad: Salinas de Hidalgo (SH), La Reforma (LR) y Diego Martin (DM).

Variedad	Localidad	DPPH (µmol ET 100 g-1 MS) Media ± *E.E.*	ORAC (µmol ET 100 g-1 MS)
Cardona	SH	1065.30a ± 18.84	78.14a ± 2.59
	LR	527.63b ± 32.80	76.19a ± 3.83
	DM	234.27 c ± 8.84	73.04a ± 3.42
Naranjona	SH	822.27a ± 39.73	151.97 a ± 2.36
	LR	689.53b ± 32.26	127.39 b ± 3.37
	DM	662.32b ±19.42	108.61 c ± 3.12
Cristalina	SH	903.59a ± 31.88	167.10 a ± 3.45
	LR	970.63a ± 37.58	87.60 b ± 4.61
	DM	989.13a ± 24.04	155.70 a ± 4.95
Fafayuca	SH	694.69a ± 21.70	74.08 a ± 3.43
	LR	727.27a ± 31.29	68.18 a ± 2.96
	DM	690.64a ± 19.63	75.53 a ± 3.41

Conclusiones

La composición química y la capacidad antioxidante de las tunas dependen de la interacción entre variedad y condiciones agroecológicas. Las variedades Cardona y Cristalina destacan por su alto contenido de compuestos bioactivos y su potencial para el desarrollo de alimentos funcionales y productos nutracéuticos.

Referencias

Aparicio-Fernández, X., Loza-Cornejo, S., Torres-Bernal, M. G., Velázquez-Placencia, N. J., & Arreola-Nava, H.J. (2017). Características fisicoquímicas de frutos de variedades silvestres de *Opuntia* de dos regiones semiáridas de Jalisco, México. Revista Polibotánica, (43), 219-244.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food science and Technology, 28 (1), 25-30.

Chávez-Santoscoy, R.A., Gutiérrez-Uribe, J.A. & Serna-Saldívar, S.O. (2009). Phenolic composition, antioxidant capacity and in vitro cancer cell cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia* spp.) juices. Plant foods for human nutrition, 64 (2), 146-152.

Duru, B., & Turker, N. (2005). Changes in physical properties and chemical composition of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) during maturation. Journal of Plant Aspects in Crop Development, 6(2), 285-296. https://doi.org/10.56890/jpacd.v7i.285

Enciso, E.C., Aguilar, E.J., Común, P.W., & Tinco, J.A. (2021). Actividad antiinflamatoria y antioxidante de tres variedades de *Opuntia ficus-indica* "Tuna". Revista de la Sociedad Química del Perú. 87 (3), 207-216, 208.

González-Ponce, H.A., Martínez-Saldaña, M.C., Tepper, P.G., Quax, W.J., Buist-Homan, M., Faber, K.N., & Moshage, H. (2020). Betacyanins, major components in *Opuntia* red-purple fruits, protect against acetaminophen-induced acute liver failure. Food Research International, (137), 109461. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109461

Lazcano-Hernández, C. Y., Hernández-Hernández, A. A., García-Curiel, L., Pérez-Escalante, E., Contreras-López, E., & Pérez-Flores, J. G. (2023). Extracción de compuestos bioactivos a partir de los subproductos de la tuna (*Opuntia ficus-indica* spp.): Tendencias y aplicaciones recientes en alimentos. Revista Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 8 (1), 785-794.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In Methods in Enzymology, (148), 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Madrigal-Santillán, E., Portillo-Reyes, J., Madrigal-Bujaidar, E., Sánchez-Gutiérrez, M., Mercado-González, P.E., Izquierdo-Vega, J. A., … & Morales-González, J.A. (2022). *Opuntia* genus in human health: A

comprehensive summary on its pharmacological, therapeutic and preventive properties. Part 1. Horticulturae. 8 (2), 88.

Mena, P., Tassotti, M., Andreu, L., Nuncio, N., Legua, P., Del Rio, D., & Hernández, F. (2018). Phytochemical characterization of different prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) cultivars and botanical parts: UHPLC-ESI-MSn metabolomics profiles and their chemometric analysis. Food Research International, (108), 301-308.

Monroy-Gutiérrez, T., Martínez-Damián, M. T., Barrientos-Priego, A. F., Gallegos-Vázquez, C., Cruz-Alvarez, O. & Vargas-Madríz, H. (2017). Bioactive compounds and antioxidant capacity in fruits of xocotuna, cactus pear and xoconostle (*Opuntia* spp.) Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, 33 (3): 263-272.

Ochoa, M. J. & Barbera, G. (2018). Historia e importancia agroecológica y económica del nopal. In: Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Ed. FAO, Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas. Italia, 1-11.

Piga, A. 2004. Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. Journal of the professional association for Cactus development,.6, 9-22.

Pulido-Hornedo, N.A., Ventura-Juárez, J., Guevara-Lara, F., González-Ponce, H.A., Sánchez-Alemán, E., Buist-Homan, M., …& Martínez-Saldaña, M.C. (2022). Hepatoprotective effect of *Opuntia robusta* fruit biocomponents in a rat model of thioacetamide-induced liver fibrosis. Plants, 11 (15), 1-23.

Thair, H.E., Xiaobo, Z., Komla, M.G. & Mariod, A.A. (2019). Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica* (*L.*) *Mill*) as a source of bioactive compounds. In Wild fruits: composition nutritional value and products (pp. 333-358). Cham: Springer International Publishing.

Villa-Jaimes, G.S., Moshage, H., Avelar-González, F.J., González-Ponce, H.A., Buist-Horman, M., Guevara-Lara, F., … & Martínez-Saldaña, M. C. (2023). Molecular and antioxidant characterization of *Opuntia robusta* fruit extract and its protective effect against diclofenac-induced acute liver injury in an in vivo rat model. Antioxidants, 12 (1), 113.

Viveros-Antonio, C., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., de Lourdes Arévalo-Galarza, M., & Hernández-Ruíz, J. 2019. Tamizaje y cuantificación de fitoquímicos en *Vanilla pompona* bajo dos ambientes. Revista Interciencia*, 44 (10):* 571-578.

APROVECHAMIENTO DE PLANTAS DE ZONAS ÁRIDAS PARA LA ELABORACIÓN DE JABONES ARTESANALES: PERFIL DEL CONSUMIDOR Y ACEPTACIÓN EN EL MERCADO

María Belén López-Cisneros[1*], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Gómez Palacio – Chihuahua. C.P. 35230 Bermejillo, Durango. *Autor de correspondencia: al20112894@chapingo.mx

Introducción

Las zonas áridas ocupan aproximadamente el 40% de la superficie terrestre. En dichas regiones la disponibilidad hídrica es la mayor limitante ya que hay gran variabilidad en las precipitaciones, sin embargo, se le considera como un importante bioma (Martínez-Valderrama et al., 2022). México, se sitúan especies vegetales con una gran adaptabilidad en cuanto al estrés ambiental, en este caso son representativos los agaves, la sábila, la gobernadora, el nopal y la manzanilla; al contar con un notable potencial como recursos genéticos. Existen estudios de algunas de estas plantas relacionados a su capacidad antioxidante y su aprovechamiento con un alto valor agregado (Carmona et al., 2017; Salas-Valdez et al., 2024); además, se ha documentado la importancia y el aprovechamiento que puede llegar a tener de manera tradicional (Reyes-Agüero et al., 2001).

El aprovechamiento de estas especies no solo permite innovar en productos con valor agregado, sino que también contribuye a la conservación de los recursos genéticos de las zonas áridas, cuya diversidad se encuentra amenazada por factores como el cambio climático y las prácticas de explotación no sustentable (Portillo et al., 2013). En este sentido, la elaboración de jabones artesanales a base de extractos vegetales representa una alternativa viable para vincular la tradición etnobotánica con la innovación sustentable, generando productos naturales de calidad con menor impacto ambiental (Limones-Rubio et al., 2016).

Finalmente, estudios previos han documentado la aceptación de este tipo de productos en comunidades locales y de igual manera en entornos educativos, resaltando la importancia de promover el consumo responsable de bioproductos que son derivados de plantas de zonas áridas (Salas-Valdez et al., 2024). Por ello, el presente trabajo propone el aprovechamiento de especies vegetales nativas para la elaboración de jabones artesanales, su evaluación respecto al perfil del consumidor y aceptación en el mercado como una estrategia de innovación sustentable y promoción del desarrollo comunitario.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el 2024 en el laboratorio de Biotecnología de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Se seleccionaron cinco especies características de zonas áridas de México: Gobernadora (*Larrea tridentata*), agave lechuguilla (*Agave lechuguilla*), sábila (*Aloe vera*), nopal (*Opuntia* spp.) y manzanilla (*Matricaria chamomilla*), elegidas por sus propiedades etnobotánicas y su potencial de aplicación en productos cosméticos.

Las muestras vegetales (hojas, tallos o extracto según la especie) se recolectaron en el municipio de Mapimí, sitios de distribución natural de las especies siguiendo los criterios de aprovechamiento sustentable de la NOM-007-RECNAT-1997 (DOF, 1997), tomando únicamente partes áreas necesarias para no comprometer la regeneración de los individuos.

Posteriormente, se procesaron mediante secado a temperatura ambiente y triturado para la obtención de polvo para mayor facilidad en la disolución con los demás productos. En el caso de especies con alto contenido de mucílago o gel (como sábila y nopal), los extractos frescos fueron filtrados y utilizados directamente.

Los jabones se elaboraron mediante el método de saponificación en frío, empleando glicerina como base, junto con aceites esenciales naturales. A cada lote se le adicionaron extractos vegetales (10% y 15% en peso). Se produjeron réplicas de cada formulación.

Una vez finalizado el proceso de curado, los jabones fueron empaquetados adicionando en el mismo, información del tipo de producto, del uso y de sus beneficios. Después, los jabones fueron distribuidos a un sector de la población de la comunidad de Bermejillo, Mapimí, Dgo. (adolescentes y adultos de entre 15 a 29 años), determinado por el Censo de INEGI (2020), teniendo un tamaño de muestra *n* de 30 personas usando la ecuación (1).

$$n = NZ^2/(N-1)d^2 + Z^2 \ldots.$$ (Ecuación 1)

Donde: n=Tamaño de muestra para efectuar la estimación simultanea de los parámetros, con la misma precisión relativa; d= precisión relativa con respecto a la desviación estándar (85%); Z=Confiabilidad deseada (1-∞); N=Tamaño de la población a muestrear.

Las personas seleccionadas al azar utilizaron los jabones durante un periodo de prueba de 15 días. Posteriormente, se aplicó una encuesta estructurada con el fin de evaluar su percepción respecto a las características organolépticas (color, aroma, textura) y funcionales (espuma, consistencia, durabilidad, sensación en piel).

Resultados y discusión

Las respuestas obtenidas permitieron identificar las características de la población encuestada, sus preferencias de consumo y la aceptación de estos productos.

En primer lugar, se indagó si las personas conocían el tipo de piel que poseen, observándose que la mayoría tiene claridad sobre esta característica (90%), mientras que un 10% no lo identifica con precisión (Figura 1).

En cuanto a los tipos de piel, la más frecuente fue la piel mixta (40%), seguida de la piel grasa (23%) y la piel seca (17%). En menor proporción se reportaron piel sensible (10%) y piel normal (10%). Esto sugiere que los jabones artesanales podrían enfocarse principalmente en pieles mixtas y grasas, pues abarca a la mayoría de los usuarios (Figura 2).

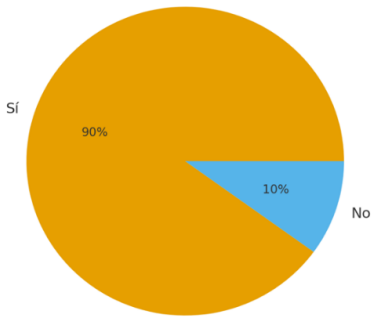


Figura 1. Conocimiento sobre el tipo de piel. Elaboración propia con base en los resultados de la encuesta (2024).

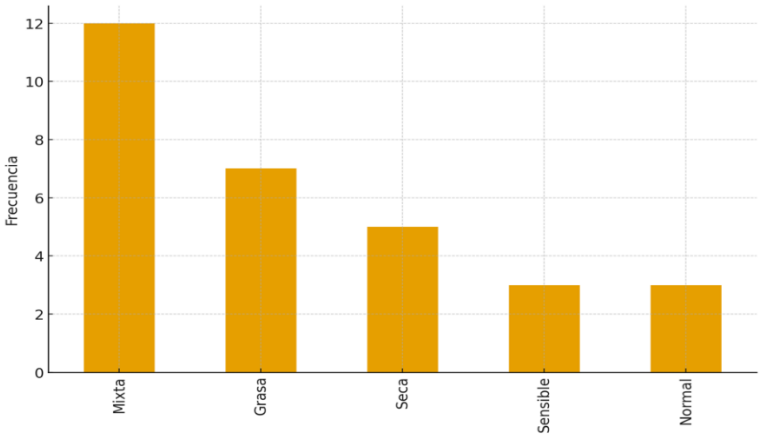


Figura 2. Frecuencia de los tipos de piel.

La sensación en la piel fue uno de los factores que era importante saber al usar el jabón artesanal. Las sensaciones que predominan después del jabón fueron: hidratación/humectación (33%), seguida de suavidad (30%). En menor proporción se reportaron resequedad (17%), irritación o ardor (10%), y sensación de grasa (10%) (Figura 3). En general, los jabones artesanales produjeron efectos positivos en la piel de la mayoría de encuestados, aunque hay una minoría que experimenta efectos adversos menores que podrían atenderse con mejoras en formulación o indicaciones de uso.

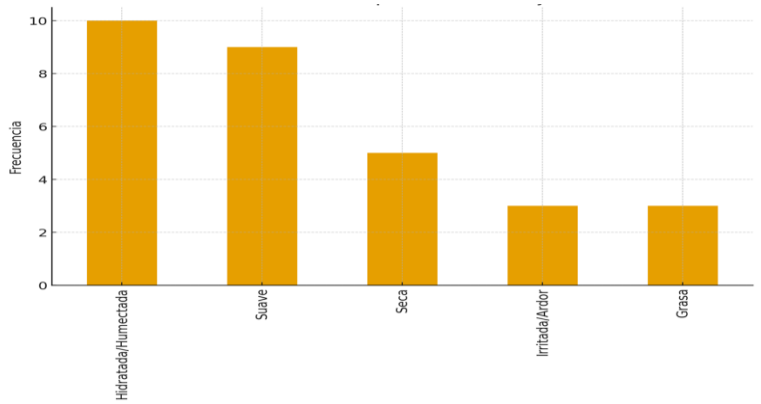


Figura 3. Sensación de la piel después de usar el jabón artesanal.

En cuanto al precio que estarían dispuestos a pagar por el jabón artesanal, considerando su eficacia y presentación, se obtuvo un rango de precio de entre 31 y 50 pesos mexicanos.

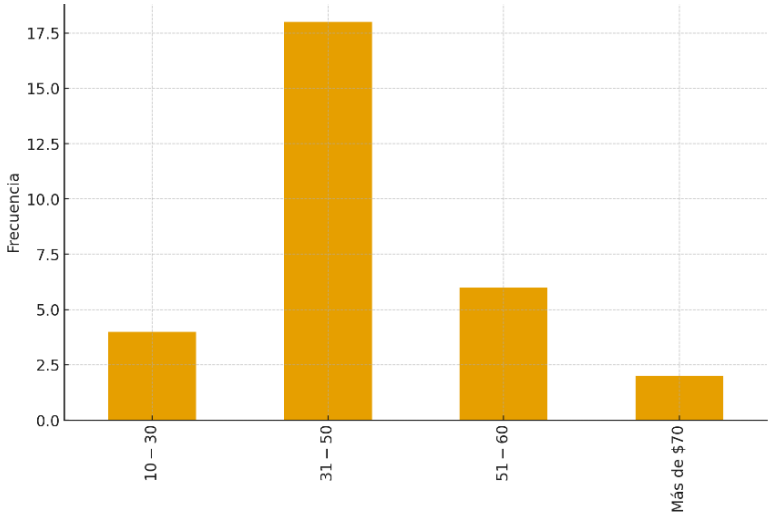


Figura 4. Rango de precios que las personas estarían dispuestos a pagar por un jabón artesanal. Los valores corresponden a las categorías de precio establecidas en la encuesta en pesos mexicanos.

Respecto a la disposición de cambiar los jabones que la personas usan por alguno artesanal, el 77% sí estaría dispuesto a cambiarlo; las razones principales fueron por los beneficios de la piel que observaron (42%), por los ingredientes naturales contenidos (31%) y por su calidad (15%). Además, el 93% de las personas indicaron que recomendarían el uso de jabones artesanales a base de plantas de zonas paridas.

Los resultados mostraron que los jabones artesanales elaborados con especies de zonas áridas (gobernadora, agave lechuguilla, sábila, nopal y manzanilla) presentan alta aceptación entre los consumidores. La percepción positiva de propiedades hidratantes y suavizantes concuerda con lo documentado en la literatura obre el uso tradicional y cosmético de estas plantas (Salas-Valdez et al., 2024).

Aunque algunas personas reportaron efectos adversos (resequedad, acné), estos casos fueron minoritarios (menor al 6%) y sugiere la necesidad de ajustar las proporciones de extracto vegetal en la formulación, en especial en especies con compuestos más astringentes como la gobernadora.

La alta disposición al sustituir jabones comerciales por los artesanales refleja una oportunidad de aprovechamiento sustentable de los recursos genéticos de zonas áridas, ya que no solo se promueve el valor agregado de la biodiversidad local, sino que también se fomenta el desarrollo de productos con potencial económico en comunidades rurales.

Conclusión

La elaboración de jabones artesanales con base de plantas de zonas áridas demuestra ser una alternativa viable para generar productos cosméticos con valor agregado, derivados de recursos locales. La buena aceptación por parte de las personas encuestadas refleja el potencial de estos productos no solo en términos de funcionalidad, sino también en su capacidad de vincular el conocimiento tradicional con prácticas de innovación sustentable.

Referencias

Carmona, J. E., Morales-Martínez T. K., Mussatto, S. I., Castillo-Quiroz, D., & Ríos-González L. J. (2017). Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.). *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, *8*(42). https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i42.21

DOF. (1997). NOM-007-RECNAT-1997: Procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de ramas, hojas o pencas, flores, frutos y semilla. https://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4881530&fecha=30/05/1997&cod_diario=209324

INEGI (2020). Censo de población y vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

Limones-Rubio, D., Aguirre-Ureña, E.A., Fonseca-Espino, J, Muro-Pérez, G. y Sánchez-Salas J. (2016). Aprovechamiento de las recursos maderables y no maderables de la zona semiárida de Durango, En: Diversidad biológica de la Comarca Lagunera. Universidad Juárez del Estado de Durango.

Martínez-Valderrama, J., Guirado, E., & Maestre, F. T. (2022). Introducción: Zonas Áridas. Oportunidades, retos y amenazas. Mètode: Revista de difusión de la investigación de la Universidad de València. https://metode.es/revistas-metode/monograficos/introduccion-zonas-aridas-oportunidades-retos-y-amenazas.html

Portillo, L., Vigueras, A. L., & Soltero, R. (Eds.). (2013). Biotecnología de zonas áridas, Universidad de Guadalajara. https://isbn.cloud/9786075072852/biotecnologia-de-zonas-aridas/

Reyes Agüero, J. A., et al. (2001). Biología y aprovechamiento de Agave lechuguilla Torr. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 67, 75-88.

Salas-Valdez, R., Chávez-González, M. L., Martínez-Hernández, J. L., & Torres-León, C. (2024). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, *11*(66), 1-24. https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/p._semidesierto_coah._1_riiit_div_ene-feb_2024.pdf

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE CACTÁCEAS spp. UTILIZANDO LA REGIÓN PLASTÍDICA matK

Flor Cristina Pacheco Reyes[1*], Ana Luisa Gómez Espejo[1],
Miguel Ángel Pérez Rodríguez[1], Lihua Wei[2]

[1]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. [2]Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Reynosa, Tamaulipas, México. Autor por correspondencia: flor.pachecoreyes@gmail.com

Introducción

Las cactáceas (familia Cactaceae) son plantas representativas y adaptadas a ambientes áridos y semiáridos del continente americano (Anderson, 2001). México es reconocido como centro de origen y diversificación de la familia, albergando aproximadamente el 30-35% del total de especies conocidas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991; Arias et al., 2015). Específicamente la región norte del país se caracteriza por las zonas desérticas y semidesérticas como el Desierto Chihuahuense o la región de Sonora-Baja California, en esta región existe una gran diversidad de cactáceas, muchas de ellas endémicas o microendémicas. La alta tasa de endemismo, combinada con presiones antropogénicas crecientes, ha resultado en que un porcentaje alarmante de especies se encuentre bajo alguna categoría de riesgo. Aproximadamente 400 especies de cactáceas se encuentran enlistadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), y muchas figuran en las listas rojas de la UICN (IUCN, 2023). Para el desarrollo de estrategias de conservación efectivas es indispensable la integración de datos de distribución, evaluaciones de amenazas o la generación de información derivada de caracterizaciones moleculares. En este sentido, la biología molecular ha revolucionado el estudio y la conservación de las cactáceas, proporcionando herramientas poderosas para abordar preguntas no resueltas basadas en la morfología tradicional. La tecnología de código de barras de ADN hace uso de diferentes marcadores moleculares como genes nucleares (ITS) o del cloroplasto (*rbcL* o *matK*); estos han sido cruciales para resolver relaciones filogenéticas complejas dentro de la familia Cactaceae, redefinir géneros o especies y clarificar la historia evolutiva del grupo (Hernández-Hernández et al. 2011; Majure et al. 2012). Esto es especialmente relevante en grupos con alta variabilidad morfológica y plasticidad fenotípica. El objetivo del trabajo de investigación se centró en la caracterización molecular de especies de cactáceas utilizando marcadores de genes del cloroplasto (*matK*) para evaluar su poder discriminatorio.

Materiales y métodos

Colecta de muestras vegetales. Se colectaron 17 especies de cactáceas, representadas por al menos dos individuos (un total de 49 muestras), en la región sureste del estado de Coahuila. Se cortaron aproximadamente <1 g de partes vegetativas frescas, la cuales fueron colocadas en alcohol de 96º. Para los comprobantes de herbario, las plantas se identificaron morfológicamente *in situ* y se tomaron fotografías las cuales se depositaron en el Herbario Antonio Narro, Saltillo, México (ANSM).

Extracción, amplificación y secuenciación de ADN. La extracción de ADN genómico se realizó mediante el método modificado de CTAB (Sharma et al. 2003). La concentración y calidad del ADN extraido se realizó mediante electroforesis en gel de agarosa al 0.8%. El ADN se conservó a -20 ºC para su análisis posterior.

La amplificación por PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) se realizó utilizando la mezcla comercial GoTaq Green Master Mix, 2XTM (Promega, USA), siguiendo las especificaciones del fabricante y con los cebadores *matK* diseñados (Mma-F: TAGTTTTCGGTCTAATTTGAAA y Mma-R: ATAGATTCTTCTTGGTTGAGA). El programa de PCR se describe a continuación: 95°C por 4 min; 35 ciclos de (94°C por 45 s; 56°C por 1 min; 72°C por 1 min); seguido de 72°C por 10 min; y una etapa final de 4°C. Los productos de PCR se verificaron por medio de una electroforesis en gel de agarosa (0.8%). Para la secuenciación se enviaron 300 ng de producto de PCR de cada muestra al servicio de secuenciación Langebio, CINVESTAV (Irapuato, México).

Análisis bioinformatico. La calidad de las secuencias se verificó revisando los electroferogramas generados, con base en ello se delimitaron las regiones de calidad de cada secuencia y se procedió a un corte de extremos, con el archivo FASTA generado se realizó un alineamiento múltiple de secuencias con el cual se hizo el conteo de Sitios Variables (SV), Sitios Conservados (SC) y Sitios Informativos (SI).

La efectividad del poder discriminatorio del marcador se evaluó con el método basado en similitudes (BLAST) del sitio web del NCBI (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/). La discriminación de especies se consideró exitosa si se obtenía un valor de $E<1 \times 10^{-5}$ y aciertos máximos de 98 a 100 % con un individuo conespecífico.

También se realizó la construcción de un árbol de unión de vecinos cercanos con la finalidad de evaluar el desempeño discriminatorio mediante el cálculo de la proporción de especies (Saitou & Nei, 1987), el árbol sin raíz se realizó en MEGA X (Kumar et al. 2018 y Stecher et al. 2020), para la matriz de distancias se utilizó el método de 2 parámetros de Kimura (K2P) (Kimura, 1980). Se eliminaron las posiciones ambiguas para cada secuencia (opción de eliminación por pares). Las especies con múltiples individuos que formaron un clado monofilético en el árbol se consideraron identificadas con éxito.

Resultados y Discusión

Universalidad de los cebadores y características de las secuencias. En las muestras analizadas los cebadores utilizados tuvieron una amplificación del 92%. Por otro lado, la recuperabilidad de secuencias fue del 51%, cabe mencionar que este estudio incluyó únicamente secuencias que cumplieron con los parámetros de calidad necesarios para los análisis bioinformáticos. Diversos estudios han mostrado resultados contrastantes en la utilización de cebadores *matK*. Si bien algunos autores reportaron altas tasas de amplificación por PCR en diferentes grupos de plantas, la obtención de secuencias de calidad fue limitada (Kang et al. 2017; Kress et al. 2009). En cactáceas, Korotkova et al. (2011) mencionan una amplificación exitosa con cebadores *matK* y señalan que la secuenciación requiere un esfuerzo mayor comparado con el uso de otros marcadores. El análisis de calidad de las secuencias basado en el alineamiento múltiple arrojó una longitud de 590 pb alineadas, un total de 531 sitios conservados, 73 sitios variables y 44 sitios informativos.

Identificación de especies. Para la identificación de especies mediante BLAST se consideraron únicamente porcentajes de identificación por encima del 98%, el cuadro 1 muestra los resultados de búsqueda con la región *matK*. Del total de muestras analizadas el porcentaje de coincidencias a nivel de especie fue del 52%, 32% a nivel de género, las secuencias que coincidieron con más de un género o con diferentes especies se consideraron ambiguas (*Mammillaria chionocephala* y *Thelocacthus rinconensis rinconensis*), lo cual correspondió al 16%.

Otros autores han documentado una adecuada capacidad de identificación a nivel de género y especie mediante el uso del método BLAST, con porcentajes de éxito que oscilan entre el 45% y el 100% (Cabelin & Alejandro, 2016; J. Chen et al. 2015; Yang et al. 2017). Posiblemente un factor que afecta el éxito de identificación de especies es la disponibilidad de datos de secuencias de ADN en las bases de datos como BOLD y GenBank (Amandita et al. 2019).

Cuadro 1. Resultados de la búsqueda del gen *matK* en la base de datos Genbank.

No	Especie	% de Identificación	
		Género	**Especie**
1	*Astrophytum capricorne*		99.83
2	*Astrophytum capricorne*		100
3	*Astrophytum retusus*		99.66
4	*Coryphantha daeletiana*	100	
5	*Coryphantha daeletiana*	100	
6	*Echinocacthus horizonthanolius*		99.83
7	*Echinocacthus horizonthanolius*		100
8	*Echinocacthus horizonthanolius*		100
9	*Acharagma roseanum*		100
10	*Acharagma roseanum*		100
11	*Acharagma roseanum*		100
12	*Ferocacthus hamatacanthus*		99.8
13	*Ferocacthus hamatacanthus*		100
14	*Mammillaria chionocephala*	-	-
15	*Mammillaria heyderi*	100	
16	*Mammillaria heyderi*	100	
17	*Mammillaria heyderi*	100	
18	*Mammillaria pottsi*		100
19	*Mammillaria pottsi*		100
20	*Sclerocacthus scherii*	98	
21	*Sclerocacthus scherii*	98	
22	*Sclerocacthus scherii*	98	
23	*Thelocacthus rinconensis rinconensis*	-	-
24	*Thelocacthus rinconensis rinconensis*	-	-
25	*Thelocacthus rinconensis rinconensis*	-	-

El dendrograma obtenido mediante el método de unión de vecinos cercanos (Neighbor-Joining) mostró una representación gráfica de los resultados de discriminación de especies generados con la región *matK* (Fig. 1). A partir de este análisis, se consideró como identificación exitosa a aquellas especies que formaron clados genéricamente monofiléticos. Bajo este criterio, el poder discriminatorio alcanzado fue alto, dado que el 96% de secuencias analizadas formaron grupos monofiléticos, exceptuando una muestra de *Thelocactus rinconensis rinconensis* la cual no se agrupó dentro del clado correspondiente. Otros autores obtuvieron altos porcentajes de discriminación utilizando este método analítico (Amandita et al. 2019; Chen et al. 2010).

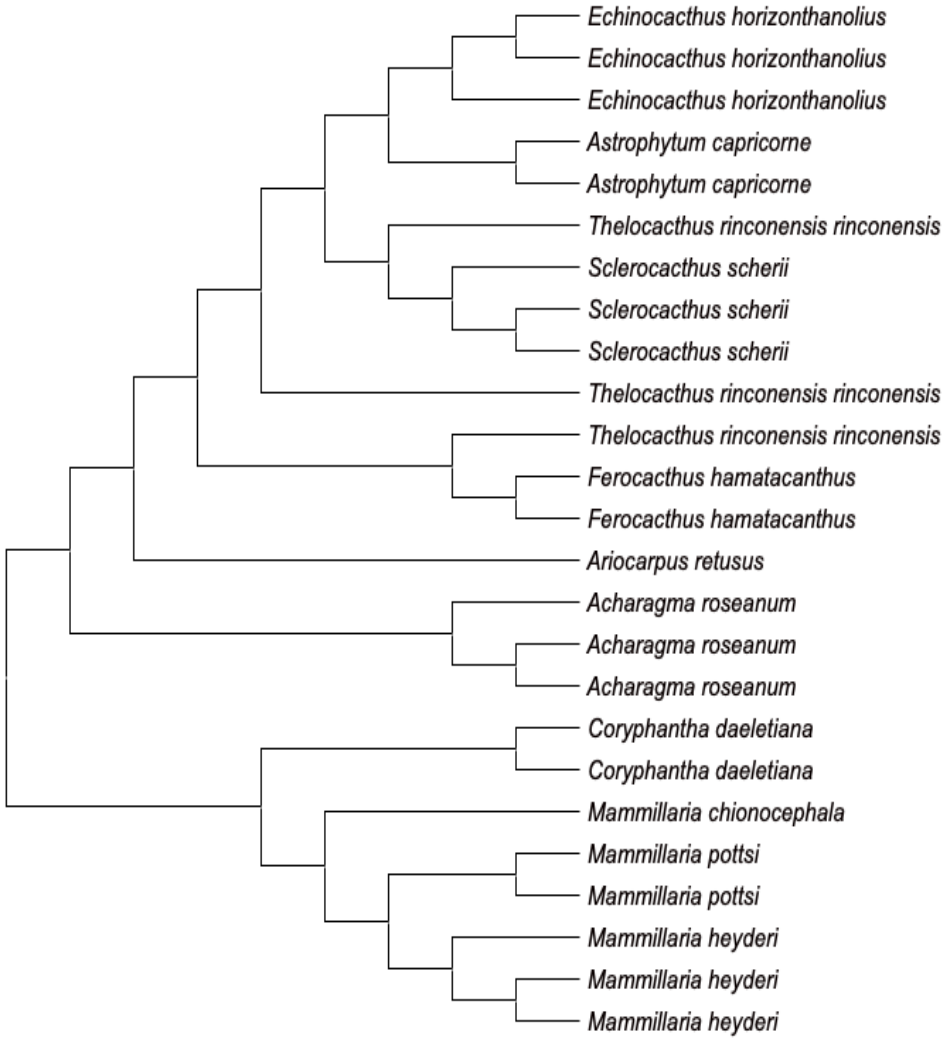


Figura 1. Topología del dendrograma utilizando 25 secuencias de cactáceas secuenciadas con una región del gen *matK*.

Conclusiones

En términos generales, los resultados de universalidad y poder discriminatorio obtenidos respaldan que la tecnología de códigos de barras de ADN constituye un método eficaz para la identificación de especies de cactáceas. No obstante, resulta indispensable ampliar las bases de datos moleculares incorporando especies representativas del taxón en estudio. Dichas bases de datos deben incluir códigos de barras de ADN para un mayor número de especies, de manera que se cubra adecuadamente la variabilidad intraespecífica. Esto permitirá lograr una identificación de especímenes más rápida, precisa y confiable, independientemente del método de análisis empleado.

Referencias

Amandita, F. Y., Rembold, K., Vornam, B., Rahayu, S., Siregar, I. Z., Kreft, H., & Finkeldey, R. (2019). DNA barcoding of flowering plants in Sumatra, Indonesia. Ecology and Evolution, 9(4), 1858–1868.

Anderson, E. F. (2001). The cactus family. Timber Press (OR).

Bravo Hollis, H., & Scheinvar, L. (1999). El interesante mundo de las cactáceas (Issue 583.56 B7I5 1999).

Cabelin, V. L. D., & Alejandro, G. J. D. (2016). Efficiency of matK, rbcL, trnH-psbA, and trnL-F (cpDNA) to molecularly authenticate Philippine ethnomedicinal Apocynaceae through DNA barcoding. Pharmacognosy Magazine, 12(Suppl 3), S384.

Chen, S., Yao, H., Han, J., Liu, C., Song, J., Shi, L., Zhu, Y., Ma, X., Gao, T., & Pang, X. (2010). Validation of the ITS2 region as a novel DNA barcode for identifying medicinal plant species. PloS One, 5(1), e8613.

Hernández-Hernández, T., Hernández, H. M., De-Nova, J. A., Puente, R., Eguiarte, L. E., & Magallón, S. (2011). Phylogenetic relationships and evolution of growth form in Cactaceae (Caryophyllales, Eudicotyledoneae). American Journal of Botany, 98(1), 44–61.

Kimura, M. (1980). A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. Journal of Molecular Evolution, 16(2), 111–120.

Korotkova, N., Borsch, T., Quandt, D., Taylor, N. P., Müller, K. F., & Barthlott, W. (2011). What does it take to resolve relationships and to identify species with molecular markers? An example from the epiphytic Rhipsalideae (Cactaceae). American Journal of Botany, 98(9), 1549–1572.

Majure, L. C., Baker, M. A., Cloud-Hughes, M., Salywon, A., & Neubig, K. M. (2019). Phylogenomics in Cactaceae: A case study using the chollas sensu lato (Cylindropuntieae, Opuntioideae) reveals a common pattern out of the Chihuahuan and Sonoran deserts. American Journal of Botany, 106(10), 1327–1345

Meyer, C. P., & Paulay, G. (2005). DNA barcoding: error rates based on comprehensive sampling. PLoS Biol, 3(12), e422.

SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio–Lista de Especies en Riesgo. Diario Oficial de la Federación 2ª Sección, 30 de diciembre del 2010.

IUCN. 2025. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025-1. Accessed on [15/09/2025]. https://www.iucnredlist.org.

NCBI (2025) National Center for Biotechnology Information. Fecha de consulta: 15/09/2025. https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE_TYPE=BlastSearch&LINK_LOC=blasthome.

COBERTURA DE SUELO EN LA REGIÓN HIDROLÓGICA 36, Y SU CAMBIO DE USO DE 1985 A 2018

Ramón Trucíos-Caciano[1*], Nuria Aide López Hernández[1], Eva Aurora Bautista Calderón[1], Gerardo Delgado Ramírez[1], Cristo Omar Puente Valenzuela[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (INIFAP-CENID RASPA) Gómez Palacio, Dgo. México. CP. 35079. *Autor para correspondencia: trucios.ramon@inifap.gob.mx

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, define el uso de la tierra o del suelo (USV) como los arreglos, actividades y demás aportaciones realizadas por las personas en un tipo de cubierta determinado, la cual puede ser de origen natural (vegetación) o antropogénico (FAO, 2010; Briassoulis, 2019).

El cambio de uso del suelo (CUS), se ha definido como al cambio en el uso o manejo de la tierra por los seres humanos, que puede inducir un cambio de la cubierta terrestre (IPCC, 2012). El CUS se considera la principal amenaza en épocas futuras (García, 2015), por la influencia que ejerce sobre la pérdida de la biodiversidad, fragmentación de hábitats silvestres, la disminución en la generación de servicios ambientales, modificaciones al clima, entre otros (Antonio et al., 2008). Este proceso está relacionado con la degradación de la calidad de la vegetación, disminuyendo la densidad y composición florística. Las actividades asociadas con los procesos de CUS, son agricultura, ganadería, desarrollo de infraestructura para asentamientos humanos, comerciales e industriales (Juan-Pérez, 2021).

En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), desde 1968 inició el estudio sobre el medio natural para el desarrollo de la primera serie de Uso de Suelo y Vegetación, concluyendo en 1990 (INEGI, 2005). Actualmente, se han realizado siete series de USV por parte del INEGI, con diferentes metodologías (fotointerpretación, interpretación visual asistida, clasificación y verificación de campo, entre otras) y fuentes de información (fotografía aérea, imágenes SPOT, imágenes LANDSAT), lo cual permite una cobertura de información de USV a nivel nacional de 1968 a 2021, aunque se consideran como años de referencia de 1985 a 2018 (INEGI, 2021).

La cuenca seleccionada para este estudio es la Región Hidrológica 36 (RH36), que es la cuenca endorreica del Río Nazas. Su importancia, en relación a actividades antropogénicas, se refiere entre otras, al impulso a la agricultura a través del Distrito de Riego 017 y el crecimiento de la zona industrial de la Comarca Lagunera (Durango y Coahuila), principales actividades económicas de la región (CONAGUA-UJED, 2014).

El objetivo de este estudio se centra en cuantificar el USV de la RH36 considerando lo siguiente: 1) la cobertura de las categorías de USV la Serie I (1985), Serie IV (2007) y Serie VII (2018); 2) el CUS absoluto y tasas de cambio para las series de USV mencionadas y, 3) la dinámica del CUS, para determinar los CUS entre 1985 y 2018. El análisis se desarrolló utilizando Sistemas de Información Geográfica y las Series de USV de INEGI.

Materiales y métodos

Para este análisis, se estableció el área de estudio en la Región Hidrológico 36 (RH36), correspondiente al río Nazas. De acuerdo con la cartografía de hidrología superficial del INEGI, comprende una superficie de 9.07 millones de ha (M ha). En el presente análisis se utilizaron las Series I, IV y VII de la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación (USV) del INEGI. Lo anterior, corresponde al estado de la vegetación y uso de suelo para los años 1985, 2007 y 2018, respectivamente.

La obtención de datos para cada una de las Series de USV se describe brevemente a continuación. La Serie I o Serie inicial del INEGI, se desarrolló a partir de fotografía aérea (fotointerpretación) de imágenes tomadas desde 1968 a 1990, y se considera 1985 el año de referencia (INEGI, 2005). La Serie IV, fue realizada con interpretación de imágenes SPOT de 2006 a 2010, considerándose 2007 el año de referencia (INEGI, 2012). Finalmente, la serie VI de INEGI, corresponde a información interpretada de imágenes de LANDSAT TM8 del periodo 2017-2021 y se considera 2018 como el año de referencia (INEGI, 2021).

Para el análisis se implementó la metodología que propone la FAO sobre Cambio de Uso de Suelo (CUS), para las tres Series de USV (Albornoz et al., 2021). Previo, al análisis de CUS, las categorías de USV de las tres series, se compatibilizaron para obtener 11 categorías de USV que se muestran en el Cuadro 1, en donde se incluye el acrónimo de cada categoría, que será utilizado en el resto del documento. Para las tres series, se analizaron los cambios de categorías de uso de suelo y vegetación entre series, es decir, los cambios ocurridos de 1985 a 2007, de 2007 a 2018 y de 1985 a 2018. Para el análisis, se utilizó el programa de licencia libre QGis 3.44 y se empleó estadística básica incluida en el proceso de análisis de CUS.

Resultados y discusión

Los primeros resultados de este análisis se muestran en el Cuadro 1, en donde se observa la superficie total de cada categoría para las tres Series analizadas dentro de la RH36. La vegetación predominante en todas las series es el matorral, con más de 44.5% de la superficie, que en conjunto con pastizal, agricultura y bosque templado conforman más del 92% del área de estudio. De igual forma, se observa que la categoría de asentamientos humanos (asentamiento), no fue considerada en la primera Serie. Lo anterior es posible debido a las diferentes fuentes de información de las cuales provienen las tres series analizadas: fotografía aérea, SPOT y Landsat 8 (INEGI, 2005; 2012; 2021).

Cuadro 1. Uso de suelo y vegetación para las tres Series bajo estudio para la RH36.

Categoría \ Series de USV	Serie I (1985)		Serie IV (2007)		Serie VII (2018)	
Bosque templado (Bt)	1316,385.00	14.51%	1281,137.23	14.12%	1292,098.87	14.24%
Mezquital (Mz)	48,722.50	0.54%	41,284.79	0.46%	43,584.39	0.48%
Matorral (Ma)	4324,695.33	47.68%	4055,021.72	44.70%	4041,132.40	44.55%
Veg desierto (Vd)	58,976.23	0.65%	22,536.49	0.25%	24,547.25	0.27%
Veg galeria (Vg)	9290.63	0.10%	92.44	0.00%	1,569.94	0.02%
Veg halofila (Vh)	389,356.57	4.30%	397,947.88	4.39%	487,241.38	5.37%
Pastizal (Pz)	1587,151.71	17.50%	1735,920.09	19.14%	1655,124.44	18.25%
Agricultura (Ag)	1318,975.15	14.54%	1438,380.44	15.86%	1408,042.76	15.52%
Asentamiento (As)		0.00%	34,862.60	0.38%	61,235.75	0.68%
Cuerpo de agua (Ca)	13,183.20	0.14%	18,279.20	0.20%	20,685.97	0.23%
Sin vegetación (Sv)	3,891.54	0.04%	45,164.98	0.50%	35,364.71	0.39%
Suma	9070,627.86		9070,627.86		9070627.86	

Como primer análisis, se calculó la tasa de cambio entre series, este resultado se observa en el Cuadro 2. La tasa de cambio, nos muestra el porcentaje de cambio anual de cada categoría entre series. Para entender esta información, se ejemplificará con el cambio de SI-SVII del Bosque templado (Bt) con una tasa de 0.06%. Esto significa que, cada año esta categoría disminuyó 0.06%. Debido a que se tiene información adicional, en este mismo cuadro se observa que Bt tiene una tasa mayor de cambio de 1985-2007 (SI-SIV), incluso se observa que de 2007-2018 (SIV-SVII) hubo recuperación en la superficie de Bt. Con respecto a las diferencias, estas son absolutas, considerando la superficie de la primera serie restando la segunda serie. Si consideramos el cambio de SI-SVII (1985-2018), para la categoría Matorral (Ma), esta disminuyó en 283562.93 ha. Para el periodo de 1985-2018, el Matorral tuvo la mayor disminución en superficie, mientras que las categorías que tuvieron incrementos fueron Vegetación halófila (Vh), Agricultura (Ag), Pastizal (Pz) y Asentamientos (As), que en conjunto incrementaron 316160.90 ha.

Cuadro 2. Tasa de CUS y diferencia en hectáreas de superficie entre cada Serie de USV para la RH36.

Categoría \ Cambio USV	SI - SIV		SIV - SVII		SI - SVII	
	Tasa	Diferencia	Tasa	Diferencia	Tasa	Diferencia
Bosque templado (Bt)	-0.12%	-35,247.77	0.08%	10,961.64	-0.06%	-24,286.13
Mezquital (Mz)	-0.75%	-7,437.71	0.49%	2,299.60	-0.34%	-5,138.11
Matorral (Ma)	-0.29%	-269,673.61	-0.03%	-13,889.32	-0.21%	-283,562.93
Veg desierto (Vd)	-4.28%	-36,439.74	0.78%	2,010.76	-2.62%	-34,428.98
Veg galeria (Vg)	-18.91%	-9,198.19	29.37%	1,477.50	-5.25%	-7,720.69
Veg halofila (Vh)	0.10%	8,591.31	1.86%	89,293.50	0.68%	97,884.81
Pastizal (Pz)	0.41%	148,768.38	-0.43%	-80,795.65	0.13%	67,972.73
Agricultura (Ag)	0.39%	119,405.29	-0.19%	-30,337.68	0.20%	89,067.61
Asentamiento (As)		34,862.60	5.25%	26,373.15		61,235.75
Cuerpo de agua (Ca)	1.50%	5,096.00	1.13%	2,406.77	1.37%	7,502.77
Sin vegetación (Sv)	11.79%	41273.44	-2.20%	-9,800.27	6.92%	31,473.17

Para conocer el intercambio de superficies por categoría de USV, se realizó un análisis de la dinámica de cambios (Albornoz et al., 2021). Debido a lo limitado de este documento, se presentará únicamente la dinámica de CUS entre la SI y SVII (1985 – 2018) (Cuadro 3). En este cuadro se observa, en el eje vertical, las categorías de la Serie I, y en el eje horizontal las categorías de la Serie VII. Al interior de la matriz de cambio, donde converge la misma categoría de ambas series (celdas con números en cursiva y negritas), es la superficie que no tuvo cambio de categoría. En el extremo derecho, las últimas dos filas, son la superficie total de la Serie I (T SI) y su superficie de pérdida (P SI). La superficie total, es la suma de todas las categorías de la misma fila. La superficie perdida es la resta de la superficie total menos la superficie que no tuvo cambio.

Cuadro 3. Dinámica en el cambio de coberturas para el periodo de 1985 (Serie I) y 2018 (Serie VII) para la RH36.

		SVII												
	Cat	Bt	Mz	Ma	Vd	Vg	Vh	Pz	Ag	As	Ca	Sv	T SI	P SI
	Bt	***1055144***		4017				242574	13973	489	141	47	1316385	261241
	Mz	**12**	***29496***	10325		25	1713	1657	5126	76	140	152	48722	19226
	Ma	**194733**	**8967**	***387194***	397	64 6	34344	65919	128238	9512	1987	8007	432469 5	45275 0
	Vd		**5**	**5840**	***22410***		8622	1757	3883	1464	1478	1351 7	58976	36566
	Vg	**1**		**772**		***81***		201	8129	6	99	2	9291	9210
SI	Vh		**1963**	**11900**	**383**	**392**	***341680***	5731	13163	4753	518	8874	389357	47677
	Pz	**37934**	**1729**	**62294**	**3**	**290**	**30783**	***1257784***	178504	1335 8	2153	2320	158715 2	32936 8
	Ag	**4275**	**1417**	**73477**	**1354**	**136**	**7031**	78257	***1054807***	3157 2	2567	1082	125597 5	20116 8
	As												0	0
	Ca		7	298				1133	165	3	***11577***		13183	1606
	Sv			**265**			68	111	2055	3	26	***1364***	3892	2528

T SI Superficie Total de la Serie I (1985).
T SVII Superficie Total de la Serie VII (2018).

Con este análisis se observa que categorías de USV incrementaron o disminuyeron su superficie y cuáles fueron las categorías afectadas, es decir, la trayectoria del cambio (Camacho-Sanabria et al., 2017; Humacata, 2018). La forma de leer este cuadro es la siguiente, si consideramos el Bosque templado (Bt), se observa que la superficie que no se modificó entre SI y SVII fue 1’055,144. En este mismo periodo, el Bt cambió a Matorral (Ma) en 4017 ha, al igual que 242,574 ha de Bt cambiaron a Pastizal (Pz) y así sucesivamente. En total, la superficie de Bt fue de 1’316,385 (valor que se puede verificar en el cuadro 1 para esta categoría) y de 1985 a 2018 Bt perdió 261241 ha en total. En este contexto, las categorías con mayor pérdida de superficie fueron matorrales y pastizales con 452750 y 329368 ha, respectivamente. En tercer lugar, se encuentra el Bosque templado con una disminución de 261,241 ha de superficie. Esta tendencia fue encontrada en un estudio realizado por Velázquez et al. (2002), a nivel nacional de 1976 a 2000. Por lo tanto, es una tendencia que no ha cambiado en 18 años. Estos datos pueden contrastar con la información del Cuadro 2, ya que en el Cuadro 2 se observan cambios totales, por ejemplo, Pastizal (Pz) incrementó 67,972.73 ha, de 1985 a 2018, pero, en el Cuadro 3 se observa que de Pz a Agricultura (Ag) cambiaron 178,504 ha., teniendo el pastizal en total 329,368 ha de pérdida, como se había señalado. Este cambio, de Pz a Ag, lo encontraron Velázquez et al. (2002) en 1.5 Millones de ha a nivel nacional, de 1993 a 2000; y en menor proporción lo reportaron Trucíos et al. (2022) en el estado de Durango, de 2002 a 2016. Lo anterior, resalta la importancia del análisis de la trayectoria que tienen los CUS entre las categorías (Camacho-Sanabria et al., 2017).

En el cuadro 3, también se resaltan los cambios de categorías que se consideran como reforestación o que se mantienen dentro de categorías de vegetación natural, y deforestación o degradación. En el primer caso, se muestran en celdas de color negro, y suman una superficie de 445,956 ha. En el segundo caso, superficie con CUS hacia actividades antropogénicas, suma 723743 ha. Esta misma tendencia es reportada para Durango y a nivel nacional (Trucios et al., 2022; Velázquez et al., 2002), para los periodos 2002-2016 y 1976-2000, respectivamente.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo muestran que los CUS absolutos, es decir, solo considerar la superficie de uso de suelo para cada año de estudio, no describe la trayectoria del CUS. Sin embargo, al incluir una matriz de CUS o transición que desglosa los cambios en categorías, permite conocer la pérdida de superficie que tuvieron las categorías de USV.

Se resalta que los cambios “positivos”, asociados a procesos de reforestación o revegetación, se presentaron en menor proporción que los “negativos”, asociados a deforestación o cambios a superficies con actividades antropogénicas. El uso de Sistemas de Información Geográfica no solo permite desarrollar este tipo de análisis sino también ubicar espacialmente los sitios en donde se desarrollaron los cambios, lo cual la convierte en una herramienta necesaria para el desarrollo de proyectos encaminados a la administración y gestión de los recursos para la RH36.

Referencias

Albornoz, A., Alegría D., Cortés, F. y Moya, J. (2021). Protocolo metodológico para la elaboración de cartografías de usos y cambios de usos de la tierra. FAO y MINAGRI. https://doi.org/10.4060/cb0845e

Antonio N., Treviño, E., & Jurado, E. (2008). Fragmentación forestal en la subcuenca del río Pilón: diagnóstico y prioridades. Madera y Bosques, 14(3), 5-23.

Briassoulis, H. (2019). Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. USA. Regional Research Institute, West Virginia University. Editado por Scott Loveridge and Randall Jackson. Consultado el 15 de marzo de 2020 en: https://researchrepository.wvu.edu/rri-web-book/3

Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J. M., Balderas-Plata, M. Á., Sánchez-López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. Madera y bosques, vol. 23, núm. 3, Instituto de Ecología A.C. DOI: 10.21829/myb.2017.2331516.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) – Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). (2014). Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía (PMPMS) en el consejo de cuenca Nazas-Aguanaval. Torreón, Coah. CONVENIO CNA-SGT-GIABA-UJED/2013.

García, G. (2015). Cambio de uso del suelo y grado de cobertura arbolada en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México: 1989–2012. Tesis de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática. Toluca, México: Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.

Humacata, L. (2019). Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistemas de Información Geográfica. Revista Cartográfica. enero-junio 2019: 239-257. ISSN (en línea) 2663-3981. https://doi.org/10.35424/rcarto.i98.149.

INEGI. (2012). Guía para la Interpretación de la Cartografía. Uso del Suelo y Vegetación. Serie IV. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. 126 p. ISBN 978-607-494-310-8.

INEGI. (2021). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000, Serie VII. Conjunto Nacional. Escala: 1:250,000. Edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.

Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). (2005). Guía para la Interpretación de la Cartografía. Uso del Suelo y Vegetación. 89 p. Aguascalientes, México. ISBN 970-13-4525-8. INEGI. www.inegi.gob.mx

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2012). Glossary of terms. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/specialreports/srex/SREX-Annex_Glossary.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2025.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). Glosario de la FAO sobre Cambio Climático y la Bioenergía. 2010. Disponible en: http://termportal.fao.org/faocc/cc/pages/index.jsp. Fecha de consulta: agosto de 2025.

Juan-Perez, J. I. (2021). Estudio de los procesos de cambio de uso del suelo en México Fundamentos teóricos y metodológicos. 1a. edición. CONACYT. pp. 153

Velázquez, A., Mas J.F., Díaz-Gallegos, J.R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P.C., Castro R., Fernández T., Bocco G., Ezcurra E. y Palacio J.L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso de suelo en México. Gaceta Ecológica. No. 62. pp. 21-37. Instituto de Geografía, UNAM. ISSN:14052849.

LOS PERICOS URBANOS DE LA ALAMEDA DE ZARAGOZA: DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA SU CONSERVACIÓN EN SALTILLO, COAHUILA.

Isabel Raymundo-González[1], Guillermo Romero-Figueroa[1], Fernando Isaac Gastelum-Mendoza[1*], Martha Alejandra Alfaro-Germán[1], Feliciano Javier Heredia-Pineda[2], Eloy Alejandro Lozano-Cavazos[3], Gorgonio Ruiz-Campos[1]

[1]Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana, Ensenada, Baja California. [2]Mar y Tierra Salvaje A.C. Fraccionamiento Rienda 273, Hacienda El Cortijo, Saltillo, Coahuila. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buena vista, Saltillo, Coahuila *Autor de correspondencia: gastelummendozaisaac@gmail.com

Introducción

Las poblaciones de psitácidos distribuidas en México, particularmente a lo largo de la vertiente del Pacífico, el Golfo de México y la península de Yucatán, han experimentado un notable declive y se encuentran bajo amenazas significativas derivadas de factores antropogénicos y ambientales (Plasencia-Vázquez & Escalona-Segura, 2012). Asimismo, su atractivo plumaje, comportamiento gregario, carisma y capacidad para imitar sonidos las han convertido en especies altamente demandadas en el comercio ilegal de aves ornamentales, tanto en el mercado nacional como en el internacional (Hernández et al., 2023).

Además, la pérdida y fragmentación del hábitat, consecuencia del crecimiento urbano y la expansión de las áreas destinadas a actividades agropecuarias, han limitado la disponibilidad de recursos esenciales y ha propiciado el desplazamiento poblacional. Recientemente, la introducción de especies exóticas de psitácidos ha intensificado los riesgos ecológicos, al generar competencia directa por recursos tróficos y nichos espaciales, además de representar vectores potenciales de enfermedades infecciosas para las especies nativas (Shirley & Kark, 2009).

La documentación de la diversidad de psitácidos en entornos urbanos resulta fundamental para comprender los espacios que ocupan, así como el aprovechamiento que hacen de los recursos estructurales, vegetativos y alimenticios disponibles en estos ambientes. En este contexto, resulta relevante evaluar la presencia de especies exóticas de psitácidos, cuyas interacciones con especies nativas pueden derivar en procesos de desplazamiento competitivo y en riesgos sanitarios asociados a la transmisión de patógenos. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue identificar la coexistencia de especies nativas y exóticas de la familia Psittacidae en un parque urbano de Saltillo, Coahuila. Esta información resulta valiosa para el diseño e implementación de estrategias de conservación del hábitat dentro de áreas urbanizadas, particularmente en espacios que ya cuentan con infraestructura vegetal.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el parque urbano la Alameda de Zaragoza (25°25'30.88" N, 101°00'30.63" O), ubicado en el municipio de Saltillo, en el estado mexicano de Coahuila de Zaragoza (Figura 1). Esta zona presenta un clima semiseco templado. Durante el invierno, la temperatura promedio es de 17 °C, con mínimas extremas que pueden descender por debajo de los 0 °C, mientras que en verano las temperaturas superan los 38 °C (González-Castillo et al., 2017). El parque tiene una superficie aproximada de cuatro hectáreas y está compuesto principalmente por vegetación arbórea y ornamental.

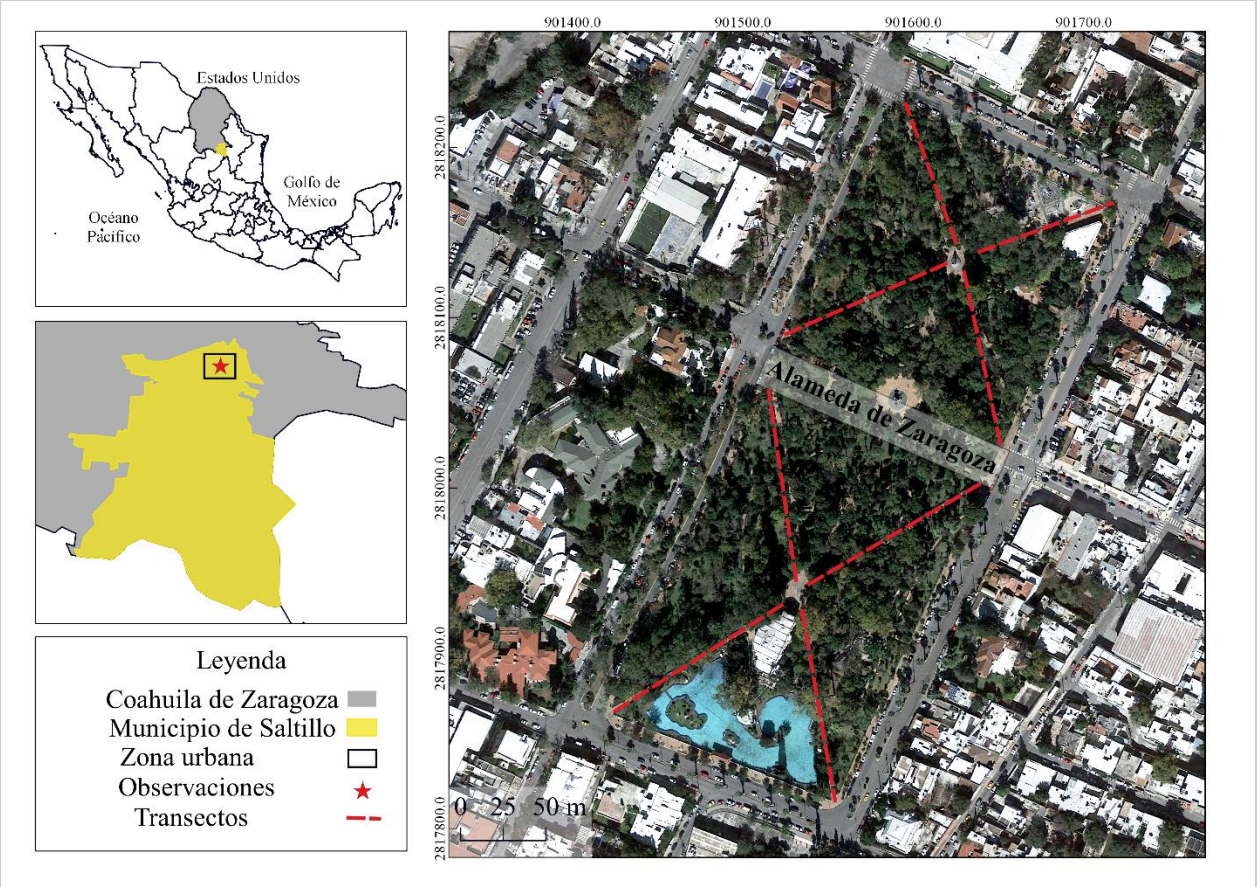


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

El conteo e identificación de aves se llevó a cabo los días 20, 23 y 26 de septiembre, así como el 4 y 11 de octubre de 2016, en un horario de 8:30 a 12:00 hr, siguiendo transectos de entre 220 y 250 m de longitud (Ralph et al., 1996). Solo se contabilizaron los individuos observados de frente, registrando para cada uno el número de ejemplares, la especie y las actividades observadas. Se puso énfasis en los puntos donde se escuchaban vocalizaciones y parloteos en el dosel de los árboles. Para los avistamientos se utilizaron binoculares de 6×30 y 10×42, un GPS Garmin® para registrar las coordenadas de cada transecto, y una cámara digital Sony DCS-H200 con zoom óptico de 26× para la documentación fotográfica. La identificación de las especies se realizó utilizando guías de campo especializadas (Sibley, 2014).

Resultados y discusión

Aunque se registraron 17 especies de aves, solo el zanate mexicano (*Quiscalus mexicanus*), la paloma de ala blanca (*Zenaida asiatica*) y la paloma doméstica (*Columba livia*) representaron el 57 % de la abundancia total de individuos (Figura 2). La comunidad de psitácidos se compuso por siete especies (Figuras 3 y 4), las cuales, en conjunto aportaron el 22 % de la abundancia total de la avifauna del sitio. De estas, cuatro presentan distribución natural en territorio mexicano: el loro frente roja (*Amazona viridigenalis*), loro cabeza amarilla (*A. oratrix*), loro cachete amarillo (*A. autumnalis*) y perico verde (*Psittacara holochlorus*; Figura 2).

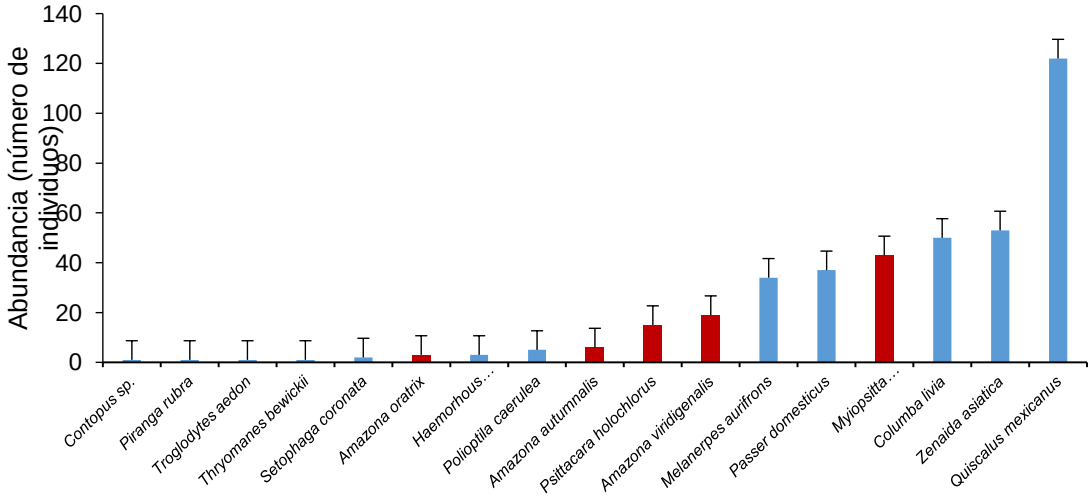


Figura 2. Composición y abundancia de la avifauna del parque urbano la Alameda de Zaragoza en el municipio de Saltillo, Coahuila, México (las barras en rojo representan a las especies de psitácidos; las líneas verticales sobre las barras indican el error estándar).

Figura 3. Comunidad de psitácidos nativos de México dentro del parque urbano la Alameda de Zaragoza: a, loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*); b, loro tamaulipeco (*A. viridigenalis*); c, loro cachetes amarillos (*A. autumnalis*); c, perico mexicano (*Psittacara holochlorus*).

Además, se registró la presencia de la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus;* Figura 4), una especie exótica invasora en México, que presentó la mayor abundancia relativa entre los psitácidos (10.8 %; Figura 2). De manera complementaria, se observó que el perico verde, el loro cachete amarillo y el loro cabeza amarilla se alimentaron de los frutos del palo blanco en el dosel, mientras que, a nivel del suelo, la cotorra argentina y el perico verde consumían rebrotes de pasto (Scott & McFarland, 2010). Durante las observaciones de campo, se registró un nido activo de cotorra argentina ubicado en una palma de abanico (*Washingtonia robusta*), a una altura aproximada de 11 m sobre el nivel del suelo (Figura 3). El nido se localizó dentro de las instalaciones de la Escuela de Bachilleres Dr. Mariano Narváez González (25° 25' 34.71" N; 101° 00' 32.51" O), perteneciente a la Universidad Autónoma de Coahuila.

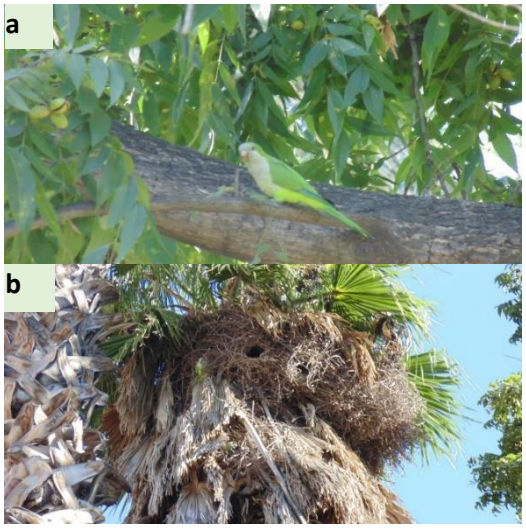


Figura 4. Cotorra argentina (a; *Myiopsitta monachus*) y sistema de nidos comunales (b) dentro del parque urbano la Alameda de Zaragoza, Saltillo, Coahuila, México.

Conclusiones

La Alameda de Zaragoza alberga una comunidad compuesta por cinco especies de psitácidos. Este parque urbano representa una opción viable para ser incorporado en programas de observación de aves. Sin embargo, la presencia de la cotorra argentina y sus sitios de anidación podría generar problemas de desplazamiento para las especies de psitácidos nativos.

Referencias

González-Castillo, M. A., Escalona-Segura, G., & Plasencia-Vázquez, H. A. (2017). Beneficio del espacio público en las ciudades. Caso de estudio, Saltillo, Coahuila. *Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable*, 3(6),1-8.

Hernández, G. K. M., Escalante, P. B. P., & González, R. I. C. (2023). Tráfico ilegal de psitácidos en México. *Ciencia*, 74(1),52-61.

Plasencia-Vázquez, H. A., & Escalona-Segura, G. 2012. Nuevo registro del loro frente blanca (Amazona albifrons) para la Isla de Cozumel, Quintana Roo, México. *Huitzil*, 13(1),43-46

Ralph, C. J., Sauer, J. R., & Droege, S. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres (Gen. Tech. Rep. PSW-GTR159). Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. EUA.

Scott, S. D., & McFarland, C. (2010). *Bird feathers: a guide to North American species*. *Stackpole Books.*

Sibley, D. A. (2014). The Sibley guide to birds (2nd ed.). Knopf. EUA.

Shirley, S.M., Kark, S. (2009). The role of species traits and taxonomic patterns in alien bird impacts. *Global Ecology and Biogeography*, 18(4),450-459. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2009.00452.x

DIAGNÓSTICO DE LA ECORREGIÓN DE BOSQUES DE *Pinus greggii* Engelm. EN COAHUILA Y NUEVO LEÓN, MEXICO

Adin H. Velázquez-Pérez[1*], Claudia González-Nieves[1], Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez, Bermejillo, 35230 km 40, Durango. México. *Autor de correspondencia: velazquez.ubbjg@gmail.com

Introducción

La Metodología de Marco Lógico (MML) es una herramienta para facilitar el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos, en este proceso considera la identificación de problemas y posibles soluciones, los objetivos como una situación futura a lo que se desea llegar; es decir, los objetivos consideran como base a los problemas para convertirlos en positivos. Además, considera a los actores o involucrados en el problema y objetivos (Sánchez, 2005; FAO 2017).

La metodología ha sido utilizada en proyectos REDD (Reducción de Emisiones por deforestación y degradación) para identificar las principales causas y consecuencias de la deforestación y degradación de los bosques, a través de la elaboración del árbol problemas, objetivos y la matriz de marco lógico en bosques de Perú (ITTO, 2013). El marco lógico también ha sido utilizado por CONABIO (2016) para el análisis de los corredores biológicos.

La ecorregión de bosques de *Pinus greggii* son testigos de múltiples problemas cómo la escasez de agua (López-García, 2017), degradación del suelo (SEMARNAT, 2004), incendios forestales por causas humanas (CONAFOR, 2024) y la contaminación del aire atmosférico con contaminantes particulados derivado de la industria (SEMA, 2017). En este contexto, se plantea como objetivo realizar un diagnóstico de la ecorregión de bosques de *Pinus greggii* con la metodología de marco lógico.

Materiales y métodos

El área de estudio se localiza en el noreste de México, en los municipios de Saltillo y Arteaga en Coahuila; y el municipio de Galeana en Nuevo León. La ecorregión se delimitó con base en la distribución de bosques de *Pinus greggii*. La cual es una especie endémica de la sierra madre oriental, distribuida en pequeñas poblaciones (Figura 1). El clima en Saltillo y Arteaga es semiárido templado y en Galeana, Nuevo León es árido templado; La temperatura máxima promedio anual es de 21.7 °C, la mínima de 5.8 °C, y la precipitación media anual es de 400 mm, y una mínima de 182 mm (CNA, 2024). La amplitud altitudinal en que se encuentran estos bosques va de 2100 a 2800 m de elevación, la altitud más baja se encuentra en Nuevo León.

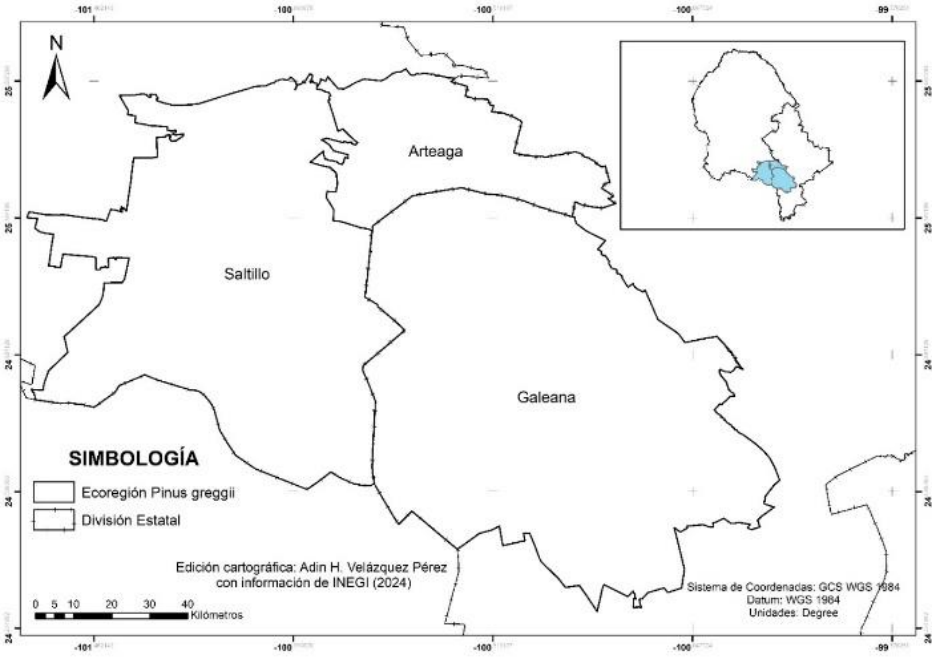


Figura 1. Localización de la ecorregión de Bosques de *Pinus greggii.*

El diagnóstico de la ecorregión es de tipo exploratorio-descriptivo con información de referencias bibliográficas y opiniones de expertos, con base en la metodología de marco lógico, el cual consiste en tres elementos, como: 1) árbol de problemas; 2) árbol de objetivos; y 3) matriz de marco lógico; el primer elemento, tiene como base identificar el problema principal, las causas y los efectos que ocasiona; el segundo, es la transformación de los problemas del árbol en situaciones ideales o positivas, es a lo que se aspira alcanzar con la ejecución de un plan o estrategia; y el tercero, es una matriz de doble entrada con la integración de los problemas y objetivos; además, la forma como las estrategias para lograr el proyecto serán monitoreadas o evaluadas; también considera el análisis de actores o involucrados (FAO, 2017). La metodología se aplicó para los componentes hídrico, edafológico, biótico y aire atmosférico de la ecorregión de *Pinus greggii*.

Resultados y discusión

El árbol de problemas permitió identificar el problema principal de cada componente, así como las causas y los efectos derivado de un problema general (Cuadro 1). La escasez del agua es uno de los problemas que señala López-García et al., (2017) para la ecorregión debido a la deficiente infraestructura. En el recurso biótico, los incendios forestales son una de las amenazas a los bosques y biodiversidad, debido a que el mayor porcentaje son por causas humanas (CONAFOR, 2024). La degradación del suelo es una de las principales preocupaciones en la ecorregión, con sitios que van de extrema, fuerte, moderada y ligera; la mayor proporción con degradación moderada y fuerte (SEMARNAT, 2004). Por último, en zonas urbanas con mayor concentración de personas en la ecorregión, el aire atmosférico contiene contaminantes particulados derivado de la industria (SEMA, 2017).

Cuadro 1. Árbol de problemas.

Componente	Problema	Causas	Efectos 1	Efecto 2
Recursos hídricos	Escasez de agua	Deficiente red de distribución	Desperdicio de agua	
Recursos edáficos	Degradación del suelo	Cambio de uso de suelo	Pérdida de fertilidad	Compactación del suelo
Recursos bióticos	Incendios forestales	Negligencia humana	Pérdida de biodiversidad	Riesgo de erosión
Aire atmosférico	Contaminación por partículas PM2.5 Y 10	Industria	Afectación de pulmones	Irritan las vías respiratorias

En el cuadro 2, se presentan los objetivos centrales y las posibles soluciones de cada componente ambiental, las cuales están enfocados en atender los problemas descritos en el cuadro 1.

Cuadro 2. Árbol de objetivos.

Componente	Objetivo Central	Solución 1	Solución 1.1	Solución 1.2
Recursos hídricos	Mejorar la disponibilidad de agua	Realizar un diagnóstico de la red	Realizar el mantenimiento correctivo y preventivo	
Recursos edáficos	Disminuir la degradación del suelo	Controlar los Cambios de Uso	Evitar el desmonte	Reducir la compactación
Recursos bióticos	Reducir el número de incendios	Sancionar a los responsables	Reducir la pérdida de biodiversidad	Evitar la erosión
Aire atmosférico	Reducir las emisiones PM2.5 y PM10	Establecer filtros en industrias	Disminuir la afectación a la salud	Usar cubrebocas en días de alta emisión

En el cuadro 3, se presenta la matriz de marco lógico en la cual contiene de forma implícita los problemas de la ecorregión, y de forma explícita los objetivos, y posibles soluciones que atienden a los problemas identificados en el árbol. Además, considera los indicadores para ser medidos o monitoreados, la meta y los medios de verificación de los avances en cada programa propuesto.

Cuadro 3. Matriz de marco lógico de la ecorregión de *Pinus greggii.*

Estructura	Objetivos	Nombre del indicador	Meta	Medios de verificación
Fin	Ejecutar un programa de mantenimiento de la red hídrica; de suelos degradados: de manejo del fuego; y estrategias para disminuir las emisiones de contaminantes			
Propósito (Hídrico)	Mejorar la disponibilidad de agua	Porcentaje de la población con servicio de agua potable	Disminuir los daños en la red	Reportes semestrales de los mantenimientos
Objetivos	Realizar un diagnóstico de la red	Número total de desperfectos por arreglar	Programa de mantenimiento correctivo y preventivo	Informes mensuales de avances
Actividades (Hídrico)	Realizar el mantenimiento correctivo y preventivo; y estrategias de	Número de desperfectos / Número total	Arreglar al 100% los daños en la red	Reportes anuales
Propósito (edáficos)	Disminuir la degradación del suelo	Superficie degradada respecto al total	Disminuir la superficie degradada	Monitoreo con SIG e informes de SADER, CONAFOR
Objetivos	Controlar los Cambios de Uso de Suelo	Superficie total anual con cambios	Disminuir al 1% del total anual	Análisis temporal del cambio de uso de suelo anual
Actividades (edáficos)	Evitar el desmonte	Superficie desmontada	Disminuir al 1% del total anual	Análisis temporal con SIG e informes de SADER, CONAFOR
	Reducir la compactación	Superficie utilizada como agostadero	Evitar el sobrepastoreo, considerar la carga animal	Informes por SADER
Propósito (Biótico)	Reducir el número de incendios	Número de incendios provocados/ superficie afectada	Disminuir al 100% los incendios humanos	Reportes de la temporada de incendios
Objetivos	Sancionar a los responsables de ocasionar incendios	Número de denuncias y proceso legal de responsables	Sancionar a todos los responsables	Dictamen final de la denuncia
Actividades (Biótico)	Reducir la pérdida de biodiversidad	Superficie afectada por incendios humanos	Disminuir al 100% la superficie afectada	Reportes de la temporada de incendios
	Evitar la erosión	Superficie restaurada/Superficie erosionada	Disminuir la superficie erosionada a un 95%	Informes anuales de CONAFOR
Propósito (Aire)	Reducir las emisiones de PM2.5 y PM10	Partes por Millón de contaminantes emitidas	Disminuir las emisiones en un 30%	Informes de Calidad del aire: Programa Proaire
Objetivos	Establecer filtros en industrias	Porcentaje de empresas con filtros/ al total de empresas emisoras	100% de empresas con filtros	Informes estatales de avance en la gestión ambiental
Actividades (Aire)	Disminuir la afectación a la salud	Número de personas enfermas por contaminantes	Disminuir el número de personas enfermas	Informes del sector salud
	Usar cubrebocas en días de alta emisión	Porcentaje de personas que usa cubrebocas	Incrementar el uso de cubrebocas en un 90%	Encuestas en redes sociales

Conclusiones

La metodología de marco lógico integra los problemas, objetivos y posibles soluciones a cada problemática; además, el monitoreo y los medios para el cumplimiento de los objetivos. Los problemas detectados coinciden con instituciones gubernamentales y científicas en los cuales enfrentan los recursos naturales. La escasez de agua, los incendios forestales, suelos degradados y la contaminación al aire son problemas que se han detonado en las últimas décadas probablemente por los cambios climáticos globales. Sin embargo, los resultados de la metodología pueden presentar sesgo o no representar la realidad, cuando es aplicado por personas que no están asociados con el manejo de los recursos naturales.

Referencias

CONABIO [Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad]. (2016). Marco Lógico elaborado para la Dirección General de Corredores Biológicos. México.

CONAFOR [Comisión Nacional Forestal]. (2024). Estadísticas de incendios forestales de 1970-2024. México. https://snif.cnf.gob.mx/estadisticas-de-incendios/

CNA [Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional]. (2024). Información estadística climatológica. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

FAO [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura]. (2017). Guía para la formulación de proyectos de inversión del sector agropecuario. República de Panamá. Ministerio de desarrollo agropecuario. ISBN 978-92-5-130017-6. 76p.

ITTO [La Organización Internacional de las Maderas Tropicales] (2013). Marco lógico para el proyecto REDD. Pucallpa, Perú.

López-García, Thania G., Manzano, Mario G., & Ramírez, Aldo I. (2017). Disponibilidad hídrica bajo escenarios de cambio climático en el Valle de Galeana, Nuevo León, México. *Tecnología y ciencias del agua*, *8*(1), 105-114. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-08

Sánchez, N. (2007). El marco lógico. Metodología para la planificación, seguimiento y evaluación de proyectos. *Visión Gerencial* (2): 328-343.

SEMA [Secretaría de Medio Ambiente de Coahuila]. 2017. Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del Estado de Coahuila de Zaragoza 2017-2026 (Proaire). Saltillo, Coahuila, México.

SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. (2004). Degradación del suelo de la república mexicana. Conjunto de datos vectoriales Escala 1:250000. México.

ESTIMACIÓN DE BIOMASA FORESTAL AÉREA Y CARBONO EN MEZQUITES (*Neltuma* spp.) CON MODELOS ALOMÉTRICOS

Adin H. Velázquez-Pérez[1], Claudia González-Nieves[1], Diana Fernanda Bravo-García[1*], Ramón Trucíos-Caciano[2], Aurelio Pedroza-Sandoval[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez, Bermejillo, CP. 35230. [2]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, km.6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango. México CP 35140. *Autor de correspondencia: contacto.dianabravo@gmail.com

Introducción

Las poblaciones naturales de mezquite tienen gran relevancia en la producción forestal, ya que su madera es reconocida por ser maciza y durable. Bajo ciertas condiciones, representan una fuente importante de forraje para el ganado doméstico y -diversas especies de fauna silvestre. Desde una perspectiva ecológica, los mezquites desempeñan un papel esencial en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, pues además de mejorar el paisaje, ofrecen refugio y alimento a una amplia diversidad de fauna silvestre (Espinosa-Plascencia, & Huerta-Ocampo, 2024). Entre los servicios ambientales que brindan los ecosistemas, los bosques, como los mezquitales, juegan un papel primordial en el ciclo y captura de carbono (C). Llegan a almacenar grandes cantidades de carbono en biomasa y suelo, y realizan el intercambio con la atmósfera por medio de la fotosíntesis y la respiración (Brown, 1999).

Las comunidades vegetales tienen cierta capacidad para almacenar carbono y ésta depende de la composición florística, edad y densidad de la población de cada estrato por comunidad. El carbono almacenado en los ecosistemas terrestres se modifica en función de las transformaciones naturales o inducidas, como la erosión y el cambio de uso del suelo. Dichos procesos de liberación de carbono a la atmósfera se pueden revertir mediante la reforestación y la restauración (Rodríguez et al., 2008). El objetivo de estudio fue determinar la producción de biomasa forestal aérea (BFA) y el carbono acumulado en una plantación de mezquites (*Neltuma* spp.) del Municipio de Mapimí, del Estado de Durango mediane métodos no destructivos con el uso de modelos alométricos.

Materiales y métodos

***Ubicación geográfica del área de estudio*.** El estudio se realizó en el Centro de Intercambio de Aprendizajes y Saberes (CAIS) de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA-UACh) en Bermejillo, Mapimí, Durango, México ubicada a 23º 54' LN, 103º 37' LO a una altitud media de 1,120 m. El clima de la región es árido, con una precipitación anual promedio de 240 mm y temperaturas extremas que van desde -1°C en invierno hasta 44°C en verano (Medina et al., 2005).

La plantación de mezquite tiene una edad de 23 años y en el predio hay por lo menos tres variedades diferentes con un mismo manejo, cuenta con 128 árboles en una extensión de 4,166 m^2. Se realizan podas anuales en el mes de febrero, cuenta con un sistema de riego por goteo, el cual se realiza cada 45 días y se realizan labores de deshierbe al menos una vez al año. No se cuenta con antecedentes de estudios de captura de carbono y estimación de BFA.

Medición de variables en campo. Se realizó un censo de mezquites en una población de 128 plantas en las cuales se seleccionaron 99 árboles en los que se midieron variables dasométricas, tales como: diámetro del tronco al nivel del suelo (D0), a 10 cm (DB10) y 30 cm de altura (DB30); altura total del árbol (TH), altura a la primera bifurcación y; el diámetro de la copa (DC). Con base en esta información se estimó la BFA utilizando un modelo alométrico (Rojas-García et al., 2015; Paz-Pella, 2021).

Estimación de Biomasa Forestal Aérea (BFA). La biomasa de cada árbol fue estimada utilizando el modelo alométrico propuesto por Návar et al., (2004), que presenta un valor de R^2=0.97 para el estado de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas. El modelo se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$BFA = [0.15545] + [0.110531 * DO2 * TH] + [0.000797 * [DO2 * TH]] + 4.2362] + [3.2482] + Ln\ DO]] + [-2.04254] + [0.387649 * DO] + [0.5166 * TH]$$

Donde: D0, es el diámetro a nivel del suelo (cm) y TH es la altura del árbol (m).

Análisis de datos. Se realizó un análisis de correlación de Pearson y se graficó para determinar la asociación del diámetro a nivel del suelo (D0) con la altura del árbol (TH) debido a que son las variables que utiliza el modelo alométrico de Navar et al., (2004). El cálculo de del carbono almacenado en los árboles se realizó con un factor de conversión de 0.5 de biomasa aérea a carbono (Álvarez, 2008).

Resultados y discusión

Se encontró asociación del diámetro a nivel del suelo (D0) con la altura total (TH) de los árboles, con un grado de ajuste de R^2 = 0.616; además, las dos variables presentaron un coeficiente de correlación de 0.78, en el cual indica que a medida que aumenta el diámetro a nivel del suelo, se incrementa la altura total de la planta (Figura 1A). Este resultado sirvió de base para elegir el modelo alométrico y estimar la biomasa forestal aérea. La estimación de la BFA se obtuvo con un coeficiente de determinación de R^2 =0.9488, lo cual indica un excelente ajuste de los datos al modelo utilizado, la cual explica el 94.8% de la variación de los datos (Figura 1B).

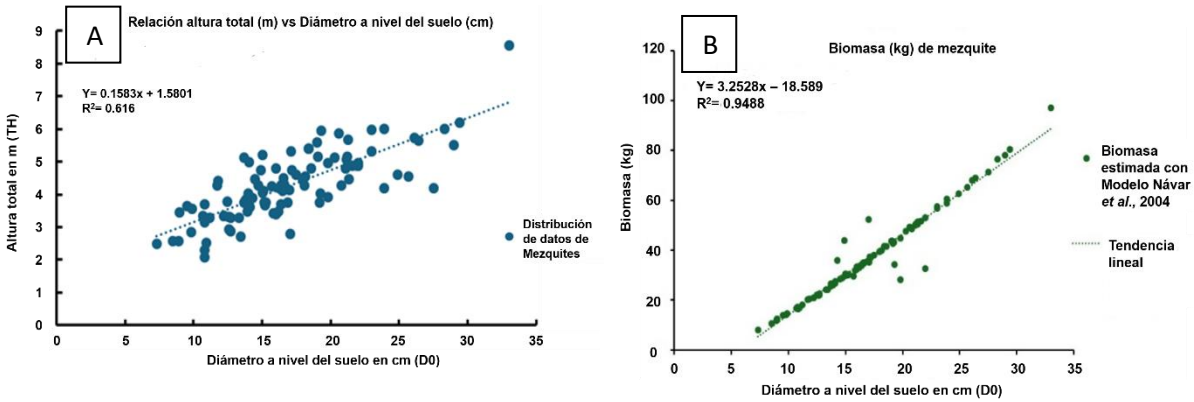


Figura 1. Asociación del diámetro a nivel del suelo con la altura total de *Neltuma* spp. (A) y estimación de lo biomasa forestal aérea en árboles de mezquite (B).

La BFA estimada con el modelo de Navar et al., (2004) y con datos de 99 árboles de mezquites del CAIS-URUZA fue de 3,634 kg y un total de carbono almacenado de 1,817 kg, con un factor de conversión de Biomasa a carbono de 0.5. La edad de la plantación al momento de la toma de datos fue de 23 años.

Conclusiones

La biomasa forestal aérea de los 99 Mezquites del CAIS-URUZA fue de 3, 634 kg y 1,817 kg de carbono almacenado con una edad de 23 años de la plantación, en árboles con diámetros a nivel del suelo de 7.3 – 33 cm y altura total de 2.1 – 8.5 m. El uso de modelos alométricos es fundamental para la estimación de biomasa sin métodos destructivos. Esta información es útil para determinar los servicios ambientales de los árboles respecto a la biomasa y captura de carbono.

Referencias

Álvarez, G. (2008). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba. Bolivia. Tesis de Maestría. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*, Escuela de Posgrado en Bolivia, Costa Rica.

Brown, S. (1999). *Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects*. Winrock International for the World Bank.

Espinosa-Plascencia, A., & Huerta-Ocampo, J. Á. (2024). Aprovechamiento agroecológico y alimentario del mezquite: una revisión. *Tecnologías Emergentes para la Industria Alimentaria, 1*(2-A): 36-40.

Medina, G., Díaz, P., López, H., Ruíz, C., & Marín, S. (2005). *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961–2003)* (Libro Técnico No. 1). Campo Experimental Valle del Guadiana, CIRNOC-INIFAP.

Návar, J., Méndez, E., Nájera, A., Graciano, J., Dale, V., Parresol, B. (2004). Biomass equations for shrub species of Tamaulipas thornscrub of northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 59:657-674

Rodríguez, R., Jiménez, J., Meza, J., Aguirre, O., & Razo, R. (2008). Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la Reserva de la Biósfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 4*(2): 215-222.

Rojas-García F., De Jong B. H.J., Martínez-Zurimendí P., Paz-Pellat F. (2015). Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science* 72: 835–864.

Paz-Pella, F., Salas Aguilar, V., Velázquez Rodríguez, A., & Sánchez Sánchez, C. (2021). Estimación alométrica de biomasa arbórea mediante un enfoque generalizado a nivel de especie y multiespecie. Madera y bosques, 27(spe), e2742434. Epub 21 de febrero de 2022.https://doi.org/10.21829/myb.2021.2742434

EVALUACIÓN ESPACIAL Y FOTOSINTÉTICA DE UNA POBLACIÓN DE *Pinus arizonica* EN NUEVO, LEÓN, MÉXICO

Diana Yemilet Avila-Flores[1*], Vicenta Constante García[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Saltillo. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. Canal Sacramento Km. 6.5, Gómez Palacio, Durango. *Autor de correspondencia: avila.diana@inifap.gob.mx

Introducción

Pinus arizonica es una especie de pino que se encuentra predominantemente en el suroeste de Estados Unidos y el norte de México, es de importancia ecológica y económica. Su papel en la conservación de suelos, captura de carbono y provisión de hábitat lo convierte en una especie clave dentro de los ecosistemas forestales donde se encuentra (Gonzalez-Elizondo et al., 2012). En los últimos años, las poblaciones de *P. arizonica* han sido afectadas por múltiples factores bióticos y abióticos, dichos factores se ven exacerbados por los efectos del cambio climático lo que hace necesario implementar herramientas de monitoreo eficientes en este contexto el objetivo de este estudio fue evaluar la actividad fotosintética y la distribución espacial de una población de *P. arizonica* en el estado Nuevo León.

Materiales y métodos

Área de estudio. El área se ubica al noreste de México, provincia Sierra Madre Oriental, Subprovincia Gran Sierra Plegada. El clima se describe como árido, semiárido con lluvias en verano y un porcentaje invernal del 5% al 10.2% del total anual. Las temperaturas se presentan ente 18°C y 22°C, con veranos frescos; la temperatura del mes más cálido es mayor a 22°C, temperatura del mes más frío se encuentra entre -3°C. La vegetación presente en el área de estudio es de bosques de pino y encino; teniendo como elementos florístico predominante a *Pinus arizonica* con individuos aislados de *Yuca filifera*.

Muestreo y características dasométricas. Para los datos de la vegetación se muestreo una población de *P. arizonica*, tomando las características dasométricas del diámetro, Para el análisis de NDVI, se desarrolló un buffer de 5m por punto de muestreo, considerando esta área como influencia de cada árbol muestreado. Para conocer características topográficas del área de estudio, se ejecutó el análisis de pendientes y orientación, procesando el Continuo de Elevaciones Mexicano utilizando el software ArcGIS. Las herramientas “Slope” y “Aspect” generaron archivos ráster con las inclinaciones y orientaciones del área de estudio. Cálculo NDVI.-Se utilizó una base de datos en Excel con coordenadas de los árboles muestreados y una colección de imágenes Landsat 8 y del Programa NICFI Planet para calcular el NDVI en el periodo 2014-2024. Se desarrollaron scripts en Google Earth Engine (GEE) para seleccionar imágenes, calcular el NDVI y extraer valores por polígonos de interés, archivo vectorial de delimitación política de Estados Unidos Mexicanos, colección de Imágenes Landsat 8 con TOA, colección de Imágenes del Programa NICFI Planet de América**.** El análisis integró el NDVI por polígonos de interés en un periodo de tiempo de 10 años, desde el 2014 hasta junio 2024; solamente para el año 2014 se ejecutó el análisis con imágenes Landsat 8 con TOA y cobertura de nubes de 10%, debido al periodo de tiempo que abarcan estas imágenes, mientras que en los años siguientes el análisis se ejecutó con imágenes del Programa NICFI Planet por su resolución espacial de 4.77 m.

Una vez ejecutado el análisis en GEE se descargaron archivos de tipo CSV, en estos se integra la media de NDVI en cada polígono de interés para identificar el aumento o decremento de la actividad fotosintética a lo largo del periodo de análisis, los resultados se concentraron en una base de datos en Excel y se desarrolló una gráfica por polígono de interés y media NDVI a lo largo del tiempo, para comparar visualmente, el aumento o decremento de la actividad fotosintética.

Análisis de vecino más cercano y correlación circular. En el programa PAST (PAleontological STatistics) versión 4.17 se realizó un análisis de vecino más cercano utilizando la siguiente cronología: 1. Carga de Datos: Se ingresaron las coordenadas espaciales de los puntos (en este caso, árboles de *P. arizonica*. 2. Cálculo de Distancias: se calculó la distancia promedio entre cada punto y su vecino más cercano. 3. Distancia Esperada: se estimó la distancia esperada en una distribución aleatoria basada en la densidad de los puntos en el área total. 4.Índice de Vecino Más Cercano (R): Se obtuvo dividiendo la distancia media observada entre la distancia media esperada. 5. Prueba de Significancia: Se realizó una prueba de significancia (estadístico Z y valor p) para determinar si la distribución es aleatoria, agrupada o dispersa. El análisis de correlación circular mide la relación entre dos variables angulares y, en este caso, permite indagar si hay una relación significativa entre la orientación de los árboles y factores como la dirección del viento o la pendiente del terreno.

Resultados y discusión

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se utilizó para evaluar la actividad fotosintética de los árboles muestreados. Los resultados muestran variaciones en los valores de NDVI a lo largo del tiempo (2014-2024), con fluctuaciones anuales que reflejan cambios en la actividad fotosintética debido a factores ambientales y climáticos.

Punto GAL01: El NDVI varía de 0.28 en 2014 a 0.33 en 2024, con un pico en 2016 (0.48).

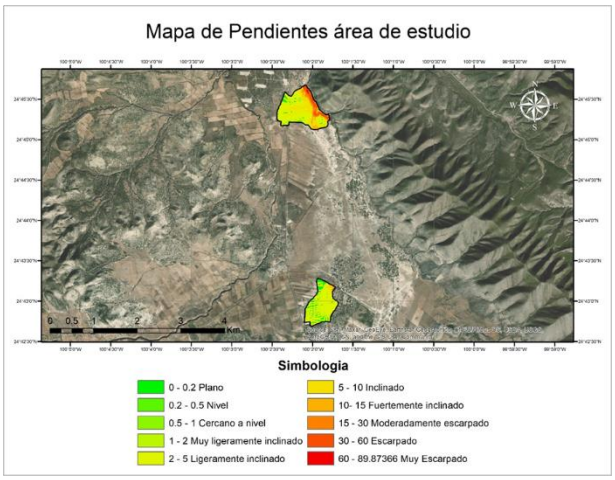
Punto GAL02: NDVI de 0.41 en 2014 a 0.39 en 2024, con fluctuaciones y un pico en 2015 (0.53).

Punto GAL03A: NDVI de 0.43 en 2014 a 0.42 en 2024, manteniéndose relativamente constante.

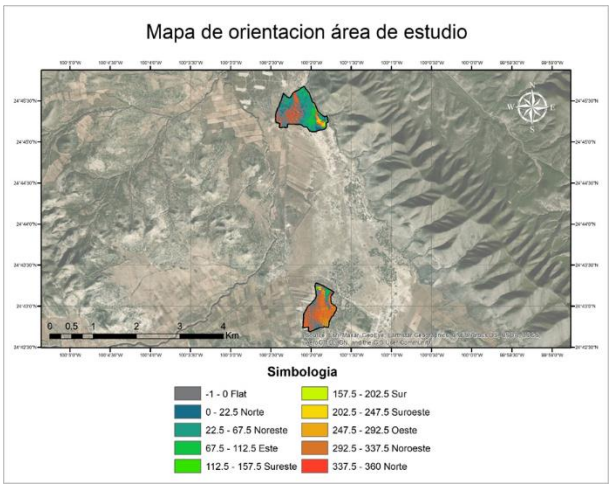
Otros puntos muestran tendencias similares, con variaciones que pueden deberse a la variabilidad estacional y cambios en las condiciones del entorno. El análisis de pendientes y orientaciones revela que la mayoría de los puntos de muestreo se encuentran en terrenos inclinados, con pendientes clasificadas principalmente como "Inclinadas" y orientaciones predominantes hacia el noreste y noroeste. Un estudio en la Sierra Madre Occidental (Martínez-Trinidad et al., 2015), utilizó NDVI para evaluar la actividad fotosintética de *P. arizonica*. Los valores de NDVI oscilaron entre 0.2 y 0.6, similares a los valores obtenidos en este estudio. La variabilidad anual del NDVI fue atribuida a la precipitación y la temperatura, factores que también afectan los resultados presentados. Waring et al., (2014), en Arizona, el NDVI de *P. arizonica* mostraron valores entre 0.3 y 0.5, con una disminución notable durante periodos de sequía.

La comparación de estos valores con los obtenidos en este trabajo sugiere que los factores climáticos regionales juegan un papel crucial en la actividad fotosintética de esta especie. En otro trabajo en Nuevo León, México (González-Elizondo et al., 2017) observaron valores de NDVI entre 0.3 y 0.55 en *P. arizonica*, con picos en años con mayores precipitaciones. Además, la influencia de la topografía en el NDVI también fue significativa, concordando con los resultados obtenidos en este análisis.

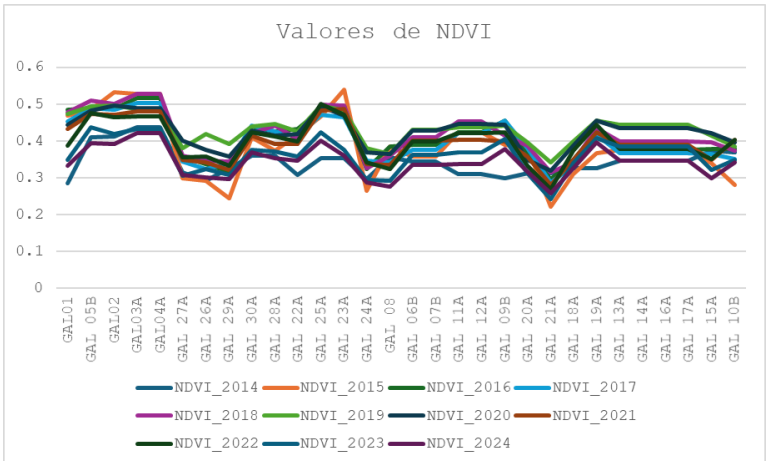
Por lo tanto, los valores de NDVI obtenidos para *P. arizonica* en este estudio son consistentes con los de otros estudios en regiones similares, variando entre 0.28 y 0.53.
Las fluctuaciones anuales indican la influencia de factores climáticos y ambientales. Las pendientes y orientaciones del terreno afectan significativamente los valores de NDVI, con inclinaciones mayores generalmente asociadas a menores valores de NDVI. Los resultados son comparables con estudios realizados en otras áreas de distribución de *P. arizonica*, indicando que los patrones observados son coherentes a nivel regional (Figura 1a, 1b, 1c).



a



b



c

Figura 1. a). Mapa de pendientes; b). Mapa de orientación; c). Valores NDVI.

El Índice de Vecino más Cercano (R) obtuvo un valor de R= 0.22478, indica que los individuos de *P. arizonica* no están distribuidos de manera aleatoria, sino que están agrupados (clumped). Los valores del estadístico Z (Z) y valor p (p (random)) reportaron un valor de Z de -8.1229, el cual mide la desviación de la distribución observada respecto a una distribución aleatoria esperada.
El valor p asociado (4.5502 x 10^-16) es extremadamente pequeño, lo que sugiere que la probabilidad de que esta distribución ocurra por azar es casi nula. Dado que el valor p es tan bajo, se interpreta que la hipótesis nula de que la distribución es aleatoria con un alto grado de confianza. De acuerdo con los resultados la mayor parte de los individuos se distribuye entre los 0-50 m de distancia.

El estereograma muestra la distribución espacial y la densidad de *P. arizonica* en el área estudiada. (Figura 2a y 2b). El análisis de correlación circular aplicado proporciona una comprensión más profunda de los factores ambientales que influyen en su distribución espacial. La correlación circular mide la relación entre dos variables angulares y, en este caso, permitió investigar si hay una relación significativa entre la orientación de los árboles y factores como la dirección del viento o la pendiente del terreno.

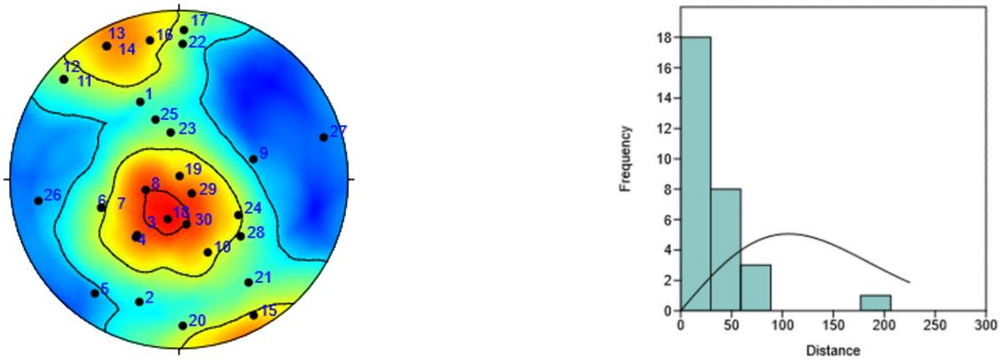


Figura 2. a). Estereograma de distribución. Los puntos negros representan la ubicación de cada árbol, mientras que los colores indican la densidad de árboles, rojo, indica una alta densidad de árboles, azules y verdes indican áreas de menor densidad y el cambio de colores del rojo al azul indica un gradiente de densidad, con una disminución en la cantidad de árboles a medida que nos alejamos del centro; b). Distancias observadas de las muestras.

La baja relación R combinada con un valor Z negativo alto y un valor p muy pequeño indica que los árboles de *P. arizonica* están significativamente agrupados. Esta agrupación puede deberse a varios factores ecológicos o ambientales, como la disponibilidad de recursos (agua, nutrientes), condiciones del suelo, dispersión de semillas, o efectos biológicos como la competencia o simbiosis. El análisis de vecino más cercano muestra que los árboles de *P. arizonica* están agrupados de manera estadísticamente significativa en el área estudiada. Esto sugiere que hay factores específicos que están influenciando esta distribución espacial no aleatoria. Alvarado et al., (2014) realizaron un análisis espacial de variables fenotípicas en un huerto clonal de *P. arizonica* en México, encontrando una distribución agrupada debido a la estructura del huerto y la competencia intraespecífica. Sánchez-Meador & Moore, (2019) estudiaron la dinámica de los bosques de *P. arizonica* en relación con la historia de incendios y la severidad de la sequía, observando una tendencia hacia la agregación en respuesta a factores ambientales y de manejo. Fule et al., (2003) analizaron los patrones espaciales de *P. arizonica* en Arizona, descubriendo que las distribuciones de los árboles estaban agrupadas, especialmente en áreas con menor frecuencia de incendios recientes. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que también han encontrado patrones de agrupación en esta especie. La significancia estadística ($p = 4.5502E-16$) refuerza la conclusión de que la distribución no es aleatoria, sino influenciada por factores ecológicos y de manejo forestal. Estos resultados confirman que la agrupación observada en este estudio es una característica común de *P. arizonica*, influenciada por factores ecológicos y de manejo forestal. Por otra parte, la distribución de *P. arizonica* en el área estudiada no es aleatoria sino agrupada, con una alta concentración de árboles en el centro del estereograma y menor densidad hacia las áreas periféricas. Esta agrupación puede ser resultado de factores ecológicos, como la disponibilidad de recursos o patrones de dispersión de semillas. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que también han encontrado patrones de agrupación en esta especie. La metodología y los resultados refuerzan la importancia de factores ambientales y ecológicos en la distribución espacial de *P. arizonica.*

Conclusiones

Los resultados muestran un índice de vecino más cercano (R) de 0.22478 y un valor Z de -8.1229, lo que indica una agrupación significativa de *Pinus arizonica*. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que también han encontrado patrones de agrupación en esta especie. La significancia estadística (p = 4.5502E-16) refuerza la conclusión de que la distribución no es aleatoria, sino influenciada por factores ecológicos como la orientación del viento o la pendiente del terreno y de manejo forestal. Estos hallazgos se alinean con estudios previos que han identificado la topografía y las condiciones del suelo como factores críticos en la distribución y productividad de esta especie.

Referencias

Alvarado B, R., Pompa, G., M., Zúñiga V., J. M., & Jiménez, C., M. (2019). Spatial analysis of phenotypic variables in a clonal orchard of *Pinus arizonica* Engelm. in northern Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(2), 185-199. doi: 10.5154/r.rchscfa.2018.11.086

Fule, Z. P., Covington, W. W., & Moore, M. M. (2003). Arizona pine (Pinus arizonica) stand dynamics: local and regional impacts. *Forest Ecology and Management*. Retrieved from Academia

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., & Lopez, E, I.L. (2012). Diversidad floristica y vegetación de la Sierra Madre Occidental. Universidad Juárez del estado de Durango.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., & Tena-Flores, J. A. (2017). Vegetation and climate of the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Botanical Sciences*, 95(3), 527-548.

Martínez-Trinidad, T., Rodríguez-Laguna, R., & Gómez, S. (2015). Analysis of vegetation indices and their relationship to climatic variables in forest ecosystems. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 50-68.

Planet Team (2017). Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA. https://api.planet.com

Sánchez-Meador, A. J., & Moore, M. M. (2019). Stand dynamics of Arizona pine (Pinus arizonica) in relation to fire history and drought severity. *Forest Science*. Retrieved from Oxford Academic.

Waring, K. M., & Huang, C. H. (2014). Assessing forest dynamics and species diversity using NDVI and EVI: A case study in Arizona, USA. *Forest Ecology and Management*, 331, 157-171.

EVALUACIÓN DE LA SOBREVIVENCIA Y ADAPTABILIDAD DE ACCESIONES DE NOPAL (*Opuntia* spp.) EN EL BANCO DE GERMOPLASMA DE LA URUZA - UACH

Marco Andrés López Santiago[1], Sahara Xolocotzi-Acoltzi[1*], Clemente Gallegos Vázquez[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Ctra Gómez Palacio - Ciudad Juárez, km 40. C.P. 35230, Bermejillo, Durango. [2]Centro Regional Universitario Centro Norte. Universidad Autónoma Chapingo. Ctra. Zacatecas-Guadalajara. km 5.5. C.P. 98060, El Orito, Zacatecas. *Autor de correspondencia: sahara.xolocotzi@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Ante el escenario de propiciar la conservación de especies con algún tipo de aprovechamiento y el mantenimiento de la producción de alimentos de alta calidad con menos recursos sobresale el nopal (*Opuntia* spp.), planta cuyas características le han permitido sobrevivir en ambientes secos y en suelos de baja fertilidad, mostrando mayor productividad que otras plantas cultivadas, representando una alternativa viable de cultivo multipropósito en dichas regiones (Méndez-Gallegos & García-Herrera, 2013).Además del consumo como verdura del nopal, la posibilidad de su aprovechamiento integral como un cultivo con fines alimenticios, como forraje y fuente de insumos a la agroindustria permitirá aumentar la rentabilidad de las empresas y unidades económicas del campo que ya cuentan con las plantaciones (SAGARPA & UAZ, 2015). Para la producción comercial de nopal verdura en México se utilizan varias accesiones de *O. ficus-indica*, principalmente las variedades Milpa Alta, Atlixco, Chicomostoc, Criolla tipo italiana, Tlaconopal, Copena F1 y Sel. 6 CEPAB (De Lira Ramos et al., 2024), sin embargo, existen otras variedades que pueden utilizarse, pero es necesario su estudio productivo en diferentes regiones agroecológicas no solo para la producción de la hortaliza, sino de tuna, xoconostle, forraje, tintas o para la producción de biocombustibles. En varias regiones de México se ha desarrollado un abanico de productos usando como base el nopal como en la elaboración de galletas, pudding, cereales, tortillas y en suplementos alimenticios (Sáenz, 2018). La oferta de estos productos aún se encuentra regionalizada, principalmente en el centro del país, por lo que el objetivo de esta segunda etapa del proyecto es continuar con el resguardo de variedades de nopal y seguir generando información sobre su manejo productivo y como una estrategia de seguridad para la conservación de la riqueza genética de nopal en una región árida.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio. El estudio se realizó en el Rancho El Carmen, de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México, ubicado en las coordenadas geográficas 25° 53´51.5652” latitud norte y -103° 35´ 48.9552” longitud oeste, con una altitud de 1,111 m. La región cuenta con un clima desértico seco con lluvias en verano e inviernos frescos, presentando una temperatura media anual de 19.5 °C, una máxima de 28.4 °C y una mínima 10.5 °C; así como una precipitación media anual de 258 mm y una evaporación media anual de 2000 mm (Medina et al., 2005).

Banco de Germoplasma de Opuntia. La colección cuenta con 74 variedades de nopal provenientes del Depositario Nacional de *Opuntia*, en Zacatecas. Establecido en mayo de 2023. De cada variedad se trasladaron 4 repeticiones, de las cuales se han propagado hasta el doble de plantas, en el caso de las variedades menos adaptadas se continúa con las labores de resiembra.

Del establecimiento y manejo. El área destinada para la colección es de 2 ha, en la cuales se instaló un sistema de riego por goteo. Las accesiones de nopal se sembraron en surcos de 100 m de largo, con una distancia entre plantas de 2.5 m, con pasillos de 4 m de ancho que permiten las labores de mantenimiento de la plantación. El riego se realizó cada 15 días en el periodo de otoño e invierno, en tanto, en primavera y verano se aplicó cada 6 días. Los goteros tienen un rendimiento de 1 L hora^{-1}, la duración promedio del riego es de 3 horas.

Resiembras. En mayo de 2025 se realizó la segunda resiembra de las repeticiones faltantes en la colección a fin de completar las variedades poco adaptadas. Se recibieron del Depositario Nacional de *Opuntia* en Zacatecas un total de 83 plantas de nopal.

Variables medidas. Se realizó la evaluación de la sobrevivencia de plantas al segundo año de su establecimiento, esta consistió en el registro de plantas vivas y secas. Se registró también el nivel de crecimiento de las plantas y el número de cladodios.

Análisis de la información. La información obtenida se procesó en el programa Excel de Microsoft y se realizó un análisis descriptivo de las variables medidas.

Resultados y discusión

Al segundo año del establecimiento se encuentran en resguardo 74 variedades de nopal en las parcelas experimentales de la URUZA. De las variedades con uso de verdura se ha observado una mejor adaptación, teniendo una sobrevivencia del cien por ciento de las 13 variedades donadas, sin embargo, el 50 % de las repeticiones de Pabellón Amarillo, Jade y Jalpa presentaron signos de pudrición y fueron retiradas de la parcela, en el periodo de otoño se realizarán las resiembras correspondientes con el material genético ya resguardado en el Banco de Germoplasma de la URUZA.

En cuanto al número de cladodios totales, se observa que las variedades COPENA F-1 y Milpa Alta son las más productivas, por lo cual son las más recomendadas para iniciar con actividades relacionadas a la producción intensiva de nopal verdura. Caso contrario a Cero espinas, Jade y Padre Santo, que han tenido un lento crecimiento, sin sobrepasar el segundo nivel de formación. La identificación de variedades productivas permitirá desarrollar alternativas de producción según las capacidades productivas y de consumo de los productores de la región, ya sea con fines alimenticios o como uso de forraje (Flores-Hernández et al., 2017).

Cuadro 4. Sobrevivencia y número de cladodios de variedades de nopal verdura del Banco de Germoplasma de *Opuntia.*

Variedad	Sobrevivencia (%)	Nivel de Crecimiento	No. Cladodios
Pabellón amarillo	50	2	20
COPENA V-1	100	2	7
Cero espinas	100	0	4
Tobarito	100	0	0
Atlixco	100	3	0
COPENA F-1	100	3	14
Milpa Alta	100	2	19
Chicomostoc	100	2	8
Diabetes Zacatecas	100	2	6
Italiano. mejorado	100	1	5
Jade	50	2	4
Jalpa	50	2	12
Padre Santo	100	2	3

El 0 en número de cladodios = plantas madre de nopal sembradas, pero sin brotes.

En cuanto a las variedades productoras de tuna y xoconostle se obtuvo un mejor porcentaje de adaptación y sobrevivencia, siendo 48 las que cuentan con el 100% de sus repeticiones. Las variedades J4 y Roja Victoria solo presentan el 25 %; las X. Chaveñito, y C. Cuerón el 50 % y las Burrona, Amarilla Oro, COPENA 3, Rojo Lirio, X., Chicle, Solferino, S1, X. Chivo, Cardón de Castilla y X. de Castilla el 75 %, por lo que las actividades de resiembra continuarán en el periodo de otoño. Las variedades para la producción de xoconostle han presentado mayores complicaciones para adaptarse a la región, la mayoría de estos permanece en el primer nivel de crecimiento con pocos cladodios y sin producción de frutos. En tanto, 27 variedades de tuna han presentado frutos este segundo año y floración, signo de adaptación a las condiciones climáticas de la región, sobresalen la variedad Amarillo Montesa, Cristalina y Sandia (Figura 1).

Cuadro 2. Número de cladodios y presencia de frutos en variedades de nopal tunero del Banco de Germoplasma de *Opuntia.*

Accesión	Nivel de crecimiento	No. cladodios	Variedad	Nivel de crecimiento	No. cladodios
A. Montesa	4	34	B. San José	2	8
Cristalina	3	23	Tapón Aguanoso	1	3
Blanca Pepina	3	12	R. de Castilla	2	5
Tapona	1	4	Barrientos	3	20
Pico chulo	3	10	Cacalote	2	4
Amarilla Jarro	3	13	Sangre de toro	3	13
Rubí reyna	2	14	Moradilla 1	3	12
Camuezo	2	11	Roja La Victoria	3	16
Cop.Torreoja	2	8	Dalia Roja	2	8
Mango	3	20	X. Invierno	2	20
COPENA Z1	1	5	X. Cambray	2	7
Camueza II	2	7	X. C. blanco	1	7
A. Miquihuana	2	6	X. Rojo sainero	1	4
Sandía	3	15	X. Cuaresmero	1	4
Orejón	3	12	Bonda	3	12
Grifa	2	16	Pelón Rojo	3	10
N. Legítimo	2	10	Rojo Vigor	3	22
A. Zacatecas	2	3	Goliat	1	2
Anaranjada	2	18	Esmeralda	6	6
A. San Mateo	2	16	M. San Martín	2	3
A. Plátano	2	16	Rosalito	3	15
Roja Viznaga	2	5	Roja Jalpa	3	8
S. de Hidalgo	2	21	Vaquera	0	0
C. de Castilla	2	5			

El 0 en número de cladodios = plantas madre de nopal sembradas, pero sin brotes.

Durante el segundo año de evaluación y muestreo no se registraron daños significativos por plagas, sin embargo, en variedades como la Goliat se presentaron daños causados por la enfermedad de engrosamiento de cladodios por lo que fue necesario retirar y destruir las plantas con deformaciones. Esta enfermedad se encuentra asociada al daño por un complejo de microorganismos no definidos a la fecha, sin embargo, resalta la presencia de fitoplasmas y virus, provocando enanismo en la planta, inhibición de la brotación floral y vegetativa (Méndez-Gallegos et al., 2013), por lo que el reemplazo de la planta es el manejo más adecuado.

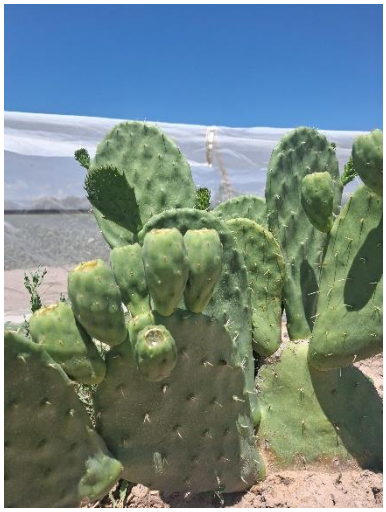


Figura 5. Producción de tuna variedad Cristalina

Figura 6. Retiro de plantas de nopal con pudriciones y engrosamiento de cladodio

Conclusiones

La adaptación de las plantas de nopal a una región árida ha sido lenta, sin embargo, se han identificado las variedades con potencial productivo, así como el desarrollo de actividades de manejo de manera estacional, lo que permitirá iniciar con el establecimiento de unidades de producción intensiva de nopal para el periodo de primavera en el 2026.

Referencias

De Lira Ramos, K. V., Perales Aguilar, L., Perales Segovia, C., & Mena Covarrubias, J. (2024). Manejo anual del Cultivo. En E. González Gaona , L. Argentel Martínez , L. Perales Aguilar, O. Peñuelas Rubio, A. García Mungía, & K. V. De Lira Ramos, *El Nopal: ecofisiología del nopal en México* (págs. 37-43). Brasil: Pantanal Editora.

Flores Hernández , A., Araújo Filho, T., Gomes da Silva, F., Ramírez Ordoñez, S., & Murillo Amador, B. (2017). Dietas a base de forraje tradicional y nopal (*Opuntia* spp.) enriquecido con proteínas para alimentar cabras. *Nova Scientia*, 149-166. https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.828

Medina G, G., Díaz P, G., López H, J., & Marín S, M. (2005). *Estadísticas climatológicas básicas en el estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico No. 1.* Campo Experimentan Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP.

Méndez Gallegos, S. D y García Herrera, J. E. (2013). Aprovechamiento, usos y aplicaciones del nopal. En C. Gallegos Vázquez, S. d. Méndez Gallegos, & C. Mongragón Jacobo, *Producción sustentable de la tuna en San Luis Potosí* (págs. 6-23). San Luis Potosí: Colegio de Postgraduados, Fundación Produce San Luis Potosí, A. C

Méndez Gallegos, S. D., Mena Covarrubias, J., Gallegos Vázquez, C., & Mondragón Jacobo, C. (2013). Capítulo X. Principales enfermedades y recomendaciones para su control en el nopal tunero. En C. Gallegos Vázquez, S. D. Méndez Gallegos, & C. Mondragón Jacobo, *Producción Sustentable de la tuna en San Luis Potosí* (págs. 164-172). México

Sáenz, C. (2018). Procesamiento y utilización de frutos, cladodios y semillas. En P. Inlese , J. Candelario-Mondragón, A. Nefzaoui, & C. Sáenz, *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (págs. 139-154). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

SAGARPA, & UAZ. (2015a). *Estudio de factabilidad para el establecimiento de cultivo de nopal (Opuntia) en tierras ociosas en los estados de Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Zacatecas con fines alimenticios, energéticos y ambientales.* SAGARPA, Universidad Autónoma de Zacatecas.

PROCESO DE COLECTA Y SELECCIÓN DE SEMILLA DE CACTÁCEAS DEL JARDÍN BOTÁNICO ENA PARA REPRODUCCIÓN DE EJEMPLARES

Gonzalo Hernández-Ibarra[1], Sahara Xolocotzi-Acoltzi[1*], Marco Andrés López Santiago[1], Karen Valeria Perales-Pérez[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Gómez Palacio - Ciudad Juárez, km 40. C.P. 35230, Bermejillo, Durango. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, CP 25315. Saltillo, Coahuila. *Autor de correspondencia: sahara.xolocotzi@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

Un jardín botánico es una institución que resguarda colecciones de plantas vivas documentadas con diversos propósitos, principalmente llevar a cabo investigación científica, la conservación de ejemplares, su exhibición y actividades de educación ambiental (Falcón-Hidalgo & Pérez-Cuevas, 2021). Ante un escenario de pérdida de la biodiversidad se hace necesario el establecimiento de áreas dedicadas a la conservación como unidades de manejo y aprovechamiento (UMA´s), como una estrategia alterna a la conservación *in situ*, manteniendo limitada la diversidad genética (Vovides et al., 2013).

Al llevar a cabo las actividades de propagación por semilla en invernaderos o viveros de ejemplares que estén amenazados como las cactáceas, se podría evitar la recolecta de individuos silvestres. Para esto se debe involucrar el estudio de las características que determinan su viabilidad durante el proceso de siembra, principalmente llevar a cabo de manera adecuada los procesos de colecta, descartar aquellas semillas con deformidades y su porcentaje de germinación sin tratamientos (Ruiz-Pérez et al., 2021).

El Jardín Botánico ENA resguarda actualmente 74 especies de plantas de zonas áridas, de las cuales 48 pertenecen a la familia Cactaceae. Desde el 2024 cuenta con el registro como UMA ante la SEMARNAT con la clave SEMARNAT-UMA-IN-0468-DGO y durante más de 30 años ha fungido como centro de aprendizaje para los alumnos de licenciatura de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA-UACh, 2025), sin embargo, la generación de información relacionada a la reproducción de las especies y su manejo se ha visto limitado. Considerando que el objetivo del Jardín Botánico ENA es conservar las poblaciones y ejemplares de especies silvestres vegetales resguardadas *ex situ*, se llevó a cabo la colecta, selección y pruebas de germinación de 7 especies de cactáceas con el propósito de definir una metodología para el proceso de obtención de su semilla, sus características morfológicas y porcentaje de germinación.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio. El Jardín Botánico ENA se encuentra en las instalaciones de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México, ubicado en las coordenadas geográficas 25.8932° latitud norte y -103.6022° longitud oeste, con una altitud de 1,115 m. La región cuenta con un clima desértico seco con lluvias en verano e inviernos frescos, presentando una temperatura media anual de 19.5 °C, una máxima de 28.4 °C y una mínima 10.5 °C; así como una precipitación media anual de 258 mm y una evaporación media anual de 2000 mm (Medina et al., 2005).

Proceso de colecta. Se colectaron los frutos de las especies: *Astrophytum myriostigma, Coryphantha poselgeriana, Thelocactus rinconensis subsp. nidulans, Coryphantha robustispina, Ferocactus herrerae Coryphantha delaetiana y Coryphantha pseudonickelsae*, de las cuales las 3 primeras se encuentran en estatus de Amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). Las semillas corresponden al periodo de floración y fructificación de verano del 2024 (julio a septiembre). Una vez identificado el crecimiento de frutos en los ejemplares de las cactáceas de estudio se colocó una malla gallinera para evitar su sustracción por roedores o aves. Se monitorearon diariamente y colectaron al momento de presentar signos de maduración, principalmente una coloración rojiza y su desprendimiento de la planta.

Obtención de semilla y desinfección. Se implementó una metodología para el proceso de obtención de semilla considerando los tipos de fruto de cactáceas propuesto por Reyes-Santiago (2009): secos, semisecos y carnosos. Una vez obtenidas las semillas se les aplicó con atomizador una solución de alcohol al 70 % hasta empapar, después se secaron y resguardaron en recipientes plásticos con tapa

Selección de semilla y siembra. Antes de realizar la siembra se retiraron aquellas semillas que presentaron algún tipo de deformidad y daños en la testa. Se seleccionaron 25 semillas de las especies de estudio y colocaron en recipientes plásticos de 500 ml de capacidad con un sustrato conformado por 50:50 peat moss y perlita. El sustrato se humedeció con agua hasta saturación, las semillas se esparcieron en la superficie evitando aglomeraciones, se colocó una ligera capa del sustrato seco sobre la semilla y una solución de Captán al 10% para evitar la proliferación de hongos. Los recipientes se taparon para crear un efecto invernadero y colocaron bajo una malla sombra al 70 %.

Variables medidas. Se llevó a cabo la descripción morfológica de las semillas de las cactáceas de estudio: número de semillas por cada gramo, color, forma, superficie de la testa, tamaño en mm y el porcentaje de germinación. La información obtenida se procesó y analizó en el programa Excel de Microsoft.

Resultados y discusión

Se elaboró el siguiente diagrama con la metodología de obtención de semilla según el tipo de fruto de cactáceas y se seguirá en el plan de manejo de reproducción del Jardín Botánico ENA:

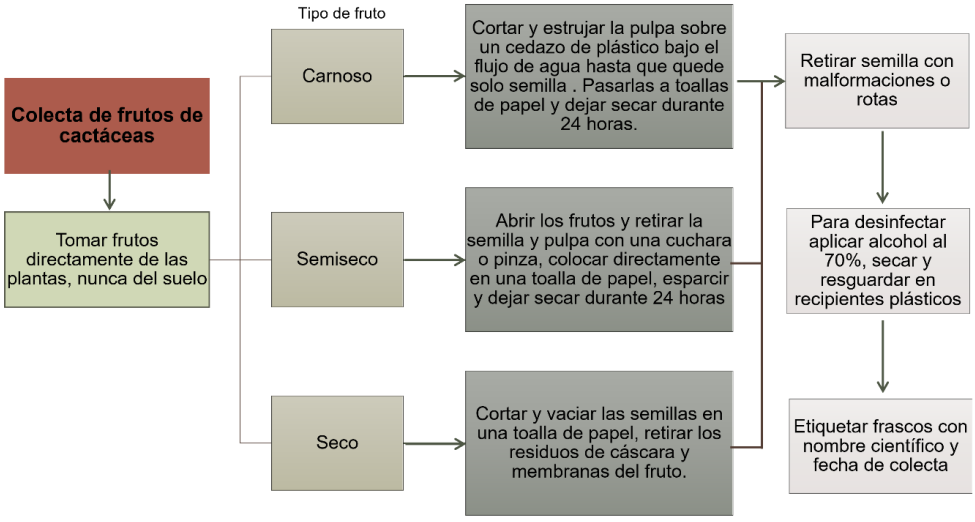


Figura 7. Proceso de colecta de semilla de cactáceas del Jardín Botánico ENA.

La descripción morfológica de las semillas permitió llevar a cabo una selección de semillas de calidad para la actividad de reproducción de cactáceas, descartando así a las que no cumplían las características de color, forma, superficie de la testa y tamaño según la generalidad de la especie. Se identificó que los colores de las semillas varían de negros a marrones y rojizos, midiendo en promedio 2 mm de diámetro, las formas son variadas predominando las ovoides y reniformes, así como una testa lisa (Cuadro1).

Cuadro 5. Características morfológicas de semillas del Jardín Botánico ENA.

Especie	Color	Forma	Superficie de testa	Tamaño (mm)
A. myriostigma	Marrón con negro	Navicular	Lisa al exterior, rugosa al interior	2.8
C. poselgeriana	Rojo	Reniforme	Lisa	2.6
T. rinconensis subsp. nidulans	Negra	Reniforme	Lisa	2.0
F. herrerae	Negra	Ovoide	Lisa	2.5
C. robustispina	Roja	Reniforme	Lisa	2.2
C. delaetiana	Roja	Ovoide	Lisa	1.1
C.pseudonickelsae	Roja	Ovoide	Lisa	1.2

Se observó que *Coryphantha pseudonickelsae* fue la especie más viable del estudio para reproducir en vivero con los materiales básicos como agua y sustrato. Sin embargo, las especies de importancia en cuanto a conservación como *A. myriostigma, C. poselgeriana* y *T. rinconensis subsp. nidulans* requerirán de la aplicación de tratamientos pregerminativos que promuevan el ablandamiento de la testa como el choque térmico, aplicación de ácidos como el sulfúrico y el efecto de fitohormonas como giberelinas (Mascot-Gómez, 2020).

En cuanto al número de semillas fue variable encontrándose de 500 hasta 2000 por gramo, este número más el porcentaje de germinación ayudará a estimar la cantidad de semilla necesaria para la producción de plantas en vivero según sus objetivos en reproducción, principalmente de plantas enlistadas en la NOM-O59-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Cuadro 6. Porcentaje de germinación y número de semillas para producir planta en vivero.

Especie	No. de semillas g^{-1}	Germinación (%)	No. de semillas para producir 100 plantas
A. myriostigma	568	32	1775
C. poselgeriana	306	4	7650
T. rinconensis subsp. nidulans	556	8	6950
F. herrerae	382	4	9550
C. robustispina	450	24	1875
C. delaetiana	2040	32	6375
C.pseudonickelsae	1493	52	2871

Conclusiones

La generación de información acerca del comportamiento reproductivo de las plantas y de las semillas del Jardín Botánico ENA permitirán llevar a cabo la reproducción de sus ejemplares en exhibición con el propósito de contar con duplicados sanos para actividades de intercambio o donación con fines de investigación con instituciones afines a la conservación de especies de cactáceas nativas.

Referencias

Falcón-Hidalgo, B., & Pérez-Cuevas, C. M. (2021). Notas acerca de los jardínes botánicos: definiciones y alcance. *Revista del Jardín Botánico Nacional, 42*, 255-277.

Mascot-Gómez, E. (2020). *Semillas de cactáceas: factores internos y externos que influyen en su germinación.*[Tesis doctoral]. México: Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.

Medina G, G., Díaz P, G., López H, J., & Marín S, M. (2005). *Estadísticas climatológicas básicas en el estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico No. 1.* Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP.

Reyes-Santiago, J. (2009). *Conservación y restauración de cactáceas y otras plantas suculentas mexicanas.* Comisión Nacional Forestal.

Ruiz-Pérez, A., Vázquez-Díaz, E., Ybarra-Moncada, M. C., & García-Nava, J. R. (2021). Calidad de semilla y sobrevivencia de plántulas de *Echinocactus platyacanthus* de tres regiones de México. *Revista Fitotecnia Mexicana, 44*(1), 33-40. https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.33

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación.

URUZA-UACh. (2025). *Jardín Botánico ENA*. Obtenido de https://chapingo.uruza.edu.mx/jardines

Vovides, A., Iglesias, C., Luna, V., & Balcázar, T. (2013). Los jardines botánicos y la crisis de la biodiversidad. *Botanical Sciences, 3*(91), 239-250.

DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES EN CÁSCARA Y SEMILLAS DE TRES VARIEDADES DE MELÓN CANTALOPUE

Alejandro Moreno Reséndez[1]*, José Luis Reyes Carrillo[1], Carlos Daniel Calderón García[2], José Antonio Negrete Sigala[2], Carlos Rafael Cerra Mata[3], Jesús Omar Díaz Rivas[4].

[1]Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria. UAAAN-CA-14. [2]Estudiante del Programa Docente de Ingeniero Agrónomo. [3]Estudiante del Programa Docente de Ingeniero en Agroecología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, s/n. Colonia Valle Verde, Torreón, Coahuila de Zaragoza, 27054, México. [4]Instituto de Investigación y Transferencia de Tecnología en Zonas Áridas (IITTZA). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Parras de la Fuente, Coahuila de Zaragoza 27994, México. *Autor de correspondencia: alejamorsa@yahoo.com.mx

Introducción

La industria procesadora de alimentos, de origen vegetal o animal, genera grandes cantidades de residuos que provocan contaminación ambiental, cuando se gestionan de forma inadecuada. En gran parte, esta situación se debe al paradigma vigente, conocido como modelo de economía lineal, asociado a la producción y el consumo, cuyas características son: adquirir, utilizar y desechar materiales que forman parte de este binomio (Preciado-Saldaña et al., 2022). Debido al impacto del paradigma lineal, ha surgido como alternativa el modelo de economía circular (MEC), cuyos objetivos son: prevenir y reducir la contaminación, proteger el ambiente, mitigar la sobre explotación de los recursos naturales, generar prosperidad económica y promover el desarrollo sostenible (Almeida-Guzmán & Díaz-Guevara, 2020). Como lo destacan Prieto-Sandoval et al. (2017), los residuos considerados basura después de su empleo, pueden contener nutrientes biológicos de utilidad para las especies vegetales o diversos materiales, productos o sustancias que potencialmente se pueden reincorporar en otros procesos productivos.

En 2024, en México se sembraron 18,039.62 ha de melón, con rendimiento promedio de 31.37 t•ha^{-1}, y en la Comarca Lagunera 4,004.8 ha, con 37.39 t ha^{-1} (SADER, 2025). Si toda esta producción fuera procesada industrialmente, para elaborar productos con valor agregado, se obtendrían grandes cantidades residuos de pulpa, semillas y cáscaras, que son descartadas: estos desechos pueden resultar iguales o incluso superiores a las cantidades procesadas (Silva et al., 2020). A nivel mundial, se estima que los procesos agroindustriales -postcosecha, almacenamiento y transporte-, generan residuos superiores a dos mil millones de toneladas anualmente (Turola-Barbi et al., 2020), de las cuales entre el 40 y 50 % corresponden a frutas y verduras (Preciado-Saldaña et al., 2022). A favor de estos desechos, autores como Silva et al. (2020) y Ramírez-Aragón et al. (2024) mencionan que contienen ingentes cantidades de compuestos bioactivos y antioxidantes, que son benéficos para la salud humana. En atención a los elementos descritos se solicitó el apoyo de dos productores de melón, del Ejido San Juan de Villanueva, Viesca, Coahuila de Zaragoza, para adquirir muestras de frutos de tres variedades de melón (*Cucumis melo* L.), al realizar su cosecha, y de éstos se obtuvieron cáscaras y semillas, consideradas como residuos, con el propósito de determinar su actividad antioxidante, los contenidos totales de fenoles y flavonoides, así como su potencial beneficio económico.

Materiales y métodos

Ubicación del cultivo. El ejido San Juan de Villanueva se ubica en las coordenadas 25° 32' 41.4" N y 103° 04'5 4.3" O, la mayor parte de los productores agrícolas, de esta localidad, se dedican a la siembra del melón. Durante el ciclo primavera - verano 2025 se solicitó a dos productores, Samuel Romero López y Nery Felipe Ramos Juárez, autorización para que, al realizar la cosecha del cultivo manualmente, (Villaseñor-Perea et al., 2006), se proporcionaran 10 frutos seleccionados al azar. El primer productor sembró las variedades T-Rex (Syngenta®) y Alaniz Gold (SAKATA®), mientras que el segundo la variedad Pitayo (Harris Moran®), todas de tipo Cantaloupe.

Cosecha y manejo de frutos. Conforme los frutos fueron cosechados, además de etiquetarlos como productores: Samuel y Nery (PS y PN), las iniciales de las variedades T-Rex, Alaniz Gold y Pitayo (VTR, VAG y VP, respectivamente) y el número consecutivo (1 a 10) asignado a cada fruto, se colocaron en hieleras portátiles, para conservarlos frescos, y se trasladaron al Laboratorio de Suelos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En este lugar se realizó la separación de las cáscaras y semillas de cada fruto, se colocaron en bolsas de plástico, con su etiqueta correspondiente, y se conservaron a -4 °C, hasta el desarrollo de los análisis químicos.

Obtención del extracto. Conforme se fueron descongelando las muestras, de cáscara y semilla, se colocaron, por separado, 10 g de cada una, en un mortero de porcelana (130 mL) y se molieron empleando el pistilo. De cada pasta se pesaron 3 g, se colocaron en un tubo de vidrio (10 mL), con tapón de rosca, y se agregaron 3 mL de metanol (Golden Bell®) concentrado y se mantuvieron en refrigeración hasta concluir la etapa de molienda. Posteriormente, para homogenizar las mezclas, los tubos se colocaron en un agitador Heber-Bach®, durante 24 h, en movimiento constante, al concluir, se centrifugaron a 4500 rpm, durante 5 min, y se recuperó el sobrenadante colocándolo en tubos con tapón de rosca, por último los extractos se mantuvieron en refrigeración a 4 °C hasta la ejecución de los análisis correspondientes. Para el análisis de la actividad antioxidante y los contenidos de fenoles y flavonoides totales se contó con el apoyo del personal técnico del Instituto de Investigación y Transferencia de Tecnología en Zonas Áridas (IITTZA), de la UAAAN, ubicado en la ciudad de Parras de la Fuente, Coahuila, aplicando los protocolos correspondientes.

Determinación del contenido total de polifenoles (CTP). Se utilizó la metodología de Nossa-González et al. (2016), en un tubo de ensayo se depositaron 125 µL del extracto, 0.5 Ml de H_2O destilada y 125 µL del reactivo Folin-Ciocalteu; la mezcla se dejó reaccionar por 6 min, al concluir se agregaron 1.25 mL de Na_2CO_3 (7 %; m/v), y 1.0 mL de H_2O destilada, se dejó reposar durante 90 min, bajo condiciones de laboratorio: 20 °C y 65 % de humedad relativa. Se utilizó un espectrofotómetro UV Genesys 10 UV (Thermoelectron®), a una longitud de onda (λ) de 750 nm, el resultado se expresó en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de peso fresco (mg GAE•1 g^{-1} PF).

Determinación del contenido total de flavonoides (CTF). Se empleó el método de Zhishen et al. (1999); una alícuota de 250 mL del extracto se colocó en un tubo de ensayo, cubierto con papel aluminio para evitar su exposición a la luz, se añadieron 1250 mL de agua destilada. En seguida se colocaron 75 mL de $NaNO_2$ (5 %: m/v) y se dejó reposar durante 6 min. Concluido este período, se adicionaron 500 mL de NaOH, 1 M, y se determinó su absorbancia con un espectrofotómetro UV Genesys 10 UV (Thermoelectron®), a 510 nm, se empleó metanol (80 %: m/v) como blanco. Los flavonoides totales se expresaron en miligramos de Catequina por gramo de peso fresco (mg CAT•1 g^{-1} PF).

Actividad Antioxidante por DPPH. Se determinó por el método de DPPH* (2,2-difenil-1-Picrilhidrazilo) de acuerdo al método de Singh et al. (2016). Previamente se construyó una curva de calibración con ácido ascórbico para expresar la AA de los extractos como equivalente en milimolar por litro de ácido ascórbico. Para esta curva se utilizaron seis patrones de ácido ascórbico con las siguientes concentraciones 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 y 2 Mm. Se emplearon 100 µL de cada una de las soluciones y se les agregaron 5 mL de solución metanólica de DPPH* (1x10-4 M), se agitó y se dejó en la oscuridad durante 30 min. Se registró la absorbancia (Abs) a una longitud de onda de 517 nm, en un espectrofotómetro UV Genesys 10 UV (Thermoelectron®). El mismo tratamiento se utilizó para los extractos. Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición del radical DPPH*.

Beneficio adicional. Para su estimación se consideró el porcentaje de perdida reportado por Preciado-Saldaña et al. (2022), en los procesos agroindustriales) de frutas y verduras, con un promedio del 45 % y el precio que le pagaron a los productores, durante el año 2025, a razón de $5.00 por kilogramo.

Análisis estadístico. Cada variedad fue considerada como tratamiento, con 10 frutos como repeticiones, empleando un diseño completamente al azar, para los datos registrados, de las variables en estudio, se realizaron análisis de varianza, de una vía, y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey, con $p \leq 0.05$ como significancia.

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis de varianza y de las pruebas de comparación de medias de $Tukey_{0.05}$ aplicadas a las variables evaluadas, tanto en cáscara como semillas, de los frutos de tres variedades de melón. El que se haya determinado el CTP en la cáscara y las semillas de los frutos de melón, coincide con lo establecido por Ramírez-Aragón et al. (2024) quienes establecieron que este tipo de metabolitos secundarios, están presentes en diferentes cantidades, en función de la parte analizada.

Cuadro 1. Valores promedio, coeficiente de variación, diferencia y significancia estadística de las variables evaluadas en cáscara y semillas de tres variedades de melón, desarrolladas por dos productores del Ejido San Juan de Villanueva, Viesca, Coahuila de Zaragoza, México.

Trat	CTPCa**	CTPSe**	CTFCa^{ns}	CTFSe**	AACa^{ns}	AASe**
	(mg GAE•1 g^{-1} PF)		(mg CAT•1 g^{-1} PF)		(Inhibición %)	
PNVP	**1.28 a**	**1.48 a**	0.37	0.38 b	3.35	**4.47 a**
PSVAG	**1.42 a**	**1.27 a**	0.36	**0.51 a**	2.48	1.46 b
PSVTR	0.97 b	0.79 b	0.37	0.31 b	5.88	1.12 b

Trat = Tratamiento; CTP = Contenido total de polifenoles; CTF = Contenido total de flavonoides; AA = Actividad antioxidante; Ca = Cáscara; Se = Semilla; PN = Productor Nery; PS = Productor Samuel; VP = Variedad Pitayo; VAG = Variedad Alaniz Gold; VTR = Variedad T-Rex; ns, ** = No significativo, Altamente significativo ($p \leq 0.01$); Valores promedio en las columnas con la misma letra no son significativamente diferentes.

En el cuadro 1 se aprecia que los residuos de la cáscara y las semillas de la variedad T-Rex, que sembró el productor Samuel, registraron los menores valores, para las tres variables evaluadas: AA, CTP y CTF. También se observa que, en los residuos de la cáscara, las variables CTF y AA resultaron estadísticamente iguales en los frutos de las variedades en estudio: Pitayo, Alaniz Gold y T-Rex. Mientras que, el CTF de la semilla de la variedad Alaniz Gold superó ($p \leq 0.01$) a los CTF registrados en las semillas de los frutos Pitayo y T-Rex.

Contenido total de polifenoles. Los CTP han despertado un gran interés en la industria alimentaria, debido a su efecto antioxidante, antiinflamatorio, antidiabético, etc. Estos compuestos también predominan en los residuos de los frutos como son cáscaras y semillas (Salazar-López et al., 2023). El CTP obtenido en semillas de melón resultó ligeramente inferior al valor, 1.5 mg GAE•1 g^{-1} PF, reportado por Vella et al. (2019), en tres variedades Prescott de melón tipo Cantaloupe, comercialmente maduros. Mientras que en la cáscara estos autores reportaron un valor de 25.48 mg GAE•1 g^{-1} PF, el cual resultó 17.9 y 19.9 veces superior al valor determinado en el presente estudio, esta diferencia, de acuerdo a lo establecido por Meiatti et al. (2012) podría atribuirse a varios factores, como el cultivar, el grado de maduración y elementos ambientales, como las condiciones climáticas y el origen geográfico.

El CTP en los residuos de cáscara (1.28 a 1.42 mg GAE•1 g^{-1} PF) y las semillas (1.27 a 1.48 mg GAE•1 g^{-1} PF) de los frutos de las variedades Pitayo y Alaniz Gold, resultaron estadísticamente iguales y superaron ($p \leq 0.01$) al CTP de la cáscara (0.97 mg GAE•1 g^{-1} PF) y semillas (0.79 mg GAE•1 g^{-1} PF) de los frutos de la variedad T-Rex. El CTP registrado en la cáscara de ambas variedades superó al CTP, 1.016 mg EAG•100 g^{-1}, obtenido mediante extractos hidroetanólicos, hidrometanólicos y acuosos, en cáscara de melón por Rolim et al. (2018). Adicionalmente, como se aprecia en el cuadro 1, respecto al CTP es necesario resaltar que las variedades Pitayo y Alaniz Golden registraron valores promedio estadísticamente iguales, pero opuestos con 1.11 veces más CTP en cáscara para la variedad Alaniz Golden y en las semillas para la variedad Pitayo. Respecto al CTP en la cáscara del melón, Rolim et al. (2018) destacan que esto se puede deber a su contenido de pigmentos y taninos, así como a la presencia de flavonoides totales.

Contenido total de flavonoides. Los flavonoides constituyen el grupo de compuestos fenólicos vegetales más común y ampliamente distribuido, siendo antioxidantes muy eficaces (Vella et al., 2019). Respecto al CTF, como se aprecia en el cuadro 1, las semillas de la variedad Alaniz Gold registraron un valor de 0.51 mg CAT•1 g^{-1} PF, que superó significativamente ($p \leq 0.05$) a los valores determinados en las variedades T-Rex y Pitayo. El CTF en las semillas de la variedad Alaniz Gold fue superado en 31.1 % por el valor, 0.74 mg CAT•1 g^{-1} PF, determinado por Vella et al. (2019), en tres variedades Prescott de melón tipo Cantaloupe, comercialmente maduros. Por su parte, el CTF en las cáscaras de las tres variedades resultó estadísticamente igual, con valores que oscilaron entre 0.31 y 0.38 mg CAT•1 g^{-1} PF. El CTF en el extracto acuoso de cáscara de melón fue de 262 mg CAT•100 g^{-1} (Rolim et al., 2018), el cual superó en 6.9 veces a los valores determinados en el presente estudio.

Actividad antioxidante. Los antioxidantes son moléculas protectoras también conocidas como captadores de radicales libres (Raja et al., 2015) estos compuestos presentes en los residuos de los frutos – cáscaras y semillas – pueden reducir el riesgo de cáncer y la mortalidad asociada a esta enfermedad (Rolim et al., 2018). Para esta variable, solo las semillas registraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$), con 4.47 % de inhibición en la variedad Pitayo, superando en 63.34 % a los porcentajes de inhibición registrados en las semillas de las variedades Alaniz Gold y Variedad T-Rex. Mientras que el porcentaje de inhibición en las cáscaras de las variedades Pitayo, Alaniz Gold y T-Rex no registró diferencias significativas, presentando un intervalo de valores que osciló entre 2.48 y 5.88 %.

Beneficio adicional. De acuerdo con Preciado-Saldaña et al. (2022) los residuos, que por lo general son desechados en el proceso de industrialización de los frutos, como el melón, corresponden a un valor promedio del 45 % del peso del fruto: es decir 0.450 kg de cáscara y semillas. Por otro lado, si a los productores les pagaron a razón de $5.00 por kilogramo de melón, sería posible considerar que el valor de estos residuos sería de $2.25 por kilogramo.

En términos generales, y en concordancia con lo establecido por Vella et al. (2019) y Gómez-García et al. (2020), de que debido al contenido de compuestos bioactivos en la cáscara y las semillas de los frutos del melón, éstos podrían convertirse en materias primas potenciales para las industrias alimentaria y farmacéutica. Lo anterior ha cobrado gran relevancia debido a que se ha reconocido que ambos residuos presentan mayor contenido de compuestos bioactivos que la pulpa de estos frutos (Gómez-García et al., 2020).

Conclusión

El MEC aplicado a los residuos de cáscaras y semillas de los frutos de tres variedades de melón, puede incrementar los beneficios hacia la sociedad, ya que, además de poseer capacidad antioxidante, contienen compuestos bioactivos como polifenoles y flavonoides, y por cada tonelada de estos residuos.

Referencias

Almeida-Guzmán, M., & Díaz-Guevara, C. (2020). Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. Avances en Ecuador. *Estudios de la Gestión* (8), 35-57.

Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., & Pintado, M. (2020). Valorization of melon fruit (*Cucumis melo* L.) by-products: Phytochemical and Biofunctional properties with Emphasis on Recent Trends and Advances. *Trends in Food Science & Technology, 99*, 507-519. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.033

Maietti, A., Tedeschi, P., Stagno, C., Bordiga, M., Travaglia, F., Locatelli, M., Arlorio, M., & Brandolini, V. (2012). Analytical Traceability of Melon (*Cucumis Melo* Var Reticulatus): Proximate Composition, Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity in Relation to Cultivar, Plant Physiology State, and Seasonal Variability. *Journal of Food Science, 77*(6), C646-C652. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02712.x

Nossa-González, D. L., Talero-Pérez, Y. V., & Rozo-Núñez, W. E. (2016). Determination of polyphenols and antioxidant activity of polar extracts of comfrey (*Symphytum officinale* L). *Revista Cubana de Plantas Medicinales, 21*(2), 125-132.

Preciado-Saldaña, A. M., Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, M. A., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 23*(2), 92-99.

Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (15), 85-95.

Raja, M. A., Sahithi, G., Vasanthi, R., Banji, D., Rao, K. N. V., & Selvakumar, D. (2015). Study of phytochemical and antioxidant activity of *Cucumis melo* var. agrestis fruit. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 4*(2), 303-306.

Ramírez-Aragón, M. G., Borroel-García, V. J., López-Martínez, J. D., Nieto-Garibay, A., & García-Hernández, J. L. (2024). Extracción de compuestos antioxidantes en sandía y melón en la Comarca Lagunera. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 11*(1), 1-13, e3953. https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3953

Rolim, P. M., Fidelis, G. P., Padilha, C. E. A., Santos, E. S., Rocha, H. A. O., & Macedo, G. R. (2018). Phenolic profile and antioxidant activity from peels and seeds of melon (*Cucumis melo* L. var. reticulatus) and their antiproliferative effect in cancer cells. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 51*(4), 1-14, e6069. https://doi.org/10.1590/1414-431X20176069

Salazar-López, N. J., Enríquez-Valencia, S. A., Zuñiga-Martínez, B. S., & González-Aguilar, G. A. (2023). Residuos agroindustriales como fuente de nutrientes y compuestos fenólicos. *Epistemus (Sonora), 17*(34), 60-69. https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.265

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2025). Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Acciones y Programas Producción mensual agrícola. Avance de Siembras y Cosechas, Año Agrícola 2024. Disponible en: https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/. Fecha de consulta: 8 de julio de 2025.

Silva, J. S., Ortiz, D. W., García, L. G. C., Asquieri, E. R., Becker, F. S., & Damiani, C. (2020). Effect of drying on nutritional composition, antioxidant capacity and bioactive compounds of fruits co-products. *Food Science and Technology, 40*(4), 810-816. https://doi.org/10.1590/fst.21419

Singh, J., Singh, V., Shukla, S., & Rai, A. K. (2016). Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Selected Cucurbit Fruits Extracted with Different Solvents. *Journal of Nutrition and Food Sciences, 6*(6), 1-8. https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000565

Turola-Barbi, R. C., Silveira Hornung, P., Ávila, S., da Silva Bambirra Alves, F. E., Beta, T., & Hoffmann Ribani, R. (2020). Ripe and unripe inajá (*Maximilia maripa*) fruit: A new high source of added value bioactive compounds. *Food Chemistry, 331*, 1-11. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127333

Vella, F. M., Cautela, D., & Laratta, B. (2019). Characterization of Polyphenolic Compounds in Cantaloupe Melon By-Products. *Foods, 8*(6), 1-10. https://doi.org/10.3390/foods8060196

Villaseñor-Perea, C. A., Chávez-Franco, S. H., Saucedo-Veloz, C., Salazar-Zazueta, A., Landois-Palencia, L. L., & Hernández-Gómez, L. H. (2006). Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial. *Revista Fitotecnia Mexicana, 29*(2), 157-162.

Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry, 64*(4), 555-559. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2

MANIFESTACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GUANAJUATO, MÉXICO.

Ramiro Chávez Mota

Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Km. 38.5 Ctra. México - Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. *Autor de correspondencia: rchavezm@chapingo.mx

Introducción

La región del estado de Guanajuato ha experimentado cambios climáticos notables, incluido el aumento de las temperaturas y los patrones variables de precipitación, que tienen profundas implicaciones para su economía basada en la agricultura. Ramírez et al. (2012) mencionan que las recientes fluctuaciones de temperatura y precipitación han sido significativas, siendo las sequías una de las principales preocupaciones para la agricultura. De 1979 a 2011, la frecuencia de días con temperaturas máximas por encima del percentil 90 se duplicó con creces, mientras que los días con temperaturas por debajo del percentil 10 disminuyeron a la mitad, lo que indica una tendencia de calentamiento (Barrett & Longoria, 2013). Martínez-Arredondo et al. (2015), analizaron datos históricos de 1951-2010 y encontraron que la variabilidad espacial significativa en variables climáticas como las precipitaciones y la temperatura, son cruciales para el manejo de riesgos hidrológicos como inundaciones y sequías. Las proyecciones climáticas de 2010 a 2099 para la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda indican un aumento de temperatura promedio de 1-2°C y un aumento de precipitación de hasta 3 mm (Mendoza et al., 2017). En general, los hallazgos sugieren aumentos notables de temperatura en medio de patrones estables de precipitación (Barrett & Longoria, 2013). Debido a que se han hecho estudios regionales en el estado de Guanajuato y se han encontrado cambios significativos de las principales variables climatológicas en diferentes periodos. El objetivo principal de la presente investigación es hacer un estudio completo de las tendencias de las temperaturas máximas en todo el estado en el último siglo y delimitar espacialmente las zonas que presenten diferentes tendencias en dicha variable.

Materiales y métodos

Se obtuvieron los datos de las estaciones climatológicas en las que La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) registra las temperaturas máximas. Posteriormente se hizo una depuración dejando solo aquellas estaciones que cumplieron con ciertos criterios de calidad y cantidad de información. Se obtuvieron los promedios anuales de cada año de registro para identificar si hay o no un cambio significativo de la variable en cuestión, se analizó la media aritmética. Para la detección de los cambios en esta estadística se usó la metodología de Mann-Kendall con un $\alpha = 0.05$. Para la realización de los cálculos se usó del lenguaje de programación de alto nivel llamado Visual Basic para Aplicaciones (VBA). Para la realización del análisis se usó el lenguaje R.

Resultados

Después de realizar el análisis de tendencias a cada una de las estaciones climatológicas. Estas se clasificaron en positivas (cuando la temperatura máxima se incrementó), negativas (cuando se decrementó) y neutras (cuando esta no sufrió cambio alguno). Cuyos resultados se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Frecuencias absolutas de cada una de las estaciones climatológicas que se calentaron (positivas), que se enfriaron (negativas) y que no sufrieron cambio alguno (neutras). Tanto a nivel de estado como en cada una de las zonas climatológicas.

CLIMA	Positivas	Negativas	Neutras	Suma
Semiarido-semicalido	2	1	4	**7**
Semiarido-templado	8	5	7	**20**
Semicalido-subhumedo_del_grupo_C	20	11	11	**42**
Templado-Subhumedo	14	4	5	**23**
ESTADO DE GUANAJUATO	**44**	**21**	**27**	**92**

Para tener una mayor comprensión de los resultados se muestra la misma información, pero en porcentaje en el cuadro 2.

Cuadro 2. Porcentajes de cada una de las estaciones climatológicas que se calentaron (positivas), que se enfriaron (negativas) y que no sufrieron cambio alguno (neutral). Tanto a nivel de estado como en cada una de las zonas climatológicas.

CLIMA	Positivas	Negativas	Neutras	Suma
Semiarido-semicalido	28.57	14.29	57.14	100
Semiarido-templado	40.00	25.00	35.00	100
Semicalido-subhumedo_del_grupo_C	47.62	26.19	26.19	100
Templado-Subhumedo	60.87	17.39	21.74	100
ESTADO DE GUANAJUATO	**47.83**	**22.83**	**29.35**	**100**

Conclusiones

Las estaciones climatológicas con un mayor porcentaje son las que se calentaron, con un 47.83%. La zona climatológica más caliente es la que muestra menor porcentaje de estaciones climatológicas que incrementaron su temperatura (28.57%) mientras que la zona climatológica más fría (templado-subhúmedo) muestra un mayor porcentaje de estaciones que incrementaron su temperatura (60.87%).

Referencias

Barrett, B. S., & Longoria, M. I. E. (2013). Variability of precipitation and temperature in Guanajuato, México. Atmosfera, 26(4), 521–536. https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71093-2

Martínez-Arredondo, J. C., Jofre Meléndez, R., Ortega Chávez, V. M., & Ramos Arroyo, Y. R. (2015). Descripción de la variabilidad climática normal (1951-2010) en la cuenca del río Guanajuato, centro de México. Acta Universitaria, 25(6), 3–19. https://doi.org/10.15174/AU.2015.799

Ramírez, R., Trujillo, T., Ruiz, J., & Ordóñez, Y. M. (2012). Aptitud agroclimática en la Mesa Central de Guanajuato, México. Investigaciones Geográficas, 54, 24–35. https://doi.org/10.14350/RIG.30130

EFECTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL Y SU EFECTO EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN ZACATECAS, MÉXICO.

Benjamín Armijo-Rico[1], Mayela Rodríguez-González[1*]

[1]Maestría en Seguridad Alimentaria - Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM). CP 03330 CDMX. *Autor de correspondencia: mayelarg92@gmail.com

Introducción

La seguridad alimentaria es un desafío global que cobra especial relevancia en regiones con una fuerte tradición agrícola como Zacatecas, México. Este estado, destaca por su diversidad ecológica y cultural, albergando una basta herencia de prácticas agrícolas que han sustentado a sus comunidades durante generaciones. En Zacatecas, la agricultura es una de las principales actividades económicas, en el año agrícola 2024 el valor de la producción generado fue de 24,009,761.49 millones de pesos en 1,102,615.46 hectáreas cultivadas, de esta superficie sólo el 11% disponen de agua para riego, el resto (89%) es de temporal (SIAP, 2025). Se reconoce que la agricultura a campo abierto es vulnerable a los eventos extremos ocasionados por el fenómeno del cambio climático (excesos o escases de agua, sequía, heladas, así como altas variaciones en temperatura y humedad relativa) (Madsen y Cifuentes, 2022).

La mayor parte de la producción de alimentos vegetales que se practica en el estado de Zacatecas depende de las lluvias, esto incluye productos importantes para la seguridad alimentaria nutricional (maíz, frijol, guayaba, avena, chiles secos, ajos y tuna) (Ceceñas-Jacquez y Morales-Carrillo, 2015), sobresaliendo el frijol por ser uno de los principales alimentos básicos en la alimentación de la población. El frijol tiene un rol importante en la seguridad alimentaria de la población, siendo una fuente clave de proteínas y nutrientes esenciales, además de ser considerado como un producto cultural y estratégico para el desarrollo rural del estado y del país (Padilla-Bernal, 2012). En este sentido, el frijol, como cultivo fundamental en la dieta de las familias, se convierte en un punto estratégico por lo cual es importante evaluar los efectos de las sequías en su producción y la repercusión en la seguridad alimentaria en Zacatecas, México.

Materiales y métodos

El área de estudio corresponde al estado de Zacatecas, situado en la porción centro-norte de la República Mexicana. Posee una superficie de 74,668 km^2, que corresponde a 3.7% de la superficie total del país. El clima dominante en la mayor parte del territorio zacatecano es seco y semiseco (73%), con una temperatura media anual de 17 °C, con una temperatura máxima de 30 °C en el mes de mayo una mínima promedio anual de 3 °C en el mes de enero; la precipitación media anual es de 510 mm, con lluvias en verano (junio a septiembre) (Pita y Ortega, 2019; SMN, 2025; Balleza y Villaseñor, 2002).

La investigación se basó en un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión integral de las variables climáticas (temperatura y precipitación), la producción de frijol y la seguridad alimentaria en Zacatecas. La metodología se estructuró en las siguientes fases: 1) revisión sistemática y critica de información documental sobre el impacto del cambio climático en la producción de frijol, y su efecto en la seguridad alimentaria en Zacatecas México.

Se utilizaron datos publicados en artículos científicos y bases de datos de INEGI y SAGARPA; además, se analizaron datos estadísticos de fuentes oficiales como el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2) análisis de series de tiempo: se analizaron cuantitativamente series históricas de datos oficiales (SIAP) sobre rendimiento (t ha^{-1}) de frijol y series de datos climáticos (SMN-CONAGUA) de la precipitación media anual y temperatura en el estado de Zacatecas durante el periodo 2015-2024 y, 3) Cuantificación y validación de la relación entre las variables evaluadas, a través de un análisis de regresión usando el software Excel© 2023.

Resultados y discusión

Durante el periodo 2015-2024, se observó una tendencia creciente en la temperatura media durante los meses de desarrollo del cultivo de frijol (julio-octubre), pasando de 19.7 °C a 22.4 °C. Este aumento sugiere un proceso de calentamiento climático regional. Por otro lado, la precipitación muestra alta variabilidad, sin una tendencia clara, presentando años con valores altos (500 mm) y otros con descensos marcados (250 mm) indicando cambios estacionales extremos o fenómenos climáticos como sequías o lluvias intensas (Figura 1).

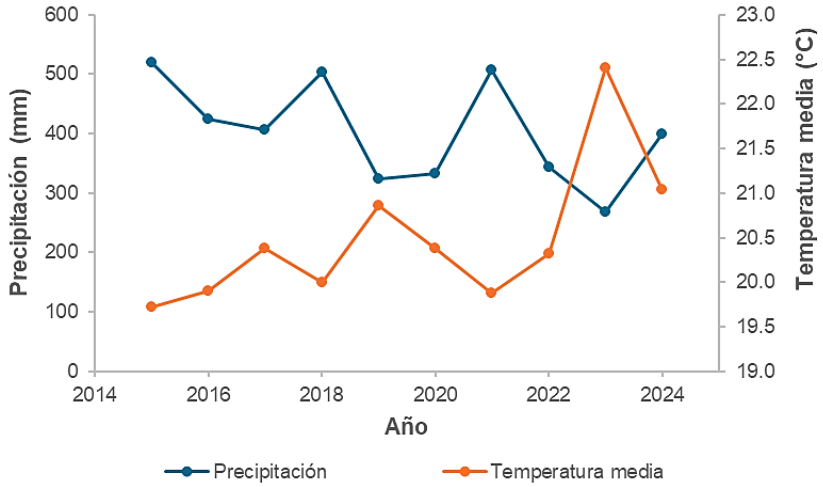


Figura 1. Precipitación acumulada y promedios de temperatura media durante los meses de desarrollo del cultivo y el periodo de estudio. Elaboración propia con datos de SMN (2025).

En paralelo, la producción de frijol presentó fluctuaciones significativas. Se registraron picos de alta producción en 2018 y 2021, seguidos de caídas abruptas en 2019, 2022 y 2023, donde se alcanzó el punto más bajo (Figura 2). Aunque se presentan valores ascendentes, en 2023 se registró una caída del 36% en la producción agrícola, lo que sugiere un decremento del sector agrícola en la región. El frijol es un cultivo emblemático de la agricultura, desatacando su producción en sistemas de temporal, lo que hace que sea un cultivo vulnerable a las variaciones climáticas, plagas y enfermedades, principalmente (Chávez y Armas, 2024).

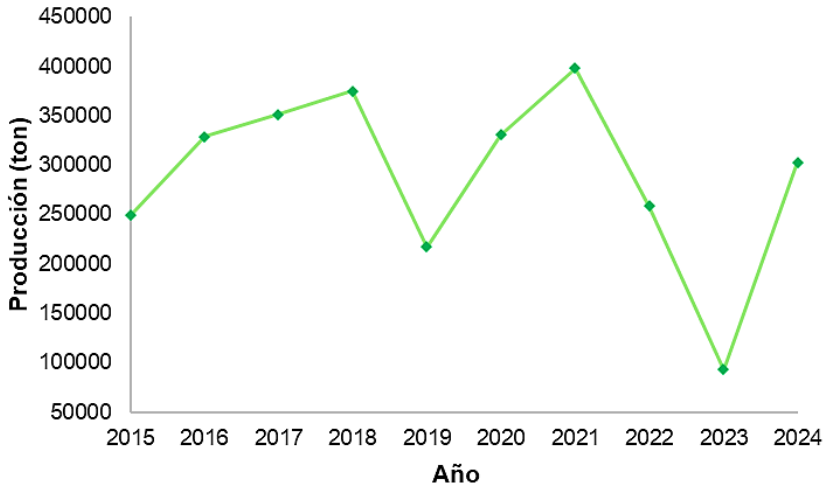


Figura 2. Producción de frijol de temporal durante el periodo 2015-2024 en Zacatecas, México. Elaboración propia con datos del SIAP (2025).

En cuanto a la correlación entre la producción y la precipitación, es positiva (r= 0.67; R^2= 0.45), lo que indica que la precipitación tiene un impacto significativo en la producción de frijol. Mientras que la correlación entre la producción y la temperatura es negativa (r= -0.51; R^2= 0.26), mostrando que la producción tiende a disminuir ligeramente a medida que aumenta la temperatura, sugiriendo que esta variable tiene un efecto sobre la producción de frijol, pero menos determinante que la precipitación (Figura 3).

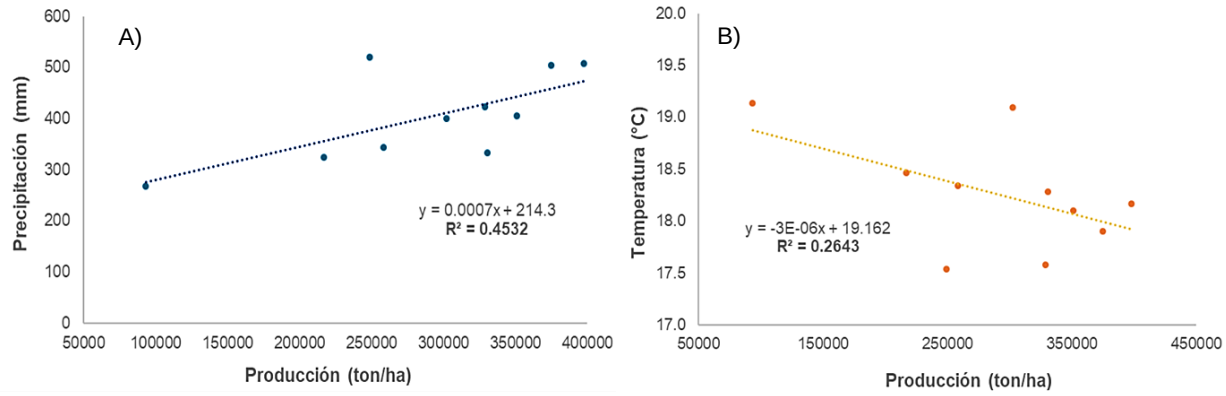


Figura 3. Correlación de la producción de frijol de temporal con la A) precipitación y B) la temperatura.

Lo anterior, permite resaltar que años con clima equilibrado (temperatura y precipitación moderada) coincide con niveles altos de producción, mientras que temperaturas elevadas y baja precipitación tienden a mostrar descensos críticos en la misma, siendo el clima un factor determinante en la productividad del frijol, y su variabilidad representa un riesgo para la estabilidad agrícola y seguridad alimentaria.

Resultados similares han sido presentado por otros autores refiriendo que el déficit hídrico es el factor de mayor impacto en la reducción del rendimiento de frijol, después de las enfermedades, prácticas agrícolas y otros factores. Así mismo, se ha señalado que el crecimiento, número de vainas por planta, la masa y el tamaño de los granos se ven afectados por la presencia de un déficit hídrico en el suelo en las etapas vegetativas y reproductivas de diferentes variedades de frijol (Acosta-Díaz et al., 2009; Polón et al., 2003; Morales et al., 2025).

Analizando la importancia de este cultivo, sobresale que más allá de su valor económico tiene un efecto sobre la sociedad ya que juega un papel crucial en la seguridad alimentaria local. Durante el periodo 2015-2024, se han reportado diversos indicadores de seguridad alimentaria en Zacatecas, que son importantes destacar: el estado se encuentra en un grado de marginación media con un índice de 19.5, el 17.4% de la población ha sufrido de carencias por acceso a alimento nutritivos, se ha registrado un aumento de la migración de la población, se tiene mayor deserción escolar en infantes, los agricultores enfrentan precios bajos en la venta de sus productos y un aumento en los costos de los productos básicos, por lo que prefieren no cosechar por falta de rentabilidad (CONAPO, 2025; INSP, 2022). Lo anterior, muestra los riesgos presentes en los cuatro pilares de la seguridad alimentaria (disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad) asociados al cambio climático y productividad, por lo cual se deberán diseñar e implementar acciones para el fortalecimiento de la agricultura familiar y la seguridad alimentaria.

Conclusiones

La información muestra que las altas temperaturas y baja precipitación afectan de manera negativa la producción de frijol en Zacatecas. Resaltando que la precipitación es el factor que mayor impacta el rendimiento del cultivo, por la significancia de la correlación encontrada (r=0.67) entre las variables.

Referencias

Acosta-Díaz, E., Acosta-Gallegos, J. A., Amador-Ramírez, M. D., y Padilla-Ramírez, J. S. (2009). Efecto del riego suplementario en la producción de biomasa y grano de frijol de temporal en Zacatecas, México. *Agricultura técnica en México*, *35*(2), 157-167.

Balleza, J. de J., & Villaseñor, J. L. (2002). La familia Asteraceae en el estado de Zacatecas (México). *Acta Botánica Mexicana*, (59), 5-69.

Ceceñas-Jacquez, O., & Morales-Carrillo, N. (2015). Perspectivas de desarrollo de los productores de frijol en Sombrerete, Zacatecas*. Ra Ximhai*, *11*(5), 97-109.

Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2025). Índices de marginación. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372

Chávez G., M. E., & Armas A., E. (2024). Agricultura Tradicional y Garantía Alimentaria en la Región de Cuitzeo, Michoacán: Un Análisis de Resiliencia y Sostenibilidad. Edit. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional. Ciudad de México.

Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). (2022). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2021: Resultados nacionales. INSP. https://ensanut.insp.mx/

Madsen, S., & Cifuentes, R. (2018). Los impactos de la sequía en los pequeños productores de Sunsure, El Progreso: la resiliencia y seguridad alimentaria. *Revista de la Universidad del Walle, 35*.

Morales G., D., Guerrero D., L., y Santa Cruz S., A. (2025). Efecto del déficit hídrico en el suelo en diferentes etapas del crecimiento y desarrollo del cultivo del frijol. *Cultivos Tropicales*, *46*(1).

Padilla-Bernal, L. E., Reyes-Rivas, E., Lara-Herrera, A., & Pérez-Veyna, O. (2012). Competitividad, eficiencia e impacto ambiental de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Zacatecas, México*. Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *3*(6), 1187-1201.

Pita D., O. & Ortega G., D. (2019). Análisis de índices de cambio climático en el estado de Zacatecas. Quinto Congreso Nacional COMEII, Mazatlán, Sin. Memorias de Congreso.

Polón P., R., Miranda C., A., Maqueria L., L. A., y Ramírez A., M. A. (2013). Efecto de diferentes intensidades de estrés hídrico en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *22*(4), 60-64.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2025). Normales climatológicas, periodo 1991-2024. Información Climatológica del estado de Zacatecas. Conagua. Méx.

SIAP. (2025). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Dirección General del Servicio de Información Agrícola y Pesquera. México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA VARIABILIDAD DE ANILLOS DE CRECIMIENTO DE *Ehretia anacua* (Terán & Berland.) I.M.Johnst., EN UN AMBIENTE URBANO DE TORREÓN, COAHUILA.

Fátima Reyes-Camarillo[1]*, José Villanueva-Díaz[2], Adín H. Velázquez-Pérez[1], Citlalli Cabral-Alemán[2], José Manuel Zúñiga-Vásquez[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez, Bermejillo (C.P. 35230), Durango, México. [2]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, km.6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio (C.P 35140), Durango. México. *Autor de correspondencia: fatimareyesca@gmail.com

Introducción

La dendrocronología es una disciplina consolidada que permite reconstruir la variabilidad ambiental y climática a partir de los anillos de crecimiento de los árboles (Fritts 1976; Anchukaitis, 2017). A lo largo de las últimas décadas, esta técnica ha generado valiosa información sobre la dinámica de los ecosistemas forestales, la variabilidad hidroclimática presente a nivel local o regional y de los impactos del cambio climático en diversas regiones del mundo (Čufar, 2007; Frank et al., 2022). Un problema, sin embargo, es que la mayoría de los estudios dendrocronológicos se han enfocado en especies presentes en bosques naturales o de alta montaña, mientras que el potencial de las especies establecidas en ambientes urbanos o conurbados ha sido poco explorado o desdeñado (Dahlhausen et al., 2016).

Los árboles urbanos constituyen una parte esencial del entorno ecológico de las ciudades, donde, además, proveen múltiples servicios ecosistémicos, no obstante enfrentar condiciones de crecimiento restrictivas como son: disponibilidad irregular de agua, podas frecuentes disturbios como compactación del suelo, contaminación atmosférica y efectos asociados a la isla de calor urbano (Gillner et al., 2014). Estas condiciones, aunque diferentes a las de bosques naturales, no necesariamente eliminan la señal ambiental registrada en los anillos de crecimiento. De hecho, varios estudios han demostrado que especies urbanas pueden conservar información climática útil, además de permitir analizar cómo el manejo humano y los factores urbanos modifican su respuesta al ambiente que los rodea (Schneider, 2021; Diosa et al., 2024).

En la comarca lagunera, se encontró que los árboles de *Fraximus Uhdei* (Fresno) en el Bosque Venustiano Carranza de Torreón, Coahuila y Parque Victoria de Lerdo, Durango, mostraron potencial dendrocronológico (Villanueva et al., 2015). En este contexto, evaluar la formación y variabilidad de los anillos de crecimiento en especies urbanas, representa un primer paso para ampliar el campo de aplicación de la dendrocronología (Gillner et al., 2014). Antes de desarrollar cronologías robustas que permitan reconstrucciones climáticas o ecológicas de largo plazo, es necesario comprobar si las especies seleccionadas forman anillos anuales distinguibles y si estos reflejan variación interanual suficiente para capturar señales ambientales.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la variabilidad del grosor de los anillos de crecimiento de *Ehretia anacua* en la zona urbana de la ciudad de Torreón, Coahuila. La hipótesis plateada es que el ancho de los anillos de crecimiento de *E. anacua* son de carácter anual y muestran variabilidad a través del tiempo, lo que puede permitir la evaluación de su potencial dendrocronológico.

Materiales y métodos

Se seleccionaron 8 individuos de *E. anacua* ubicados en dos colonias de la ciudad de Torreón Coahuila, México (Figura 1). De cada árbol se extrajeron dos núcleos de incremento a 1.3 m de altura en orientaciones opuesta, empleando un Taladro de Pressler de 5.1 mm de diámetro interno Para cada muestra se registraron las coordenadas geográficas, condiciones del entorno inmediato y observaciones sobre su manejo (riego, poda, compactación del suelo).

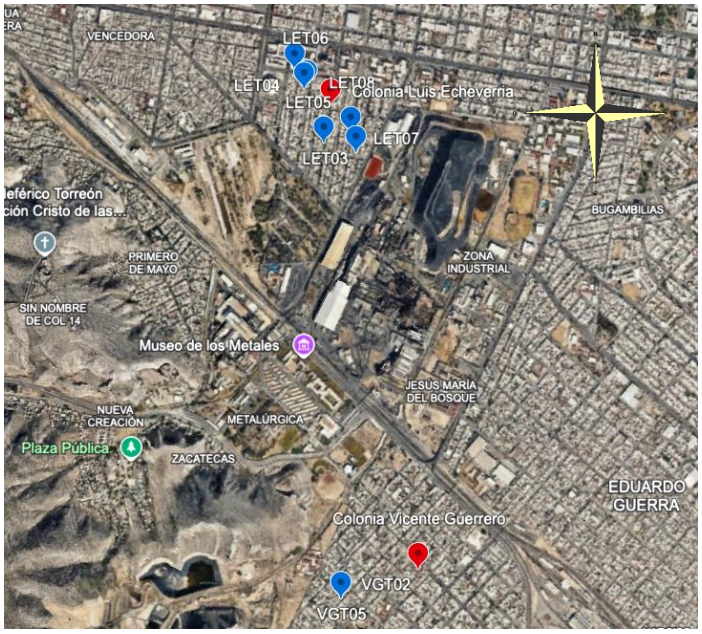


Figura 1. Sitios de colecta de árboles de *E. anacua* en la zona sur de Torreón, Coahuila. Los puntos azules representan los individuos muestreados.

Los incrementos radiales se montaron en soportes de madera y se lijaron con lijas de grano progresivo hasta obtener superficies lisas que permitieran distinguir los límites de los anillos. El grosor de los anillos se midió en un sistema de medición VELMEX con una resolución de 0.01 mm. La datación anual de los anillos se realizó mediante técnicas de datación cruzada visual y con apoyo del programa COFECHA, que determina la calidad del fechado al detectar posibles desfasamientos en el datado y errores de medición (Holmes, 1983). Se elaboraron series de medición por núcleo y posteriormente se determinó un promedio por año, al considerar la medición de todo los núcleos. Para obtener índices de ancho de anillo, las series se estandarizaron ajustando curvas exponenciales negativas con el programa ARSTAN, con el fin de eliminar tendencias de edad y resaltar la variabilidad interanual (Cook, 1987).

Se calcularon estadísticos básicos de ancho promedio de anillo en mm, desviación estándar (DS), sensibilidad media (SM), autocorrelación de primer orden (AC1), correlación entre series (Rbar) y señal expresada por la población (EPS) (Wigley et al., 1984). Finalmente se generaron gráficas de las series individuales para un análisis visual de la variabilidad de los anchos de anillo.

Resultados

La cronología de ancho de anillo obtenida para *E. anacua* abarcó el periodo 1973–2025 (53 años). La media del índice de crecimiento es cercana a la unidad, con una desviación estándar de 0.576, indicando una variabilidad interanual moderada. El índice de sensibilidad (IS) sugiere que los anillos responden de manera moderada a variaciones ambientales anuales, mientras que la autocorrelación de primer orden (AC1) refleja una baja persistencia de crecimiento de un año a otro. La consistencia interna de las series es limitada, con un Rbar de 0.116 y un EPS de 0.397, lo que indica que la cronología aún no representa de manera confiable la señal común de crecimiento del sitio, probablemente debido al reducido número de árboles muestreados.

Cuadro 1. Estadísticos dendrocronológicos para *E. anacua*

Número de árboles	Número de series	Periodo de la cronología	Media	DE	IS	SM	Rbar	EPS	AC1
8	10	1973 - 2025	0.981	0.576	0.336	0.6	0.116	0.397	0.134

DE = desviación estándar, IS = intercorrelación entre series, SM = sensibilidad media, Rbar = coeficiente de correlación entre series, EPS = señal expresada por la población, AC1 = autocorrelación de primer orden.

La figura 2 muestra variabilidad interanual clara, pero con baja sincronización entre árboles, lo que refuerza la idea de que la cronología preliminar refleja cierta respuesta ambiental pero aún no es muy representativa de la señal común del sitio.

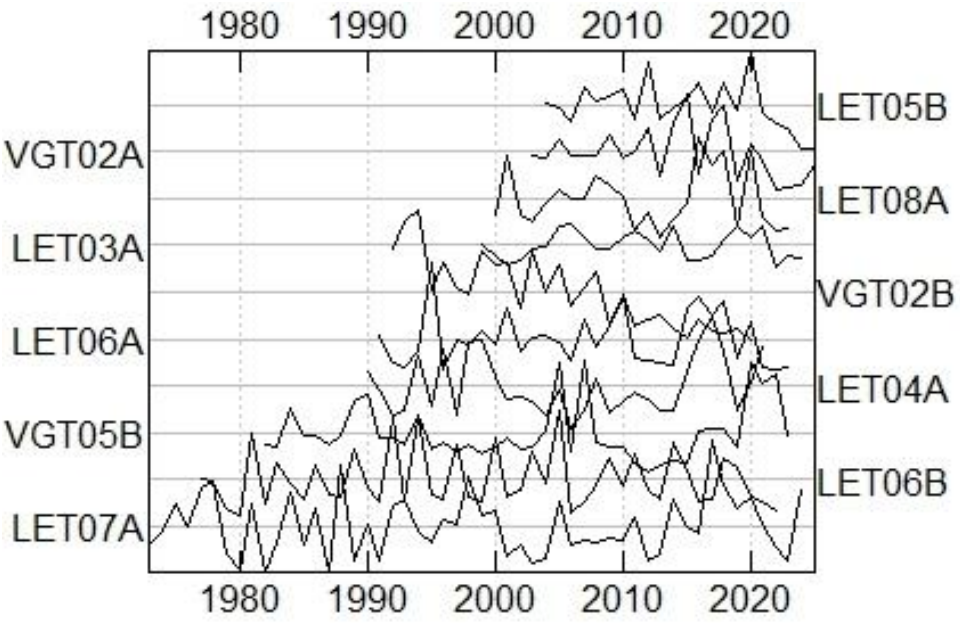


Figura 2. Gráfico de espagueti que muestra la variabilidad de los anillos de *E. anacua* en cada muestra.

Conclusiones

Los árboles de *E. anacua* muestreados en las colonias Luis Echeverria y Vicente Guerrero de la ciudad de Torreón, Coahuila presentan variabilidad en sus anillos de crecimiento, posiblemente derivado de la influencia climática o bien del manejo al que han estado sujetos o de una interacción entre ambos. Los estadísticos dendrocronológicos obtenidos resultaron inferiores a los umbrales comúnmente aceptados para cronologías robustas, lo cual era esperado debido al número reducido de muestras y al contexto urbano en que se han desarrollado. Estos valores reflejan una coherencia limitada y una señal común relativamente débil, probablemente influenciada por factores no climáticos propios del ambiente urbano, como el riego, la poda y la compactación del suelo.

A pesar de ello, los resultados indican que la especie forma anillos anuales distinguibles y presentan variabilidad interanual en su crecimiento radial, lo que sugiere un potencial de interés para estudios dendrocronológicos más amplios. Para fortalecer esta línea de investigación es necesario incrementar el tamaño de muestra, incorporar poblaciones de ambientes naturales como referencia y explorar comparaciones entre condiciones urbanas y no urbanas. De esta manera, podrá evaluarse con mayor precisión la capacidad de las especies para registrar señales climáticas y su utilidad en estudios de reconstrucción ambiental o climática de largo plazo.

Referencias

Anchukaitis, K. J. (2017). Tree rings reveal climate change past, present, and future. Proceedings of the American Philosophical Society, 161(3), 244-263.

Cook, E. R. (1987). The decomposition of tree-ring series for environmental studies. Tree-Ring Bulletin, 47:37-59.

Čufar, K. (2007). Dendrochronology and past human activity—A review of advances since 2000. Tree-Ring Research, 63(1), 47-60.

Dahlhausen, J., Biber, P., Rötzer, T., Uhl, E., & Pretzsch, H. (2016). Tree Species and Their Space Requirements in Six Urban Environments Worldwide. Forests, 7(6), 111. https://doi.org/10.3390/f7060111

Diosa O., Giraldo J., Franco G., Vásquez M., Orrego S. (2024). Sensibilidad de los anillos de crecimiento de *Fraxinus uhdei* a la temperatura y precipitación en el área urbana de Medellin, Colombia. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 76 (3), A060524. http//dx.doi.org/10.18268/BSGM2024v76n3a06524

Frank, D., Fang, K., & Fonti, P. (2022). Dendrochronology: Fundamentals and innovations. In Stable isotopes in tree rings: Inferring physiological, climatic and environmental responses (pp. 21-59). Cham: Springer International Publishing.

Fritts, H.C. (1976). Tree Rings and Climate. Academic Press: London, UK; New York, NY, USA.

Gillner, S., Bräuning, A., & Roloff, A. (2014). Dendrochronological analysis of urban trees: climatic response and impact of drought on frequently used tree species. Trees, 28(4), 1079-1093.

Holmes R, L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement, Tree-Ring Bulletin, 43:69-78.

Villanueva Díaz, J., Pérez Evangelista, E. R., Beramendi Orozco, L., & Cerano Paredes, J. (2015). Crecimiento radial anual del fresno (Fraxinus udhei (Wenz.) Lingelsh.) en dos parques de la Comarca Lagunera. Revista mexicana de ciencias forestales, 6(31), 40-57.

Wigley, T. M., Briffa, K. R., & Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. Journal of Applied Meteorology and climatology, 23(2), 201-213.

REGISTRO DE *Ophryastes decipiens* LECONTE 1853 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EN LAS DUNAS DE BILBAO, COAHUILA, MÉXICO.

J. Isabel López-Arroyo[1*], Macotulio Soto-Hernández[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental General Terán, Km 31 Carr. Montemorelos-China, General Terán, N.L., México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo, Km 21.5 Carr. Saltillo-Acuña, Saltillo, Coah., México. *Autor de correspondencia: lopez.jose@inifap.gob.mx

Introducción

Las Dunas de Bilbao es un campo de dunas de 50 ha que forman parte de la Reserva Voluntaria de La Villa de Bilbao (25º 26' 32.72" N y 102º 51' 50.14" O), en Viesca, Coah., México, la cual cubre una superficie total de 22,000 ha (García y Romero, 2012; S.M.A., 2014). Esta zona del estado de Coahuila, es parte del gran Desierto Chihuahuense, integrado en México también por los estados de Chihuahua, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, y Zacatecas; así como por Arizona, New Mexico, y Texas, en Estados Unidos de América (Angell, 2025). Las Dunas de Bilbao son del tipo barjanes (forma de luna creciente), caracterizadas por formarse cuando el viento sopla en una sola dirección, creando en la arena formas elípticas con una superficie cóncava que llega a medir de tres a 10 m de altura. La cara de deslizamiento (la pendiente a favor del viento o barlovento) es típicamente convexa, con una pendiente máxima promedio de 12°, mientras que la pendiente de sotavento se caracteriza por una cara de deslizamiento de 33–34° (Pye y Tsoar, 2009). El Desierto de Chihuahua es uno de los más extensos y diversos del mundo, su vegetación típica está integrado por más de 3500 especies descritas de plantas (Zavala-Hurtado y Jiménez, 2020; Angell, 2025), y es hábitat de diversos vertebrados adaptados a este ambiente, comprende además una diversidad extensa de artrópodos, tan solo en varias regiones de estudio del desierto, se encontraron 306 especies de éstos, característicamente habitantes del suelo (Lightfoot et al., 2008); sin embargo, para las Dunas de Bilbao, solo existen registros de vegetación y vertebrados, sin información fidedigna de artrópodos (García y Romero, 2012; S.M.A., 2014). El presente documento reporta la existencia en el área de una especie particular de Curculionidae (Coleoptera).

Materiales y métodos

Se realizó una exploración de reconocimiento por el área turística de Las Dunas de Bilbao, Viesca, Coahuila, México, el 27 de diciembre de 2024. Por su particular presencia, se colectaron manualmente insectos identificados preliminarmente como especímenes de la familia Curculionidae (Coleoptera), éstos caminaban en la arena en forma individual. Especímenes en caminata y las huellas realizadas fueron fotografiadas con cámara de teléfono celular. Los ejemplares colectados se depositaron en frascos con alcohol al 70%, y fueron debidamente etiquetados. En laboratorio se montaron en triángulos de papel en alfileres entomológicos, se revisaron bajo microscopio estereoscopio Karl Zeiss Stemi DV4. La identificación se realizó con las claves de Kissinger (1970); todos los ejemplares se compararon con especímenes depositados en la colección de Curculiónidos de México. Posteriormente, se capturaron imágenes con una cámara digital Nikon D7500, procesadas en NX Studio y Photoshop con el método apilado de imágenes. Todos los ejemplares estudiados se encuentran depositados en la colección Curculiónidos de México ubicada en el Sitio Experimental Zaragoza del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Resultados y discusión

Se obtuvieron siete ejemplares de especies de la familia Curculionidae, cuatro de coloración blancuzca y tres obscuros (Figuras 1, 2 y 3); fueron encontrados en un radio de colecta de 80 m y en un período menor a 90 minutos. Los caracteres morfológicos presentes en ambos grupos fueron similares y descriptivas de la especie *Ophryastes decipiens* Leconte 1853; la cual, se diferencia de otras especies por la siguiente combinación de caracteres: presenta la cabeza y rostro sin sutura transversal, lóbulos postocular poco desarrollados, tibia posterior con el corbel ancho cubierto de escamas densas, pronoto con puncturas profundas, élitros ligeramente estriados, cubierto con parches entremezclados de escamas negras y grisáceas (Kissinger, 1970) (Fig. 1).

Figura 1. Forma blancuzca de *O. decipiens* en Las Dunas de Bilbao, Viesca, Coah., Méx.

El género *Ophyrastes* es de origen americano, contiene 48 especies descritas, encontradas principalmente en hábitats áridos y semiáridos (Kissinger, 1970; O'Brien y Wibmer, 1982). Para México, existe registro de 33 especies (O'Brien y Wibmer, 1982; Morrone, 2014) y han sido encontradas principalmente en los estados de la Península de Baja California, Coahuila, Nuevo León, Querétaro, Sonora, y Tamaulipas (O'Brien y Wibmer, 1982; Ecdysis.org, 2025;¸Soto-Hernández et al., 2023). En Coahuila, el primer registro de colecta de *O. decipiens* se efectuó en el municipio de Cuatro Ciénegas, en 1968; en Matamoros, se registró en 1971 aproximadamente a 15 km al noroeste de Las Dunas de Bilbao (Ecdysis.org, 2025).

Figura 2. Forma obscura de *O. decipiens* y huellas del caminar en Las Dunas de Bilbao, Viesca, Coah., Méx.

Los especímenes de *O. decipiens* en las Dunas de Bilbao, caminaban individualmente en la arena y se desplazaban horizontalmente a la superficie o transversalmente en las pendientes existentes de las dunas (Fig. 2 y 3). Las huellas frescas encontradas de su caminar aparecían relativamente cercas del trayecto de otros congéneres; los rastros pasados del caminar también se encontraban amplificadas por el desplazamiento de la arena (Fig. 3). Rastros pasados y el caminar de los especímenes en activo fotografiados, sugieren una posible abundancia o período de actividad mayor en el día.

Las plantas huéspedes registradas para *O. decipiens* incluyen al cenizo (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. (Amaranthaceae)), gobernadora (*Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville (Zygophyllaceae)), especies de mezquites (*Prosopis* spp.), chaparro prieto (*Vachellia constricta* (Benth.) Seigler & Ebinger), palo verde (*Parkinsonia* sp.), y palo fierro *Olneya tesota* A. Gray (Fabaceae) (Ecdysis, 2025), de éstas, las tres primeras existen en las Dunas de Bilbao (SMA, 2014), y representan las únicas familias de plantas registradas en que se ha colectado al insecto (García et al., 2021). La abundancia de estas especies vegetales en el área es escasa y dispersa. La presencia del insecto en un hábitat donde los sitios de alimentación, apareamiento y reproducción existen bajo las características indicadas de escasez y distribución, genera preguntas relativas al motivo de su ocurrencia en el área y las caminatas efectuadas, ya que por su incapacidad natural para volar, éstas le representan exponerse completamente y posiblemente indefenso al ataque de enemigos naturales ¿Qué factor lo atrae para tomar ese riesgo?¿Existen en las dunas condiciones para alimentarse, reproducirse y permanecer como una población endémica del área? ¿O constituyen solo un sitio que requiere ser atravesado en el desplazamiento hacia otra zona fuera de ellas? Indudablemente, O. decipiens es parte del ecosistema de las dunas; su comportamiento sexual, reproductivo y alimenticio, rasgos biológicos, dinámica temporal y espacial, y contribución al delicado equilibrio del área permanecen por ser determinados. Este es el primer registro fehaciente de la ocurrencia de O. decipiens en las dunas y la primera de una especie de artrópodo para esta localidad; también marca por el momento el punto más alejado de su distribución sur, y constituye además, una contribución al estudio integral de la biodiversidad del área.

Figura 3. Forma blancuzca de *O. decipiens,* ascenso de la duna y huellas recientes y pasadas del caminar en Las Dunas de Bilbao, Viesca, Coah., Méx.

Conclusiones

Se registró e identificó la presencia de *O. decipiens* en las Dunas de Bilbao, Viesca, Coah., Méx., y se establece el primer registro fehaciente de una especie de insecto en esta área.

Agradecimientos

Se agradece al INIFAP por las facilidades prestadas para el desarrollo del estudio. Muchas gracias también a F. Isaeret López por las fotografías en las dunas. Asimismo, agradecemos a La Reserva Voluntaria de La Villa de Bilbao por la protección del área.

Referencias

Angell, K. (2025). Desierto de Chihuahua. Brittanica. https://www.britannica.com/place/Chihuahuan-Desert.

Ecdysis.org (2025). Ecdysis. A portal for live-data arthropod collections. https://ecdysis.org/taxa/index.php?taxauthid=1&taxon=14518&clid=11

García, C., y Romero, U. (2012). Diversidad biológica de las dunas de Viesca, Coahuila, México. Ed. Académica Española. Alemania. 73 pp.

García, M. O., Soto, H. M., Ordaz, S. S. y Ordaz, O. D. (2021). Weevils (Coleoptera: Curculionidae) of Coahuila de Zaragoza, México. Southwestern Entomologist, 46(4): 947-956.

Kissinger, D.G. (1970). Curculionidae Tribe Ophryastini of North America (Coleoptera). Taxonomic Publications, South Lancaster, MA. V + 238 pp.

Lightfoot, D. C., Brantley, S. L., & Allen, C. D. (2008). Geographic patterns of ground-dwelling arthropods across an ecoregional transition in the North American Southwest. *Western North American Naturalist*, *68*(1), 83-102.

Morrone, J.J. (2014). Biodiversidad de Curculionoidea (Coleoptera) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl. 85: 312-324.

O'Brien, C.W. and Wibmer, G.J. (1982). Annotated checklist of the weevils (Curculionidae *sensu lato*) of North America, Central America, and the West Indies (Coleoptera: Curculionoidea). *Mem. Am. Ent. Inst.* 34. 382.

Pye, K. and Tsoar, H. (2009). Aeolian Sand and Sand Dunes. Springer, Leipzig, Germany. 458 pp.

S.M.A. 2014. Programa de manejo de La Reserva Natural Voluntaria Villa De Bilbao Municipio de Viesca Coahuila de Zaragoza. Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Coahuila. https://sma.gob.mx/anp-villa-de-bilbao/

Soto-Hernández, M., Torres-Castillo, J. A., Juárez-Aragón, M. C., & Torres-Acosta, R. I. (2023). Curculionidae Associated with Larrea tridentata (Sessé & Moc. Ex DC) Zygophyllaceae at Miquihuana, Tamaulipas. *Southwestern Entomologist*, *48*(2), 397-404.

Zavala-Hurtado, J.A., & Jiménez, M. (2020). Diversity and Uniqueness at Its Best: Vegetation of the Chihuahuan Desert, pp. 1-18. In: Mandujano, M.E., Pisanty, I., and Eguiarte, L.E. (eds.) Plant Diversity and Ecology in the Chihuahuan Desert. Emphasis in the Cuatro Ciénegas Basin. Springer. Switzerland.

ANÁLISIS DEL CONTENIDO NUTRIMENTAL DE ENMIENDAS ORGÁNICAS ASOCIADO A LA MATERIA ORGÁNICA

Cristo O. Puente-Valenzuela*, Ramón Trucíos Caciano, Nuria Aide López-Hernández, Eva Aurora Bautista-Calderón, Gerardo Delgado-Ramírez.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango. *Autor de correspondencia: puente.cristo@inifap.gob.mx

Introducción

El uso de enmiendas orgánicas es una estrategia de la agricultura para mejorar la fertilidad del suelo y asegurar un aporte de nutrientes para los cultivos. El proceso de descomposición y mineralización de las enmiendas orgánicas libera los nutrientes de manera gradual y sostenida, lo que reduce las pérdidas por lixiviación en comparación con los fertilizantes sintéticos (Islam et al., 2020). Mejora de las características físicas del suelo, como su estructura, aireación y filtración de agua (Rodríguez & Barros, 2022). Enmiendas como el compost y el estiércol han demostrado aumentar significativamente los niveles de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes macro y micro, lo que se traduce en un mayor rendimiento y calidad de los cultivos (Adame-García et al., 2023). La comarca lagunera se caracteriza por el uso de estiércol bovino como abono para el cultivo de forrajes, debido a que es una de las cuencas lecheras principales del país; lo que genera una gran cantidad de estiércol haciendo de este un recurso atractivo para minimizar insumos de síntesis para la fertilización (Figueroa-Viramontes et al., 2010). Entre las practicas empleadas para optimizar el aprovechamiento de los nutrientes asociados a la materia orgánica es realizar procesos de extracción solido – liquido, biológicos y químicos (Möller, K., & Müller, 2012); la extracción más recurrente empleada localmente es mezclar el estiércol con agua para la elaboración de lixiviados o tes, así mismo suele practicarse fermentos con la adición de un detonante de la microbiología (melaza), por tal razón es este trabajo se contrastan enmiendas orgánicas con diferente nivel de contenido de materia orgánica y las enmiendas liquidas.

Materiales y métodos

Las datos fueron tomados del laboratorio nacional de servicios de análisis de suelos, agua, planta y medio ambiente, respetando la confidencialidad de los clientes. Los procedimientos analíticos empleados para la determinación de estos parámetros son: digestiones ácido nítrico - perclórico analizadas en el equipo de absorción atómica AAnalyst700 de la marca Perkin Elmer. Para la cuantificación de Potasio, Calcio, Magnesio, Sodio, Fierro, Cobre, Zinc y Manganeso por aspiración directa en flama aire – acetileno, la cuantificación de fósforo se realizó con solución mixta molibdato – metavanadato de amonio por espectrofotometría UV/VIS a una longitud de onda de absorción máxima de 490 nm, finalmente para la cuantificación del nitrógeno fue necesario tomar una alícuota de digerido Kjeldahl y someterlo al método de Berthelot para su cuantificación en el espectrofotometría UV/VIS (Plenecassagne et al., 1997).

De un total de 97 muestras analizadas se depuraron en función a la evidencia de adicionados para incrementar los valores de los nutrientes, al final se obtuvieron 47 muestras las cuales se agruparon en función al contenido de materia orgánica generando 4 grupos para las enmiendas solidas: S1 < 30 por ciento de materia orgánica, S2 con un contenido entre 30 a 40, S3 con contenido de 40 a 50 y S4 con contenido superior a 50 por ciento, finalmente un quinto grupo L representando a las enmiendas liquidas.

Una vez agrupados las unidades de cada parámetro analizado fueron homologadas a unidades porcentuales, para poder hacer el cálculo de contenido de nutriente en función al porcentual de materia orgánica. Se realizo un análisis de normalidad de Shapiro-Wilk a cada uno de los criterios para luego aplicar un análisis ordinario de anova de una vía, seguido por La prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD) de Fisher con una única varianza agrupada.

Resultados y discusión

En los cuadro del 1 al 3 se muestran la media y desviación estándar para cada uno de los parámetros analizados, agrupados de acuerdo a lo citado en la metodología, obteniendo n's de: 12, 11, 6, 6 y 12 respectivamente para cada grupo (S1, S2, S3, S4 y L).

Cuadro 1. Criterios de salinidad de compostas analizadas

MO(%)	pH	CE (dS/M)	Na (%)
< 30	7.24±1.49	7.14±6.95	0.43±0.30
30 - 40	7.64±1.13	7.1±8.36	0.32±0.29
40 - 50	7.2±1.88	4.01±3.66	0.32±0.35
> 50	7.84±1.41	3.8±1.68	0.31±0.26
Liquido	5.97±1.72	31.82±32.7	0.16±0.13

Cuadro 2. Criterios de parametros macro – elementos indicadores de fertilidad de compostas analizadas

MO(%)	Nt (%)	Pt(%)	Kt (%)	Ca (%)	Mg (%)
< 30	24.74±20.53	25.22±3.16	14.63±1.83	443.64±520.18	1118.9±1779.66
30 - 40	22.35±16.43	34.13±2.6	19.8±1.51	228.52±130.9	782.8±1670.03
40 - 50	10.44±7.08	43.87±2.45	25.45±1.42	212.12±140.06	1936.03±3342.3
> 50	11.13±9.05	68.58±11.34	39.78±6.58	223.59±100.82	391.88±475.79
Liquido	96.21±2.85	2.59±2.38	1.5±1.38	225.59±657.22	334.9±428.18

Cuadro 3. Criterios de parametros micro – elementos indicadores de fertilidad de compostas analizadas

MO(%)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)
< 30	112.4±113.76	12837.08±8455	218.74±165.02	378.75±171.07
30 - 40	114.55±127.36	13231.68±11639.14	325.51±252.51	659.88±677.52
40 - 50	31.81±13.42	18014.8±4309.89	195.53±56.89	583.94±197.32
> 50	87.68±102.74	5371.84±5118.64	152.13±99.61	259.89±166.93
Liquido	1.62±3.47	14.42±11.91	14.34±24.93	5.01±9.32

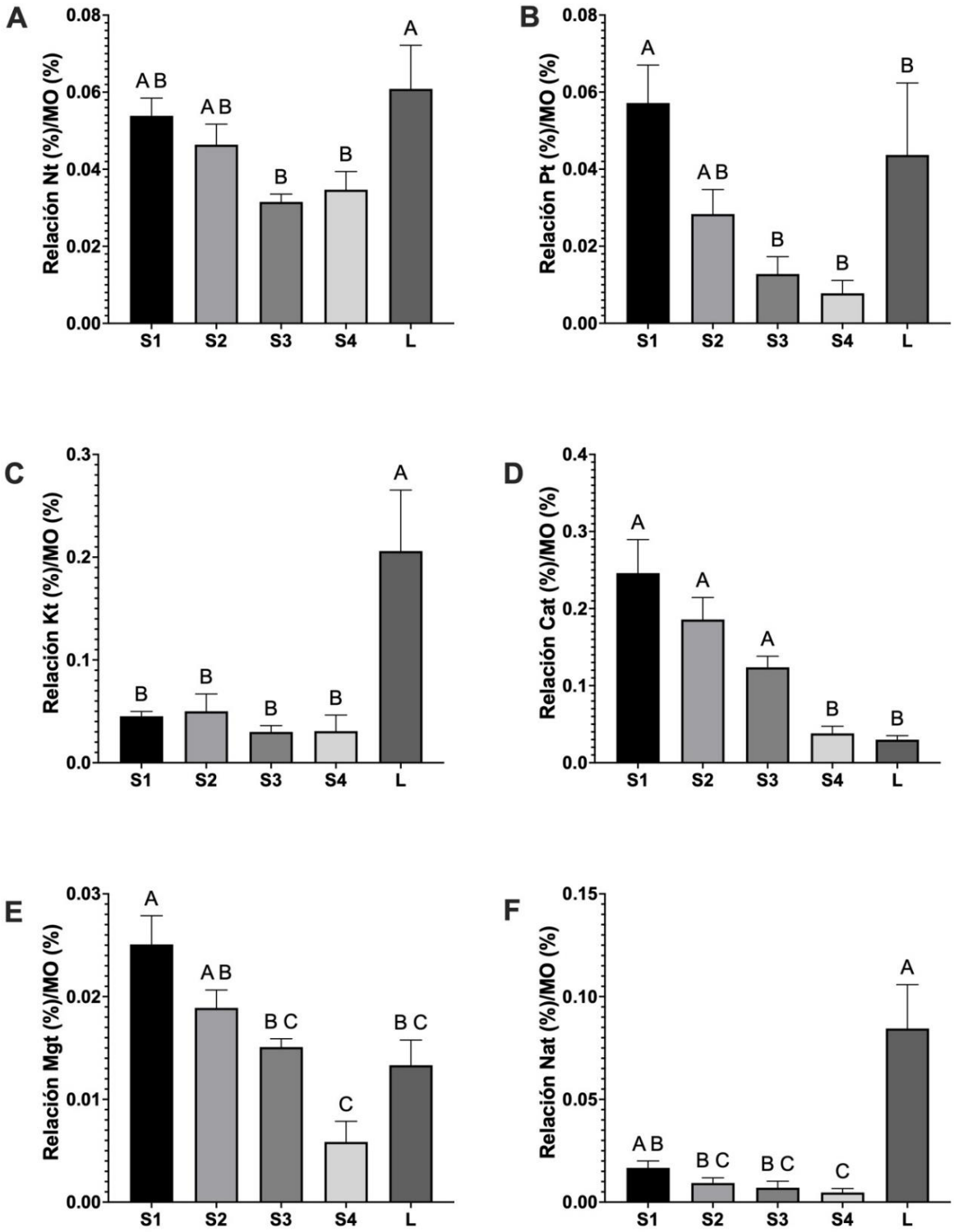


Figura 1. Relación de macronutrientes con respecto al contenido de materia orgánica. Para todos los casos se representa la media y error estandar de cada grupo estudiado, en el panel A: nitrógeno, B: fosforo, C: potasio, D: calcio, E: magnesio y F: sodio, grupos con letra distinta son estadisticamente significativos ($p < 0.05$) de acuerdo a un análisis ordinario de anova de una vía, seguido por La prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD) de Fisher con una única varianza agrupada usando GraphPad Prism version 10.6.1 para macOS.

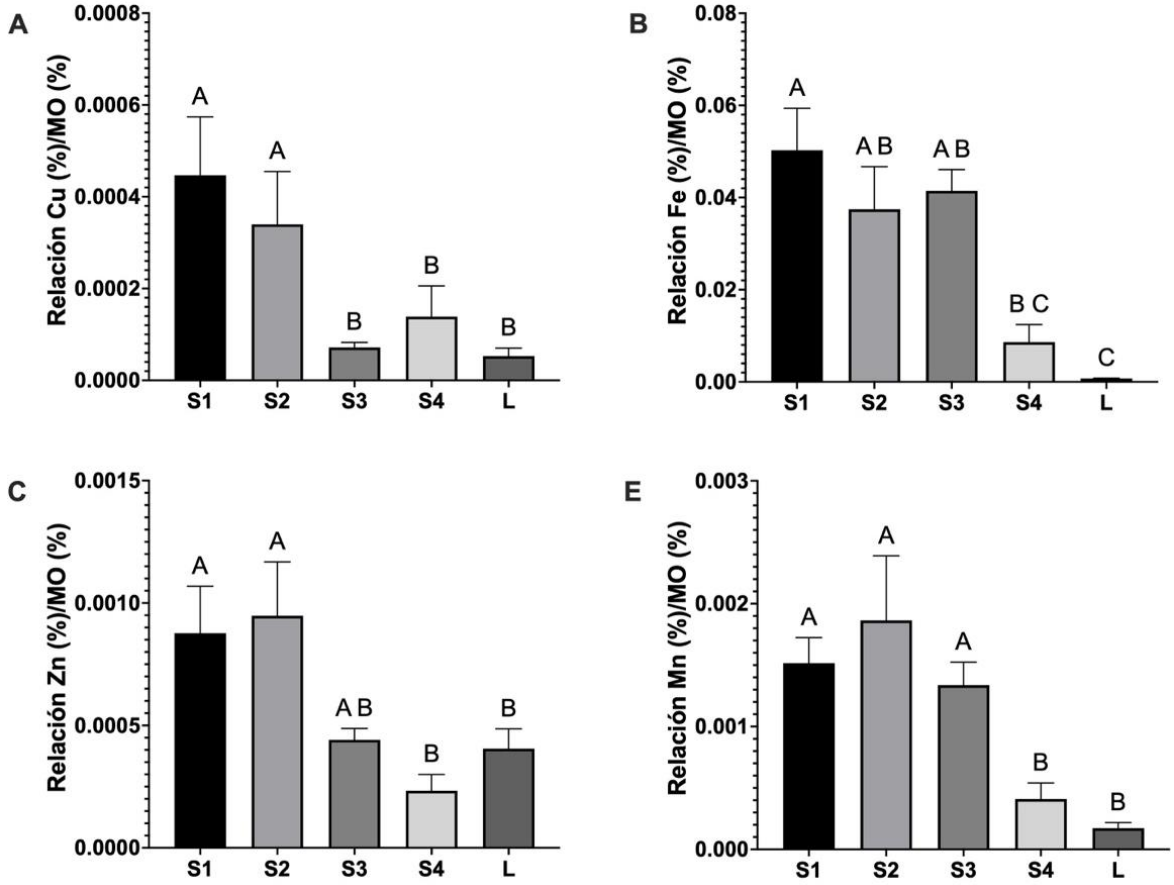


Figura 2. Relación de micronutrientes con respecto al contenido de materia orgánica. Para todos los casos se representa la media y error estandar de cada grupo estudiado, en el panel A: cobre, B: fierro, C: potasio, D: zinc y E: manganeso, grupos con letra distinta son estadisticamente significativos ($p < 0.05$) de acuardo a un análisis ordinario de anova de una vía, seguido por La prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD) de Fisher con una única varianza agrupada usando GraphPad Prism version 10.6.1 para macOS.

Los resultados muestran una relación inversa entre la cantidad de la materia orgánica y el contenido de macroelementos (Calcio, Magnesio y Fósforo) y microelementos (Cu, Fe, Zn y Mn), donde S1 y S2 presentan una mayor concentración de estos elementos por unidad de Materia orgánica (MO) (ver figura 1 y 2). Esto puede deberse a un efecto de concentración como lo sugiere Bernal et al., 2009, donde la MO es consumida por la acción microbiana concentrando nutrientes, al cual estarían sometidos las enmiendas maduras o con un tiempo de compostaje largo. Otra explicacion es un cambio de la composición de la materia orgánica entre los tratamientos; la MO en las muestras más diluidas (S1) podría estar asociada a partículas más finas y con mayor capacidad de intercambio catiónico, haciéndola de mayor "calidad", mientras que la MO en la muestra más concentrada (S4) podría ser más fibrosa o estructuralmente densa pero menos rica en nutrientes (Möller & Müller, 2012). Con respecto a la concentración del potasio y el sodio sigue estando gobernada por su altísima solubilidad donde se disocian de los sólidos y se acumulan casi por completo en líquida (Hjorth et al., 2010). El nitrógeno muestra un comportamiento mixto: em el sólido también es mayor en las concentraciones de MO más bajas, pero una porción significativa (formas solubles) se concentra en el líquido (Chadwick et al., 2011).

Los micronutrientes suelen usarse como cofactores para el desarrollo de pocesos bioquimicos que sustentan la vida microbiana, lo cual puede explicar la tendencia mostrada en la figura 2 para todos los casos, de manera que estos pueden ser bioconcetrados en la biomasa microbiana responsable de la degradacion de la materia organica, como es el caso de fierro el cual es crucial para la síntesis de ferroproteínas esenciales en el metabolismo, como los citocromos de la cadena respiratoria, conforme la materia orgánica es descompuesta y su masa total disminuye, este hierro acumulado en la biomasa microbiana se concentra relativamente, explicando la elevada relación Fe/MO observada (Bernal et al., 2009).

Conclusiones

La maduración de la enmienda orgánica es clave para la concentración de nutrientes, de manera que un alto contenido de materia orgánica no garantiza una riqueza nutrimental de la enmienda; enmiendas liquidas concentrarán únicamente elementos solubles y de alta disponibilidad, pero debe vigilarse el contenido de sodio para evitar toxicidad a los cultivos. Si bien el trabajo no demuestra la madurez o estabilidad de las compostas analizadas puede resultar factible monitorear al fierro como un indicador del grado de maduración de la enmienda.

Referencias

Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Villegas-Narváez, J., Rivera-Meza, A. E. y Vásquez-Hernández, A. (2023). Efecto de bioestimulantes microbianos en frutos de chile morrón y jitomate producidos en macrotúnel. Biotecnia, 25(1), 81-87.

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology, 100*(22), 5444-5453.

Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fangueiro, D., Cardenas, L., Amon, B., & Misselbrook, T. (2011). Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology, 166-167*, 514-531.

Islam, M. A., Hossain, M. B., & Sarker, A. (2020). Organic amendments in combination with chemical fertilizers improve soil fertility and rice yield in subtropical region. Journal of Plant Nutrition, 43(12), 1799-1811.

Figueroa-Viramontes, U., Fortis-Hernández, M., Orona-Castillo, I., & Leos-Rodríguez, J. A. (2010). Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana, 28*(4), 361-369.

Möller, K., & Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on nutrient availability and losses. En S. K. Khanal (Ed.), *Bioenergy and nutrient recovery from anaerobic digestion* (pp. 29-51). John Wiley & Sons.

Plenecassagne, A, Romero-Fierro, E y Lopez-Borrego, M. Manual de Laboratorio, Analisis de suelos, aguas, plantas, Gomez Palacio: CENID RASPA, 1997.

Rodríguez, A., & Barros, M. (2022). Systematic review on the relationship between the use of animal manure and soil fertility indicators. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 3(2), 1-18.

EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE *Echinocactus platyacanthus* LINK Y OTTO.

Rigoberto Caballero-Godínez*, Luis Gerardo Yáñez-Chávez, Gonzalo Hernández-Ibarra, Sahara Xolocotzi-Acoltzi.

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km 40 Carretera Gómez Palacio- Chihuahua. CP. 35230. *Autor de correspondencia: al21120647@chapingo.mx

Introducción

En México, la familia Cactaceae tiene una gran relevancia debido a su notable diversidad de especies, dentro de esta familia se encuentran cactus de distintos tipos, como los columnares, los candelabriformes, biznagas, algunas especies trepadoras como los nopalillos, las pitahayas, además múltiples variedades de nopales (Jiménez, 2011); sin embargo, estas especies se encuentran amenazadas principalmente por la expansión de las actividades agropecuarias, crecimiento de la infraestructura y el aprovechamiento, además la extracción de plantas vivas compromete la persistencia a largo plazo de estas especies (Rosas y Solorzano, 2024).

Echinocactus platyacanthus, es una especie endémica mexicana de la familia Cactaceae, conocida en México comúnmente como biznaga burra, biznaga dulce o acitrón, se distribuye a lo largo del Desierto Chihuahuense, especialmente en los estados de Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas (Korotkova et al., 2021). Sin embargo, las poblaciones de *E. platyacanthus* han disminuido significativamente debido al uso indiscriminado como forraje para animales de granja y alimento. Su principal uso es en la preparación del dulce tradicional conocido como acitrón. Además, en gran parte de su distribución también se utiliza como forraje para cabras y burros, y en algunos lugares se recolecta con fines ornamentales (Jiménez-Sierra y Eguiarte, 2010).

Debido a que las poblaciones han disminuido esta especie se encuentra catalogada en la categoría sujeta a protección especial (Pr) por la Norma Oficial Mexicana-059 (SEMARNAT, 2010); los factores que contribuyen a su desaparición son: la especie es de lento crecimiento, produce pocos hijuelos, y su semilla posee mecanismos de latencia que favorecen a un bajo porcentaje de germinación (López-Escamilla et al., 2016). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la efectividad de distintos tratamientos pregerminativos en semillas de *E. platyacanthus* para contribuir a su propagación y conservación.

Materiales y métodos

Las semillas de *E. platyacanthus* se obtuvieron de plantas ubicadas en el Jardín Botánico E.N.A., actualmente registrado como Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) SEMARNAT-UMA-IN-0468-DGO de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada en la localidad de Bermejillo perteneciente al municipio de Mapimí Durango, México, en las coordenadas 25° 51’ 35’ de latitud norte y 106° 28’ 12’ de longitud oeste y una elevación sobre el nivel del mar de 1120m. Se utilizaron semillas provenientes de dos colectas realizadas en 2023 y 2024.

Antes de la aplicación de cada tratamiento, se desinfectaron 1200 semillas en una mezcla compuesta por 10% de hipoclorito de sodio (NaClO) al 10% durante diez minutos. Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada para eliminar los residuos de suelo o materia orgánica. Cada tratamiento se separó en diez repeticiones de diez semillas cada una y se colocaron en círculos de papel absorbente en cajas Petri. Para evitar el daño por hongos y bacterias, se humedecieron con una solución de fungicida (Captan) a una proporción de 3 g L^{-1} de agua, con un atomizador. Se aplicó agua en pequeñas cantidades con el atomizador, repitiendo esta operación según fuera necesario. Se establecieron 6 tratamientos con 10 repeticiones por cada año de recolección dando como resultado un arreglo factorial de 6x2x10. Los tratamientos pregerminativos se describen en el Cuadro 1.

La germinación se evaluó durante 30 días continuos, contando las semillas germinadas por día a la misma hora de evaluación. Se consideró como semilla germinada la aparición de la radícula visible. Además, se evaluó la velocidad de germinación usando la ecuación 1.

$$VG = \Sigma \frac{(ni)}{t} \qquad \text{Ecuación (1)}$$

Donde: *VG*=Velocidad de germinación; *ni*= número de semillas germinadas en el día; *t*= tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla.

Cuadro 1. Tratamientos pregerminativos para semillas de *E. platyacanthus*.

Id. de tratamiento	Descripción
TA	**Testigo (semillas sin tratamiento).**
TB	**Escarificación química:** Ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 10% por 10 minutos.
TC	**Escarificación química:** Ácido giberélico comercial (2%) 2 ppm durante 40 minutos.
TD	**Escarificación química:** Ácido giberélico comercial (2%) 500 ppm durante 40 minutos.
TE	**Escarificación química:** Ácido giberélico puro (100%) 500 ppm durante 40 minutos.
TF	**Escarificación química:** Inmersión en agua destilada a 60 °C durante 1 minuto.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en semillas colectadas en 2023 muestran diferencias claras entre los tratamientos pregerminativos; en general el tratamiento TF presentó mayor porcentaje (56%) y velocidad de germinación (1.86 semillas germinadas $día^{-1}$), seguido del tratamiento TC con un porcentaje de germinación de 47% y una velocidad de germinación de 1.56 semillas germinadas $día^{-1}$ (Figura 1). Los tratamientos con menor porcentaje de viabilidad fueron el TA con un 28% de semillas germinadas y una velocidad de 0.93 semillas germinadas día, seguido del tratamiento TD con un 33% de semillas germinadas y una velocidad de 1.1 semillas germinadas $día^{-1}$.

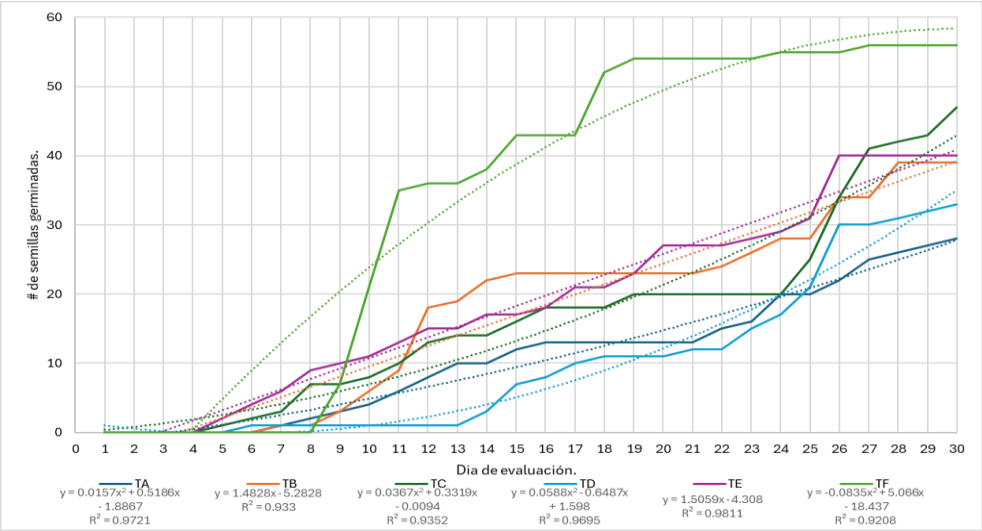


Figura 1. Comportamiento germinativo de semillas de *E. platyacanthus* colectadas en 2023 bajo diferentes tratamientos pregerminativos.

Para las semillas colectadas en 2024, las diferencias entre tratamientos fueron menores, siendo el TC el mejor tratamiento, con un 97% de semillas germinadas y una velocidad de 3.23 semillas germinadas día^{-1}, seguido del tratamiento TF con un 95% de semillas germinadas y una velocidad de 3.16 semillas germinadas día^{-1}. El tratamiento menos efectivo fue TA con un 81% de semillas germinadas y una velocidad de 2.7 semillas germinadas día^{-1}, sin embargo, a pesar de ser el tratamiento menos efectivo demuestra que las semillas colectadas en 2024 tuvieron mayor viabilidad en comparación con las semillas del 2023.

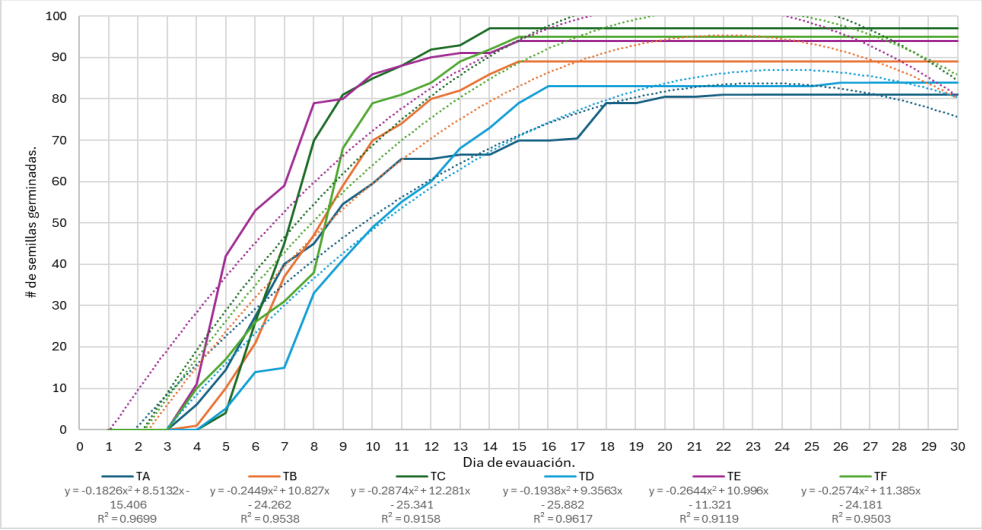


Figura 2. Comportamiento germinativo de semillas de *E. platyacanthus* colectadas en 2024 bajo diferentes tratamientos pregerminativos.

Los mejores tratamientos en semillas del 2023 fueron el TF y TC; en semillas colectadas en el 2024 el mejor tratamiento fue TC, seguido del tratamiento TF, siendo estos los más efectivos para ambos años de colecta.

Estos resultados contrastan con los obtenidos por Hernández-López (2005), donde los tratamientos térmicos tuvieron una respuesta favorable alcanzando porcentajes de germinación más altos en comparación con los demás tratamientos; temperaturas de 40 °C y 60 °C permitieron obtener valores superiores respecto al testigo, estos resultados resaltan la importancia del calor como un factor decisivo en la estimulación germinativa de *E. platyacanthus.*

En cuanto al uso de ácido giberélico (AG_3) estudios como el de Mascot-Gómez (2020), demuestran que puede actuar como un promotor de la germinación en plantas de la familia Cactaceae bajo ciertas condiciones, pero sus efectos son variables según la especie y las concentraciones aplicadas, reflejando la necesidad de ajustar los tratamientos de acuerdo a los requerimientos de la especie; esto se ve reflejado en el tratamiento TC (AG_3 2%; 2 ppm) el cual mostró mejores resultados que el tratamiento TE (AG_3 100%; 500ppm).

Conclusiones

En semillas del 2023, el tratamiento térmico de inmersión en agua caliente demostró mejor efectividad, mientras que, en semillas del 2024, el tratamiento por escarificación química con el AG_3 fue el más efectivo alcanzando un porcentaje cercano al 100%, sin embargo, en ambos casos se consolidó como el tratamiento más eficiente. Estos resultados demuestran que la respuesta germinativa de *E. platyacanthus* varía entre años de colecta, es decir, mientras mayor sea el tiempo de colecta menor será la viabilidad de las semillas.

Referencias

Hernández-López, M. A. (2005). *Evaluación del proceso de germinación de Echinocactus platyacanthus: una especie bajo protección especial, en el Valle del Mezquital, Hidalgo* (Tesis de licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.

Jiménez, S. C. (2011). Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria.* 12(1). pp 3-4.

Jiménez-Sierra, L. y Eguiarte, L. (2010). Cactus barril de caramelo (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto: un recurso vegetal tradicional en México sujeto a extracción y ramoneo incontrolados. *Economic Botany, 64*(2). pp 99-108. https://doi.org/10.1007/s12231-010-9119-y

Korotkova, N., Aquino, A., Arias, S., Eggli, U., Frank, A. F., Gómez-Hinostrosa, C., Guerrero, P. C., Hernández, H. M., Kohlbecker, A., Köhler, M., Luther, K., Majure, L. C., Müller, A., Metzing, D., Nyffeler, R., Sánchez, D., Schlumpberger, B. y Berendson, W. (2021). Cactaceae at Caryophyllales.org – a dynamic online species-level taxonomic backbone for the family. *Willdenowia,* 51(2), 251–270. https://doi.org/10.3372/wi.51.51208

López-Escamilla, A. L., López-Herrera, M., & Loaiza-Alanís, C. (2016). Efecto de diferentes agentes gelificantes en la germinación y desarrollo in vitro de plántulas de Echinocactus platyacanthus link et otto (cactaceae). *Polibotánica*, (42), 153-166. https://doi.org/10.18387/polibotanica.42.8

Mascot, G. E. (2020). *Semillas de cactáceas: Factores internos y externos que influyen en su germinación* [Tesis doctoral, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.]. Repositorio Institucional del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.

Rosas, A. S. y Solorzano, L. S. (2024). Los cactus: patrimonio natural de México. *Revista digital univeristaria. 25*(2).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2010). *NOM-059-SEMARNAT-2010.* Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación.*

ESPECIES VEGETALES CONSUMIDAS POR EL GANADO Y SUS USOS ETNOBOTÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE VILLA DE ARISTA, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

Jesica López-Huesca[1], Mauricio Velázquez-Martínez[2*], Atenógenes Leobardo Licona Vargas[1]; Fernando Lucio Ruiz[2]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México – Texcoco, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 14.5 Carretera San Luis Potosí – Matehuala, Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., C.P. 78431. *Autor por correspondencia: velazquez.mauricio@inifap.gob.mx

Introducción

El estado de San Luis Potosí cuenta con cuatro regiones: Altiplano, Centro, Media y Huasteca. En cada una de estas regiones, se tiene como una de las actividades principales la producción pecuaria en sistemas intensivos extensivos y mixtos. Estos sistemas dependen fuertemente de las especies forrajeras existentes en las zonas, siendo estas endémicas, nativas e introducidas. Algunas de estas plantas, al no reconocerse su valor nutricional, biológico, agronómico, entre otros, se van perdiendo con el paso del tiempo, por sobrepastoreo, adversidades climáticas como las sequías, heladas, inundaciones, extracción ilegal, entre otras. Derivado de ello, se considera importante identificar aquellas plantas que, gracias a saberes locales de los pobladores y diversos estudios realizados por Institutos de Investigación y/o Docencia, se les han encontrado atributos potenciales para su uso. Esto es extremadamente valioso, sobre todo en zonas áridas y semiáridas, que han tenido fuertes pérdidas animales por la falta de alimento, tanto en los agostaderos, así como del forraje potencial de especies agrícolas, que quedaron en siniestro. Este estudio tuvo como finalidad, en vinculación con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), región Noroeste, identificar las especies nativas que consume el ganado, así como, rescatar y generar información que pueda ser de utilidad para los pobladores de las comunidades de la región, que tienen como uno de sus sustentos principales, la actividad agrícola y pecuaria. Esto, mediante la investigación, divulgación y difusión. El objetivo del estudio fue la identificación de especies nativas con potencial forrajero en parcelas, agostaderos y/o caminos, en cuatro comunidades del municipio de Villa de Arista, mediante la captura de fotografías, a fin de promover su conservación y aprovechamiento en las comunidades participantes.

Materiales y métodos

Para la exploración y registro de las especies, se realizaron salidas de campo en los meses de noviembre y diciembre de 2023, en las siguientes comunidades del municipio de Villa de Arista: Villa de Arista, El Tajo, Salitrillos y El Mezquite, pertenecientes a la zona del Altiplano, siendo un recorrido por cada localidad. Adicionalmente, se realizó una salida en el mes de febrero de 2025, para corroborar con las personas el registro que se desarrolló en el 2023. Para los recorridos hechos, se utilizaron dos métodos: los transectos en zonas de uso común (potreros colectivos en restauración) y caminatas por las zonas parcelarias, buscando diversidad en las orografías transitadas.

El registro de los ejemplares en campo se realizó a través de la toma de fotografías de las plantas, capturando cuerpo completo, flores, hojas, tallos y espinas, para los casos correspondientes; se utilizó una cámara Canon EOS Rebel T6. En su mayoría, este método nos brindó los elementos necesarios para la ubicación de su taxón. Para la identificación de las plantas registradas, se utilizó la plataforma "íNaturalist México" (2024) y se consultó la Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana (2024), la Biblioteca Forestal - Comisión Nacional Forestal (2024), Biodiversidad Mexicana (2024), EncicloVida (2024), Malezas de México (2024), Universidad de Arizona (2024) y a investigadores especialistas en pastizales y cultivos forrajeros del INIFAP, Campo Experimental San Luis. En la plataforma, se cargaron un total de 234 observaciones y se clasificaron a un nivel taxonómico: familia, género y/o especie, la mayoría de las plantas. Para la recuperación del conocimiento local de las plantas, nombres y usos, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas y pláticas informales con las personas.

Posteriormente, se elaboró un inventario, se sistematizó la información etnobotánica y se inició la recopilación de datos de cada una de las especies, mediante tesis académicas, artículos de investigación científica y plataformas digitales nacionales e internacionales sobre biodiversidad. Dentro del contenido descriptivo se consideraron los siguientes elementos: nombre científico, nombre común, estatus de categoría en riesgo a nivel nacional, estatus de categoría en riesgo a nivel internacional, uso de la tierra, origen, distribución, hábitat, tipo de vegetación, descripción de la especie, importancia en el agroecosistema, usos locales y datos relevantes.

Resultados y discusión

De las 234 observaciones cargadas en la plataforma "íNaturalist México", esta reconoció 100 especies y 3 subespecies. No obstante, por el nivel de verificabilidad dentro de la plataforma y del reconocimiento de las mismas, solo 48 especies se consideran que cuentan con el grado de investigación científica.

De las 48 especies, se distinguieron un total de 16 familias botánicas, mencionadas a continuación, con el número de especies que integra a cada una: Amaranthaceae (2), Asparagaceae (6), Asteraceae (8), Boraginaceae (1), Bromeliaceae (1), Cactaceae (13), Cucurbitaceae (1), Ephedraceae (1), Euphorbiaceae (3), Fabaceae (3), Lamiaceae (1), Poaceae (4), Scrophulariaceae (1), Simaroubaceae (1), Solanaceae (2) y Zygophyllaceae (1). Se encontraron 6 especies dentro de las categorías de riesgo a nivel nacional (NOM 059 SEMARNAT-2010): 1 en peligro de extinción (*Echinocactus platyacanthus*), 1 amenazada (*Glandulicactus crassihamatus*) y 3 sujetas a protección especial (Pr) (*Coryphantha delicata, Coryphantha echinoidea* y *Zinnia citrea*); y a nivel internacional 30 especies se encuentran en alguna categoría de riesgo globalmente o en un país en específico. En relación al origen, 33 son nativas, 13 endémicas y 2 introducidas.

Del total de especies, 40 se reconoce que tienen un uso local, en el ámbito forrajero, alimenticio, medicinal, construcción, ornamental, entre otros; mientras que al resto, no se le atribuye ningún uso. Finalmente, 30 especies se describen, son consumidas por el ganado bovino, caprino, ovino y/o equino (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies que consume el ganado dentro del municipio de Villa de Arista, San Luis Potosí, México.

Nombre científico	Origen y nombre local	Estatus de categoría en riesgo a nivel internacional y en México (nom-059)	Sp. Forr.	Usos locales
Acalypha monostachya	Nativa; hierba del cáncer, Cancerina,	Ninguna; Ninguna.	Si	Para remedio y como alimento para cabras.
Agave salmiana	Endémica; Maguey.	Least Concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; Ninguna.	Si	Se utiliza para el aguamiel y alimento para ganado.
Agave salmiana ssp. Crassispina	Nativa; Maguey bronco.	Least Concern (LC) – Globalmente; Ninguna.	Si	Se utiliza para miel, pulque, quiote. Como alimentar ganado, para aguamiel, mezcal y las pencas para la barbacoa.
Agave lechuguilla	Nativa; Lechuguilla.	Least Concern (LC) - IUCN Red List; Ninguna.	Si	Las cabras se comen el quiote cuando esta tierno en temporada de sequía
Amaranthus hybridus	Nativa; Ninguno.	Ninguna; Ninguna.	Si	Alimento para el ganado y quelites para consumo humano.
Buddleja scordioides	Nativa; Escobilla.	Ninguna; Ninguna.	Si	Es alimento para las chivas.
Bouteloua curtipendula	Nativa; Zacate del cerro, zacate criollo, benderita.	Vulnerable (N3) - Canadá NatureServe; Critically Imperiled (S1) - Alberta CA NatureServe; Ninguna.	Si	Alimento para el ganado, se alimenta los animales, se ha visto donde hay más agua.
Castela erecta	Nativa; Bisbirinda, perra del mal, perro del mal.	Least Concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; Ninguna.	Si	Sirve para el dolor de estómago, vesícula, empacho pegado. Para empachos.
Pennisetum ciliare	Introducida; Zacate Buffel, cola de zorra	Least Concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; Least Concern - Sudáfrica Red List of South African Plants (SANBI); Ninguna	Si	Si es forrajero, alimento para todo tipo de ganado, caballos y burros.
Chrysactinia mexicana	Nativa; San Nicolás.	Ninguna; Ninguna.	Si	Se usa para el dolor de estómago. Es algo medicinal. En té para que las mujeres se embaracen.
Coryphantha echinoidea	Endémica; Biznaga.	Least Concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; Sujeta a protección especial (Pr).	Si	Para adorno.
Cylindropuntia imbricata	Nativa; Coyonostle, clavellín, cardenche.	Least concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; En peligro (S2) - Kansas US NatureServe; Ninguna.	Si	Alimento para el ganado en verde o chamuscado. El fruto los humanos se lo comen para disminuir el dolor en los huesos; el té de raíz hervida funciona para limpiar el hígado.
Cylindropuntia leptocaulis	Nativa; Tasajillo.	Least Concern (LC) – Globalmente; Ninguna.	Si	Como forraje en sequía severa.
Dasyochloa pulchella	Nativa; Zacate criollo, zacate borreguero.	Ninguna; Ninguna.	Si	Alimento para ganado.

Nota: Sp. Forr.: Especie forrajera.

Continuación Cuadro 1. Especies que consume el ganado dentro del municipio de Villa de Arista, San Luis Potosí, México.

Nombre científico	Origen y nombre local	Estatus de categoría en riesgo a nivel internacional y en México (nom-059)	Sp. Forr.	Usos locales
Echinocactus platyacanthus	Endémica; Bisnaga, biznaga burra.	Near threatened (NT) - Globalmente IUCN Red List; En peligro de extinción.	Si	Como forraje en sequía severa (está prohibido abrirlas). Cuando esta verde, se come el fruto (trompo). Se hacen dulces de biznaga, se saca lo de en medio, una esponja blanca, se echa en cal una noche, se pone a cocer con piloncillo o azúcar, se mueve has lograr el dulce.
Ephedra compacta	Endémica; Sanguinaria.	Least Concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; Ninguna.	Si	Alimento para el ganado, ninguno.
Euphorbia antisyphilitica	Nativa; Candelilla, guapilla.	Ninguna; Ninguna.	Si	Es alimento para los animales. Sirve para los riñones.
Larrea tridentata	Nativa; Gobernadora.	Secure (G5) NatureServe – Globalmente; Ninguna.	Si	La consume muy poco el ganado. Es medicinal para la gente, para el dolor de estómago y deposición, los empachos, piedras en los riñones. Hervir para el mal olor de los pies. Para la tos, como té.
Neltuma laevigata	Nativa; Mezquite.	Least Concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; Not Evaluated - Sudáfrica Red List of South African Plants (SANBI); Ninguna	Si	Sirve para abono de tierra. La tierra de mezquite sirve para bocashi.
Opuntia stenopetala	Endémica; Rastrera serrana, masule, la rastrera.	Least Concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; Ninguna.	Si	Ninguno, alimento para el animal en sequía severa.
Salsola tragus	Introducida; Rodamundo, rodadora.	Ninguna; Ninguna.	Si	Los productores de chile la utilizan en seco, como un colchón para el secado artesanal de chiles (poblano, jalapeño, serrano, entre otros). Algunos la hacen pacas para el ganado.
Senna wislizeni	Nativa; Pinacate, carrioso, corrioso	Ninguna; Ninguna.	Si	Nada más para forraje y para la leña.
Simsia amplexicaulis	Nativa; Acahualillo.	Ninguna; Ninguna.	Si	Lo consume el ganado en los potreros y forraje juntado en las parcelas.
Sporobolus airoides	Nativa; Zacate alcalino, Zacatón, zacate sabanilla.	En peligro (N2N3) NatureServe Canadá, En peligro (S2S3) NatureServe E.U.A. - British Columbia, CA; Ninguna.	Si	Para pastura del ganado.
Tillandsia recurvata	Nativa; Paixtle.	Ninguno; Ninguna.	Si	Lo consumen el ganado en época de sequía, como una alternativa de alimentación. Actualmente algunos productores lo usan para la elaboración de abonos agroecológicos.
Tithonia tubaeformis	Nativa; Ninguno	Ninguno; Ninguna.	Si	Lo consume el ganado en los potreros y forraje juntado en las parcelas.
Yucca carnerosana	Nativa; Palma loca, palma de dátil.	Least Concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; Ninguna.	Si	Se usa para tallar, sacar ixtle, hacen estropajos, peines, suaderas. Para tallar se debe cocer. Da dátil y se come, ya maduritos parecen higo. El ganado se come el cogollo verde, las vacas y las chivas se comen los dátiles maduros y también los coyotes.

Continuación Cuadro 1. Especies que consume el ganado dentro del municipio de Villa de Arista, San Luis Potosí, México.

Nombre científico	Origen y nombre local	Estatus de categoría en riesgo a nivel internacional y en México (nom-059)	Sp. Forr.	Usos locales
Yucca filifera	Endémica; Palma	Least Concern (LC) - Globalmente IUCN Red List; Ninguna	Si	Sus escapos flores y frutos, se utilizan para consumo humano y del ganado.
Zaluzania triloba	Endémica; Altamisa, altamis	Ninguna; Ninguna	Si	Sirve para piquetes de insectos. Medicinal, para algunos malestares.
Zinnia citrea	Endémica; Parraleña, vel rosita	Ninguna; Sujeta a protección especial (Pr)	Si	Para dolor de estómago.

Nota: Sp. Forr. = Especie forrajera.

En las especies que no se consideran forrajeras, se encuentran: *Coryphantha delicata, Cochemiea conoidea, Cucurbita foetidissima, Dyssodia papposa, Echinoagave striata, Echinocereus pectinatus, Glandulicactus crassihamatus, Hamatocactus hamatacanthus. Jatropha dioica, Opuntia microdasys, Parthenium incanum, Salvia reflexa, Solanum elaeagnifolium, Solanum rostratum, Thelocactus Hexaedrophorus, Tiquilia canescens y Zaluzania parthenioides.*

Conclusiones

El registro, identificación, rescate – sistematización de conocimientos locales y descripción de plantas es una labor que, en colaboración con instituciones de investigación, da el valor que corresponde a los recursos biológicos y de saberes, con los que cuentan los pobladores de las comunidades rurales. Esta investigación brindó datos, información y herramientas útiles para los participantes, las cuales no habían tenido un espacio en donde reconocieran la importancia de su diversidad biológica y lo importante de ella en sus quehaceres cotidianos, como el caso de la producción pecuaria en agostaderos. Con este estudio, aprendieron que, para cuidar el ganado, tienen que proteger y procurar la vegetación nativa, la cual es la base y sostén de la producción animal.

Agradecimientos. Por el financiamiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP/Proyecto número SIGI 10332836030).

Referencias

Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. Disponible en http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/. Acceso [2024].

Biblioteca Forestal – Comisión Nacional Forestal. http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/Default.aspx Disponible en Acceso [2024].

Biodiversidad Mexicana. Disponible en https://www.biodiversidad.gob.mx/. Acceso [2024].

EncicloVida. Disponible en https://enciclovida.mx/ Acceso [2024].

iNaturalistMX. Disponible en https://www.naturalist.mx. Acceso [2024].

Malezas de México. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm. Acceso [2024].

Universidad de Arizona. Disponible en https://lib.arizona.edu/. Acceso [2024].

CRECIMIENTO DE LAMINAS FOLIARES Y RENDIMIENTO DE FORRAJE DE NUEVE ZACATES EN TEMPORAL

Mauricio Velázquez-Martínez[1*], Filogonio Jesús Hernández-Guzmán[2], Rosendo Hernández Martínez[-3], Miguel Ángel Mata Espinosa[4], Edith Ramírez Segura[5]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 14.5 Ctra. San Luis Potosí - Matehuala, Ej. Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., C.P. 78431. [2]Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Ctra. México - Texcoco, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230. [3]INIFAP, Campo Experimental Las Huastecas, Ctra. Tampico - Mante km. 55, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México. C. P. 89603. [4]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Ctra. Gómez Palacio - Chihuahua. Bermejillo, Durango, México C.P. 35230. [5]INIFAP, CENID Agricultura Familiar, km. 8.4 Ctra. Lagos de Moreno – San Luis Potosí. Ojuelos de Jalisco, Jalisco, México. C.P. 47540. *Autor de correspondencia: velazquez.mauricio@inifap.gob.mx.

Introducción

El sobrepastoreo en las zonas de escasa precipitación en México ha ocasionado desde la década de 1950 la disminución en la producción forrajera (Jurado et al., 2021). Sin embargo, la producción forrajera depende de las lluvias veraniegas y los recursos forrajeros no son aprovechados de manera sistemática y ordenada. El conocimiento de las especies gramíneas forrajeras nativas mexicanas es importante para estudiar la producción de forraje en temporal ante la escasa precipitación y, de esta manera, organizar el pastoreo y mejorar las áreas destinadas al pastoreo. México es el centro de origen de plantas forrajeras de los géneros *Bouteloua, Tripsacum, Disakisperma* y de especies como *Sporobolus airoides, Panicum virgatum y Pappophorum bicolor* (Quero, 2023). La evaluación de la producción forrajera en un predio ganadero permitirá conocer la productividad de las especies de gramíneas y, de este modo, la calendarización de las actividades como pastoreo y cosecha de semillas (Álvarez-Vázquez et al*.* 2022). En un estudio realizado por Velázquez-Martínez et al*.,* (2022) en el Valle del Mezquital con zacate buffel, navajita y rhodes a 50, 80 y 110 días después de rebrote (ddr), reportaron mayor rendimiento a 110 ddr en zacate rhodes con 12 936 kg ha^{-1} de materia seca (MS). En el estudio anterior, el zacate navajita (*B. gracilis*) produjo 3 012, 3 999 y 4 712 kg ha^{-1} de MS, a 50, 80 y 110 ddr, respectivamente. El objetivo del estudio fue evaluar en condiciones de temporal el rendimiento de forraje, contenido de proteína cruda, materia orgánica y digestibilidad de nueve zacates nativos mexicanos.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental del Grupo El Quebracho de Ahuehuetitla S.P.R. de R.L. en el Ejido Ahuehuetitla, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, de marzo a noviembre de 2023. Las constantes meteorológicas (temperatura y precipitación) fueron obtenidas con la estación meteorológica inalámbrica profesional de marca Uzoli (China) en el lugar de estudio (Figura 1). El zacate engordador [*Bouteloua repens* (Kunth) Scribn. & Merr.], gigante [*Disakisperma dubium* (Kunth)], banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], navajita [*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag. ex Steud.], *Pappophorum vaginatum* (Schreber.), switchgrass (*Panicum virgatum* L.) zacate maicero [*Tripsacum dactyloides* (L.)], zacatón alcalino [*Sporobolus airoides* (Torr.) Torr.] y barbón bicolor [*Pappophorum bicolor* (Schreber.)] fueron reportados por Rodríguez-Ortega et al. (2021) y Álvarez-Vázquez et al. (2023).

El establecimiento se realizó en Ahuehuetitla, Tulancingo, Hidalgo, México, en marzo de 2020 con riego por goteo. Así mismo, en el mismo sitio experimental en 2020 y en las mismas condiciones de suelo y riego, fue establecido el zacate *Pappophorum bicolor* con semillas colectadas en 2019 de la comunidad de El Huizache, municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México, en las coordenadas 22° 13´ 38.92´´ N y 100° 50´ 29.51´´ O, a altitud de 1 835 m.

Los tratamientos fueron las especies de zacate, las cuales se establecieron en 2020 en bloques completamente al azar con tres repeticiones y parcelas experimentales de 12 m^2. La cantidad promedio de plantas que rebrotaron por parcela experimental por especie de zacate posterior a 20 mm de lluvia (13 y 14 de marzo de 2023) fue 84, 70, 85, 80, 70, 10, 10, 10 y 12 plantas para zacate engordador, gigante, banderita, navajita, switchgrass, zacate maicero, zacatón alcalino y barbón bicolor, respectivamente.

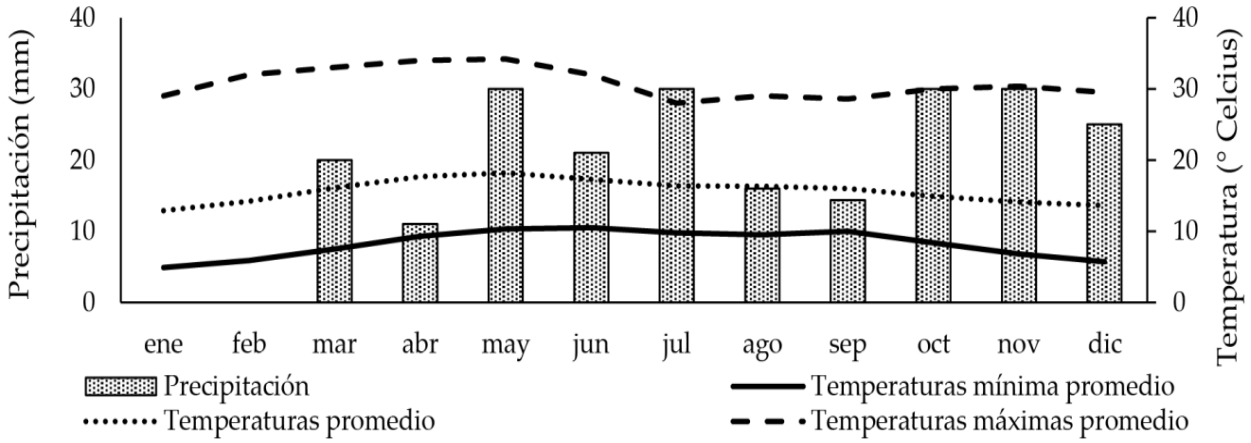


Figura 1. Condiciones de temperatura y precipitación registradas en el año 2023 en Ahuehuetitla, Tulancingo de Bravo, Hidalgo.

Variables de estudio

Crecimiento de lámina foliar. En cada unidad experimental, se eligió dos plantas de cada especie (seis en total) a 20 días después de las lluvias (ddll; 13 y 14 de marzo); la planta fue marcada con listón rojo y la hoja elegida se marcó con listón blanco (#4). La longitud acumulada de la lámina foliar (mm) se midió cada 48 h hasta que la lígula fue observada. Las mediciones fueron a 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36 y 38 ddll. Se presentó la elongación neta en cada tiempo. Para determinar la curva a la cual se ajustaban los datos, se usaron el programa Excel y Curve Expert 1.4 y este último se ajustó a una ecuación de regresión lineal de acuerdo con la metodología de Martínez et al*.* (2021).

$$Elongación\ neta\ acumulada = \ d2 - d1 + \sum(d2_i - d1_i)$$

Donde:
$d2$: medición del tiempo posterior; $d1$: medición del tiempo anterior.
$\sum(d2_i - d1_i)$: la sumatoria de la elongación neta del intervalo de cada *i-ésimo* tiempo (días).

Rendimiento de forraje. Los tres cortes en los nueve zacates se realizaron 55 días ddll del 14 de marzo, 11 de mayo y 15 de julio de 2023, posterior a una precipitación de 20 mm. El corte de forraje se realizó en las tres unidades experimentales de cada bloque y fue a 5 cm sobre la altura del suelo. Las muestras de forraje fueron colocadas en bolsas de papel previamente rotuladas y dispuestas en ambiente de invernadero con flujo de aire durante 15 días. Posteriormente, se llevaron a estufa de aire forzado Marca Ciderta (Huelva, España) a 55 °C durante 12 horas e inmediatamente se pesó en una báscula marca Hanchen modelo BSM220.4 (Pekin, 0.0001 g). Las muestras de forraje de los nueve zacates se enviaron al laboratorio el 9 de septiembre de 2023 para su análisis químico.

Análisis estadístico. El diseño utilizado para la tasa de recambio de tejido fue completamente al azar, mientras que para el rendimiento de forraje fue en bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se realizó análisis de varianza con el procedimiento GLM de SAS (2001) y las medias se agruparon mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Resultados y discusión

Crecimiento de lámina foliar. Se observó diferencia en el crecimiento de láminas foliares de nueve zacates en condiciones de temporal en Tulancingo, Hidalgo ($p < 0.001$; Figura 2). Las láminas foliares de zacate *P. bicolor* crecieron con valores mayores en cada fecha ($P<0.05$), mientras zacate maicero fue diferente hasta 36 ddll y en la última fecha fue similar a zacatón alcalino, mientras en zacate banderita, *P. vaginatum*, navajita, engordador y gigante la lígula apareció en menos tiempo. El crecimiento en general fue lento en los primeros días (hasta 24 ddll). Después, en *P. bicolor*, zacate maicero y zacatón alcalino, la elongación entre 26 y 34 ddll fue rápida; sin embargo, en los zacates porte bajo como navajita, engordador, *P. vaginatum*, gigante y banderita ya no crecieron desde 30 ddll dado que mostraron la lígula. Los zacates de porte alto coincidieron con mayor diámetro de corona ($p < 0.05$). Las temperaturas en Tulancingo, Hidalgo, fueron idóneas para el crecimiento de láminas foliares de los zacates estudiados (Figura 1), ya que la temperatura media fue mayor a 10 °C, como lo indican Garay-Martínez et al. (2019) quienes mencionan que el zacate buffel rebrotó de manera satisfactoria entre 18-35 °C. Los zacates con menor crecimiento de lámina foliar neta medida cada 48 h fueron navajita y engordador ($p < 0.05$), mientras gigante, banderita y *P. vaginatum* fueron similares ($p > 0.05$), dado que son de porte bajo, como lo indican Flores y Morales (2023), Hernández-Guzmán et al. (2023) y Quero-Carrillo et al. (2023). Por tal motivo, la aparición de la lígula fue en menor tiempo. El rebrote de zacates se da por la cantidad de energía almacenada en forma de carbohidratos solubles del ciclo de lluvias inmediato anterior (Garay-Martínez et al. 2019, Rodríguez-Ortega et al. 2021, Álvarez-Vázquez et al. 2023), pero en switchgrass el vigor del crecimiento de la hoja #4 puede ser por el diámetro de corona. Al respecto, Rodríguez-Ortega et al. (2021) expusieron que en switchgrass, pasto maicero y zacatón alcalino, al final del primer año de establecimiento, las coronas pueden medir entre 30, 21 y 17 cm, respectivamente.

Rendimiento de forraje. El rendimiento de forraje de nueve especies de zacates fue diferente en cada fecha ($p < 0.001$; Cuadro 1), donde zacate banderita mostró valor mayor en cada fecha y en la suma total ($p < 0.05$; 5 400 kg ha^{-1}) y superó en la suma a zacatón alcalino, navajita, engordador y switchgrass en 5.62, 2.23, 2.1 y 1.47 veces, respectivamente. En marzo y abril, los valores menores fueron en switchgrass y zacatón alcalino ($p < 0.05$), mientras en la fecha última se observó en zacatón alcalino, engordador, navajita y switchgrass ($p < 0.05$). El rendimiento forrajero en mayo y julio se observó que *P. vaginatum* y pasto maicero mostraron valores similares ($p > 0.05$).

En el mismo sitio experimental en el primer año de establecimiento en banderita, gigante y engordador (Álvarez-Vázquez et al. 2022) reportaron 5 084, 3 619 y 1 585 kg ha^{-1}, respectivamente. Mientras que Rodríguez-Ortega et al. (2021) para switchgrass y pasto maicero reportaron 3 584 y 1 159 kg ha^{-1}, respectivamente.

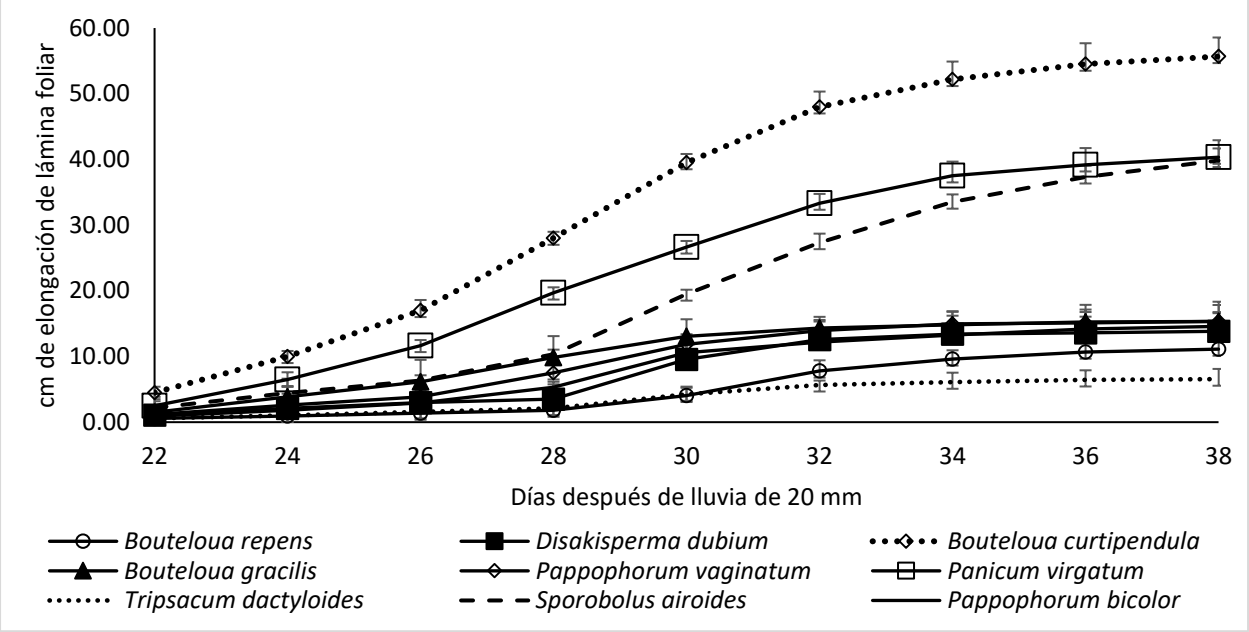


Figura 2. Crecimiento neto acumulada (cm) de láminas foliares de nueve zacates en condiciones de temporal, en Tulancingo de Bravo, Hidalgo. Las barras de cada fecha corresponden a desviación estándar.

Cuadro 1. Rendimiento de forraje en base seca de nueve zacates mexicanos en 2023 en Tulancingo, Hidalgo.

Especie de pasto	Rendimiento de forraje			
	Marzo	Mayo	Julio	Suma
Bouteloua repens	491 bc	743 de	1 341 c	2 574 ef
Disakisperma dubium	542 b	1 015 bc	2 015 b	3 572 bcd
Pappophorum bicolor	377 c	843 cde	1 949 b	3 169 cde
Panicum virgatum	196 d	696 e	1 524 c	2 417 f
Bouteloua curtipendula	1195 a	1754 a	2 451 a	5 400 a
Tripsacum dactyloides	488 bc	1 055 bc	2 129 ab	3 672 bc
Bouteloua gracilis	476 bc	972 bcd	1 511 c	2 960 def
Sporobolus airoides	209 d	285 f	466 d	961 g
Pappophorum vaginatum	627 b	1218 b	2061	3 907 b
DMS	154	247	419	614

Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, α = 0.05). DMS: Diferencia mínima significativa (α = 0.05).

Conclusiones

Dadas las condiciones de precipitación, el mayor crecimiento neto en la hoja #4 ocurrió en *Pappophorum bicolor* y *Tripsacum dactyloides*. El rendimiento mayor de forraje ocurrió en *Bouteloua curtipendula* y *T. dactyloides,* y menor cantidad en *B. gracilis* y *Disakisperma dubium*.

Referencias

Álvarez-Vázquez P., Rojas-García A.R., Joaquin-Cancino S., Velázquez-Martínez M., Rodríguez-Ortega L.T., Hernández-Guzmán F.J. (2022) Producción de forraje y semilla de ocho zacates al establecimiento en Tulancingo, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12(6): 1041-1053.

Flores A.E., Morales N.C.R. (2023). In: Quero C.A.R, Flores A.E (eds.) Gramíneas nativas. Importancia e impacto en ecosistemas ganaderos. *Libro técnico del Colegio de Postgraduados*, Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp. 49-86.

Garay-Martínez J.R., Joaquín-Cancino S., Estrada-Drouaillet B., Martínez-González J.C., Limas-Martínez A.G., Hernández-Meléndez J., Rojas-García A.R. (2019). Producción y cambios morfológicos de *Pennisetum ciliare* cv. H-17 en función de la edad de rebrote y altura de pradera. *Acta Universitaria* 29, e2306.

Hernández-Guzmán F.J., Hernández-Rodríguez M., Velázquez-Martínez M., Quero-Carrillo A.R. (2023) *Pappophorum* spp. (Schereber.) *In*: Quero C.A.R., Flores A.E (eds.) Gramíneas nativas. Importancia e impacto en ecosistemas ganaderos. *Libro técnico del Colegio de Postgraduados*, Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp. 267-288.

Jurado-Guerra P., Velázquez-Martínez M., Sánchez-Gutiérrez R.A., Álvarez-Holguín A., Domínguez-Martínez P.A., Gutiérrez-Luna R., Garza-Cedillo R.D., Luna-Luna M., Chávez-Ruiz M.G. (2021) Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 2(3):261-285.

Martinez M.D., Enriquez Q.J.F., Esqueda E.V.A., Ortega J.E. (2021) Recambio de tejido de hojas en *Brachiaria humidicola* CIAT 6133 con diferente manejo de la defoliación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(24): 47-58.

Quero C.A.R. (2023) A manera de prólogo. *In*: Quero C.A.R., Flores A.E (eds.) Gramíneas nativas. Importancia e impacto en ecosistemas ganaderos. *Libro técnico del Colegio de Postgraduados*, Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp. 3-4.

Quero-Carrillo A.R., Miranda-Jiménez L., Morales-Nieto C.R., Ramírez M.J.E., Zárate Ramos A., Hernández-Rodríguez M., Rojas-Rosas A.G. (2023) pasto banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. *In*: Quero C.A.R., Flores A.E. (eds.) Gramíneas nativas. Importancia e impacto en ecosistemas ganaderos. *Libro técnico del Colegio de Postgraduados*, Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp.167-193.

Rodríguez-Ortega L.T., Verde-Villegas D.A., Hernández-Guzmán F.J., Castrellón-Montelongo J.L., Rodríguez-Ortega A. (2021) Producción forrajera y semillas de *Panicum virgatum*, *Tripsacum dactyloides* y *Sporobolus airoides* en Tulancingo, Hidalgo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* Núm. Esp. II: e2861.

SAS. (2001) SAS/STAT 9.1 user's guide. SAS Publishing. SAS Institute Inc., NC, USA. 5121p.

Velázquez-Martínez M., Rodríguez-Ortega L.T., Rojas-García A.R., Enríquez-Quiroz J.F., Santiago-Hernández F., Ramírez-Rojas S.G., Hernández-Guzmán F.J. (2022). Morphology and forage quality in buffel, rhodes, and blue grama grasses in Valle del Mezquital. *AgroProductividad* 15(1): 137-143.

HUERTOS VERTICALES CASEROS Y ELABORACION DE BIOINSUMOS AGRICOLAS: UNA ESTRATEGIA EDUCATIVA PARA FOMENTAR LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE ALIMENTOS

Eliel Rocha-Galván[1], Sanjuana Martinez-Rangel[1], Lisdy A. Perales-González[1], Jael B. Ríos-López[1], Jesús A. Gutiérrez-Pérez[1], Berenice Esquivel-Valenzuela[1*]

[1]Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, sede Francisco I. Madero. Coahuila. Carretera Madero Finisterre Km 6.25, Ejido Hidalgo. * Autor por correspondencia: bere_esv@hotmail.com

Introducción

En México, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición del Instituto Nacional de Salud Pública, el 60.8 % de los hogares mexicanos presentaron algún nivel de inseguridad alimentaria (Shamah et al., 2022). Dicha situación se agrava en las comunidades rurales con alta marginación, debido a la falta de recursos, la falta de fuentes de empleo y bajas oportunidades de educación/capacitación. La falta de educación y capacitación en las comunidades rurales es una problemática que se debe atender, para este objetivo, las instituciones de educación superior juegan un rol muy importante. Si bien el conocimiento teórico que se obtiene en las aulas es la base del desarrollo cognitivo del estudiante, la práctica en campo y la transferencia de conocimiento es un pilar fundamental en su formación integral. Una de las estrategias que puede contribuir al desarrollo de comunidades rurales y al reforzamiento del conocimiento adquirido en los estudiantes universitarios, es el establecimiento de huertos verticales en comunidades rurales. Dichos huertos, optimizan el espacio disponible, permiten una mayor eficiencia en el uso de agua y nutrientes, y favorecen la producción de hortalizas frescas en espacios reducidos (Despommier, 2011).

Los objetivos principales de los huertos verticales en el ámbito ambiental son: usar de manera más eficiente los recursos naturales; en el ámbito económico se pretende mejorar la economía de las personas al reducir el costo de adquisición de productos hortícolas (Trejo et al., 2012); en el ámbito social, aumentar la disposición de alimentos con alto valor nutricional para autoconsumo y comercialización, así como mejorar la integración familiar. También, el ámbito social, permite la inclusión de los estudiantes universitarios en la realidad social de las comunidades rurales y la adquisición de conocimientos técnicos para las familias de la comunidad.

Complementariamente la elaboración y uso de bioinsumos agrícolas representa un componente clave para reducir la dependencia de agroquímicos, mitigar los impactos ambientales negativos y fortalecer la soberanía alimentaria local. Los bioinsumos, como biofertilizantes, biopesticidas y bioestimulantes, se producen a partir de microorganismos benéficos, extractos vegetales o residuos orgánicos, y su aplicación promueve la salud del suelo y el desarrollo de cultivos resilientes (Altieri et al., 2012; Hernández et al., 2020).

La integración de huertos verticales y bioinsumos en comunidades rurales puede considerarse una estrategia integral de innovación agroecológica, inclusión social y como metodología educativa. La adopción de estas prácticas no solo tiene implicaciones técnicas, si no también sociales ya que permite a las comunidades trabajar por su propia seguridad alimentaria y adaptarse a las condiciones de vida actuales, y a los estudiantes poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en el aula. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue la implementación de huertos verticales y elaboración de bioinsumos en una comunidad rural, como estrategia de aprendizaje agrícola para alumnos de la Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, sede Francisco I. Madero.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio. Este proyecto se llevó a cabo en el Ejido Porvenir de Arriba, perteneciente al municipio de Francisco I. Madero, Coahuila. De acuerdo con el Sistema Digital Geográfico (SEMARNAT, 2025), el clima del municipio presenta la clave BWhw, tomando como base la clasificación climática de Koppen (García, 2004). El clima BWhW es árido cálido, con temperaturas medias de 18°C a 22°C y con precipitaciones promedio anuales de 250 a 300 mm. Los alumnos de la Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, sede Francisco I. Madero, Coahuila, llevaron a cabo sesiones de capacitación a familias del Ejido Porvenir relacionadas con la implementación, manejo, ventajas y beneficios de los huertos familiares. Después de esto se asignaron actividades como el riego, labores culturales, elaboración y aplicación de bioinsumos. Dichas actividades se llevaron a cabo de enero a agosto de 2024.

Establecimiento de huerto vertical. La estructura del huerto se elaboró con botellas plásticas recicladas recolectadas por las familias en la comunidad. Las botellas se unieron de manera vertical con una soga, y a cada una se le hicieron cuatro orificios de 1 cm de diámetro en la parte inferior para drenar el exceso de agua. Para el montaje se colocaron en una estructura de madera de 3m de largo por 5m de ancho, con material reciclado por la familia. El sustrato utilizado para la siembra fue una mezcla de 5 kg de suelo agrícola, 3 kg de peat moss y 1 kg de estiércol caprino previamente solarizado. Los productos antes mencionados se mezclaron hasta obtener una mezcla uniforme, después de esto se colocaron 700 gr de sustrato húmedo en cada botella. Las hortalizas sembradas fueron: rábano (*Raphanus sativus*), betabel (*Beta vulgaris*), acelgas (*Beta vulgaris var. Cicla*), espinacas (*Spinacia oleracea*) y cilantro (*Coriandrum sativum*). La siembra fue directa, colocando dos semillas por recipiente. A cada semilla se le dieron las condiciones de humedad para su germinación y desarrollo mediante una regadera manual (cada tercer día se añadían aproximadamente 400 ml. de agua).

Elaboración de bioinsumos. Para el abono de las plantas se elaboraron pastillas fertilizantes: estas fueron realizadas con residuos orgánicos como: cascara de huevo molida, residuos de café, cascaras de plátano trituradas, lentejas molidas, puré de cascara de papa, el cual consistió en hervir las cascaras durante 10 minutos y posteriormente se maceraron. Para la elaboración de la pastilla se colocaron los ingredientes, excepto el puré de cascara de papa, se mezclaron de manera manual por 10 minutos y posteriormente se agregó el puré de cascara de papa, para continuar amasando de manera manual por diez minutos. La mezcla se dejó reposar por aproximadamente 15 minutos y se formaron pastillas en forma circular con la mezcla ya antes preparada y se dejó reposar por 12 horas para que la masa se solidificara (Arroyave, M.D.P, 2004). Posteriormente se colocó una pastilla en cada maceta, y se volvieron a aplicar 30 días después de la siembra. Todo el proceso de elaboración se llevó a cabo con la participación de las familias de la comunidad.

Resultados y discusión

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, define la sostenibilidad como el uso consciente de los recursos, considerando el equilibrio ambiental, económico y social, de forma tal que sirvan para cubrir las necesidades del presente, pero asegurando su disponibilidad en el futuro (FAO, 2022). Debido a lo anterior, el ser humano, el medio ambiente y la economía no pueden ser vistos como elementos separados, si no como parte de un todo, donde la influencia de cada elemento sobre el otro es de ida y vuelta.

Por tal motivo, el desarrollo de técnicas que permitan alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, involucrando a estos tres elementos, deben ser implementados en todos los ámbitos de la sociedad y en todos los niveles educativos (ONU, 2015). La capacitación técnica de las familias con inseguridad alimentaria especialmente en las zonas rurales de México permite ir de lo particular a lo general al intentar alcanzar dichos objetivos (Figura 1)

Las familias participantes y los estudiantes fueron beneficiados con la cosecha de las hortalizas sembradas, las cuales fueron para autoconsumo (Figura 2). Lo cual contribuye a la seguridad alimentaria a pequeña escala en la comunidad, así como al consumo de alimentos inocuos, libres de agroquímicos.

Figura 8. Capacitación con la familia y establecimiento del huerto.

Figura 2. Rábano y cilantro para autoconsumo.

En el especto económico, el costo del proyecto fue solo el invertido en las semillas adquiridas, debido a que todos los implementos utilizados fueron elaborados con elementos reciclados (botellas de plástico, tarimas de madera, etc.) (Figura 3) y la elaboración de bioinsumos permitió reducir los costos de producción. Así mismo, representó ahorro debido a los productos que se consumieron y no se adquirieron en los supermercados o tiendas locales, liberando así presupuesto para invertirlo en satisfacer otras necesidades básicas de la familia.

Figura 3. Estructura final del huerto vertical.

Dentro de los beneficios sociales se pueden destacar los siguientes: el establecimiento del huerto propició la integración familiar, la actividad física, la conexión con la naturaleza y una mayor conciencia sobre el impacto de la alimentación en la salud. Así como la promoción de la capacitación y la transferencia de conocimientos por parte de los alumnos de la UBBJG sede Francisco I. Madero, permitiéndoles experimentar en la práctica reconociendo también los saberes tradicionales de la comunidad, así como promover un modo de vida más productivo (Zingaretti, 2008) fomentando los procesos de aprendizaje colectivo. Dicho aprendizaje se ha visto reflejado ya que las familias del ejido siguieron con el proyecto en el año 2025, con la participación de los alumnos de la universidad. Dentro de los conocimientos adquiridos tanto por alumnos como por los miembros de las familias están: identificación de calendarios de siembra, selección de semilla, métodos de siembra, identificación del ciclo vegetativo de las hortalizas sembradas, métodos de riego, elaboración de sustratos, elaboración de bioinsumos agrícolas, cuidado del medio ambiente, control de plagas y fertilización orgánica.

Conclusiones

La implementación de huertos verticales representa una alternativa sostenible para la producción de alimentos en espacios reducidos, contribuyendo al aprovechamiento eficiente del agua y el suelo. Su combinación con la elaboración y uso de bioinsumos permite reducir la dependencia de productos químicos, mejora la fertilidad del sustrato y protege los cultivos con prácticas agroecológicas. Además de poder capacitar y enseñar a las familias de la comunidad a cultivar alimentos sanos y fomentar una alimentación saludable. Lo anterior quedó de manifiesto debido a que tanto alumnos como los miembros de la familia decidieron seguir produciendo hortalizas frescas en el año en curso, sumando además a nuevas familias en la comunidad.

Referencias

Altieri, M. A., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, F., Norgaard, R., & Sikor, T. O. (2012). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología*.Arroyave, M. D. P. (2004). La lenteja de agua (Lemna minor L.): una planta acuática promisoria. *Revista eia*, (1), 33-38

Arroyave, M. D. P. (2004). La lenteja de agua (Lemna minor L.): una planta acuática promisoria. *Revista eia*, (1), 33-38.

Despommier, D. (2011) The Vertical Farm: Controlled Environment Agriculture Carried Out in Tall Buildings Would Create Greater Food Safety and Security for Large Urban Populations. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 6, 233-236. https://doi.org/10.1007/s00003-010-0654-3

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México.

Hernández, R., López, G., & García, J. (2020). Bioinsumos agrícolas: una alternativa sustentable para la producción de alimentos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5), 1057-1070.

Organización de las Naciones Unidas (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022). La FAO y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Cumplir la Agenda 2030 mediante el empoderamiento de las comunidades locales. Roma. FAO. https://doi.org/10.4060/cc2063es

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2025). Espacio Digital Geográfico. https://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador2Beta/index.html

Shamah-Levy, T., Romero-Martínez, M., Barrientos-Gutiérrez, T., Cuevas-Nasu, L., Bautista-Arredondo, S., Colchero. M.A., Gaona-Pineda, E.B., Lazcano-Ponce, E., Martínez-Barnetche, J., Alpuche-Arana, C., Rivera-Dommarco, J. (2022). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2021 sobre Covid-19. Resultados nacionales. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública, 2022.

Trejo Calzada, R., Pedroza Sandoval, A., Ruiz Torres, J., Chávez Rivero, J. A., & Joel, B. (2012). Establecimiento de huertos familiares en comunidades del Municipio de Mapimí Durango. XIV Foro de Servicio Universitario, Universidad Autónoma Chapingo.

Zingaretti, H. (2008). La ecopedagogía y la formación en los niños. X Congreso Nacional y II Congreso Internacional. “Repensar la niñez para el siglo XXI”, Mendoza.

EDUCACIÓN AMBIENTAL COMO HERRAMIENTA PARA PROMOVER EL CONOCIMIENTO DE LAS AVES ACUÁTICAS

Luis Gerardo Yañez-Chávez[1], Mayela Rodríguez-González[2*], Gonzalo Hernández-Ibarra[1], Manuel de Jesús Azpilcueta Ruiz-Esparza[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Carretera Gómez Palacio - Chihuahua. CP. 35230 Bermejillo, Durango. [2]Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM). CP 03330 Ciudad de México. *Autor de correspondencia: mayelarg92@gmail.com

Introducción

La educación ambiental es un proceso mediante el cual los individuos obtienen las herramientas y habilidades para prevenir, enfrentar y resolver los problemas ambientales, para lograr un desarrollo ambiental sostenible y socialmente equitativo (Möller et al., 2004). El bienestar de los seres vivos con los que se comparte el planeta depende de las acciones locales y globales, del trabajo colaborativo y de nuevos pensamientos (Menacho-Odio y Rojas-Vargas, 2021; Bardales et al., 2024).

Particularmente, las aves acuáticas son uno de los componentes más representativos de la biodiversidad de los humedales, ya que estos ofrecen refugio y alimento; muchas de estas aves hacen uso de estos hábitats durante solo una parte del año para cubrir una determinada etapa de su ciclo anual como la nidificación, reproducción o la muda de plumaje (Green & Figuerola, 2003). Sin embargo, actividades antrópicas como la destrucción del hábitat, expansión de asentamientos humanos, cambio de uso de suelo y la sobreexplotación de los mantos acuíferos representan una alta amenaza para las aves y la conservación de sus áreas de distribución (Mendoza et al., 2020). En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue dar a conocer a la población la presencia, diversidad e importancia de las aves acuáticas, así como los recursos teóricos y didácticos de educación ambiental para promover el conocimiento de estas aves y establecer estrategias de conservación, en la región sur del municipio de Cuencamé, Durango.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la comunidad Cinco de Mayo (San Ángel) localizada en la parte sur del municipio de Cuencamé, del estado de Durango, México, a una altura promedio de 2100 msnm. El clima del área es semiárido, con régimen de lluvias en verano. La precipitación promedio anual es de 503 mm y la temperatura media anual es de 16°C (SMN, 2020). La localidad cuenta con un humedal permanente con una extensión aproximada de 4.0 ha, en el cual se ha registrado la presencia de una gran diversidad de aves acuáticas (Rodríguez et al., 2023).

Para cumplir con el objetivo planteado se establecieron tres fases: 1) registro fotográfico e identificación de las aves acuáticas presentes en el humedal (2018-2024); a través de muestreos sistemáticos en transectos en la periferia del humedal y área de influencia, 2) análisis de la percepción de las aves acuáticas y su hábitat; mediante la aplicación de una encuesta semi instrumentada que se aplicó en el 2024 al 10% de la población total de la comunidad (52 personas) en referencia al censo del INEGI (2020), y 3) curso taller sobre educación ambiental con los pobladores impartido en 2025 a 70 personas.

Resultados y discusión

El registro e identificación de las aves acuáticas presentes en el humedal, permitió obtener un total de 40 especies que pertenecen a doce familias y ocho órdenes. De las cuales destaca el grupo Anatidae con el 37.5% de prevalencia (Figura 1), conjuntamente el 60% de las especies son migratorias de invierno, destacando la importancia del humedal como sitio de descanso para las aves acuáticas durante sus rutas de migración (Hernández-Vázquez, 2000). Aunado a esto, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) una especie se encuentra en categoría de Amenazada (*Anas diazi*) y conforme con la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2025), una especie se encuentra vulnerable (*Tringa flavipes*) y cuatro especies se encuentran casi amenazadas (*Charadrius vociferus*, *Limnodromus scolopaceus*, *Tringa melanoleuca* y *Calidris minutilla*) (Figura 2), por lo cual resalta el interés de conservación del ecosistema.

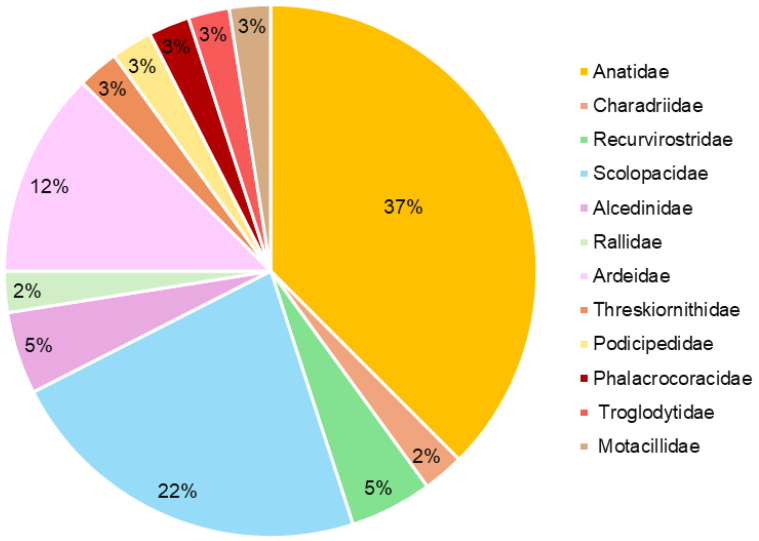


Figura 1. Registros de aves acuáticas clasificados por familias.

Figura 2. Especies de aves acuáticas consideradas en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059 y la IUCN.

Adicionalmente, el análisis de percepción de las aves acuáticas y su hábitat, en la comunidad Cinco de Mayo (San Ángel), reveló que el 48.6% de los habitantes encuestados tiene conocimiento sobre la presencia de aves acuáticas en el humedal, sin embargo, refieren no conocer de qué especies se trata; el 37.1% mencionó tener una idea del papel ecológico y la importancia de la conservación de las aves, resaltando que se alimentan de insectos que pueden ser considerados como plagas; en cuanto a la importancia del hábitat el 58.6% mostró interés por su cuidado y conservación señalando que este lugar permitía la nidificación y reproducción de algunas especies (Figura 3), además de considerar el lugar como parte distintiva y turística de la comunidad.

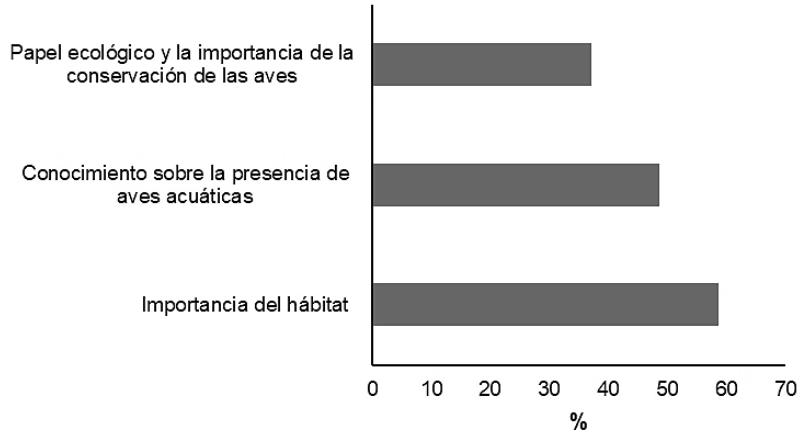


Figura 3. Percepción de las aves acuáticas y su hábitat en la comunidad Cinco de Mayo (San Ángel), Cuencamé, Durango.

Estos resultados reflejan la relevancia de implementar cursos de educación ambiental favoreciendo en el pensamiento crítico, consiente y comprometido para que permitan a la población implementar acciones para preservar la integridad ecológica de la comunidad. Finalmente, durante el curso taller los asistentes pudieron expresar ideas para la conservación del área y las especies que ahí habitan, resaltando el mantener el área limpia (retirando basura y ramas secas), colocar letreros con información sobre el área y las especies presentes, realizar acciones de reforestación, llevar a cabo monitoreos de plantas y animales silvestres y fomentar el turismo cultural y ecológico (Cuadro 1).

Cuadro 1. Propuestas para la conservación de las aves acuáticas y su hábitat mencionadas en el curso taller.

Propuestas	**No. de personas**
Campañas de limpieza	17
Colocar letreros informativos	12
Reforestación del área	8
Monitoreo de plantas y animales silvestres	15
Turismo cultural y ecológico	5
Cuidar que los animales domésticos no causen daños	3
Compartir la información en las escuelas de la localidad	4
Conservar las áreas verdes	2
Promover el lugar como área voluntaria para la conservación	4
Total	**70**

De esta forma, el curso taller contribuyó al conocimiento de la importancia de los humedales y el papel de las aves acuáticas como especie fundamental en el equilibrio del ecosistema (protección de especies, polinización, dispersión de semillas y control biológico de insectos). Además, permitió la divulgación de información y el acercamiento con las personas interesadas en la conservación del ecosistema y sus recursos naturales.

Conclusiones

Esta investigación permitió plasmar la utilidad del conocimiento y conservación de las especies de aves acuáticas, ya que enfrentan diversas amenazas como la pérdida de hábitat, caza ilegal, percepción negativa de la población y el desconocimiento de su importancia ecológica, por lo que las estrategias de identificación de especies y conservación del hábitat juegan un papel imprescindible. Los estudios sobre la ecología y conservación de las aves acuáticas pueden combinarse con estrategias de la educación ambiental, con el objetivo de aportar información que permita conocer la diversidad de especies, la comprensión de distintos procesos naturales y mejorar el manejo de los recursos naturales implicados.

Referencias

Bardales, C. L. M., Chamoli, G. G., & Gálvez, H. G. P. (2024). Educación Ambiental: vegetación como determinante de la distribución de la fauna. *Revista Latinoamericana de Calidad Educativa*, *1*(4), 109-118. https://doi.org/10.70625/rlce/41

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019&print=true

Green, A. J. & Figuerola, J. (2003). Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales. In *Ecología, manejo y conservación de los humedales* (pp. 47-60). Instituto de Estudios Almerienses.

Hernández-Vázquez, S. (2000). Aves acuáticas del estero la Manzanilla, Jalisco, México. *Acta zoológica mexicana*, (80), 143-153.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

IUCN. (2025). The IUCN Red List of Threatened Species. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. https://www.iucnredlist.org/es

Menacho-Odio, R. M., & Vargas, S. R. (2021). La educación ambiental: una herramienta para promover el bienestar de las aves silvestres. *Biocenosis*, *32*(1), 22-32.

Mendoza, J. C., Sepúlveda Rojas, E., & Pérez Rodríguez, A. C. (2019). El avistamiento de aves, un escenario pedagógico para la construcción de saberes ambientales. *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias en debate*, 135-142.

Möller, P., Muñoz-Pedreros, A., & Gil, C. (2004). Programa de educación ambiental y aves rapaces. *Aves Rapaces de Chile. Valdivia, Chile: CEA Ediciones*, 295-306.

Rodríguez G., M., Yáñez C., L. G. y Hernández I., G. (2023). Diversidad de aves acuáticas en un humedal permanente al sur del municipio de Cuencamé, Durango. En VII Congreso Internacional y XIX Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas. p. 343. https://congresorebiza.mx/wp-content/uploads/2023/10/REBIZA23.pdf

Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. (2020). Normales climatológicas, periodo 1991-2020. Información Climatológica del estado de Durango. Conagua. Méx. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado

ESTABLECIMIENTO DE HUERTOS FAMILIARES EN COMUNIDADES RURALES DEL MUNICIPIO DE FRANCISCO I. MADERO, COAHUILA

Eliel Rocha-Galván[1] , Daleth G. Sánchez Ojeda[1], Nereida E. Salazar-Padilla[1], Briseida Y. Adame-Antunez[1], Jorge A. Esparza-Campos[1], Sanjuana Franco-García[1], Karen D. Medina-Alvarado[1], Kevin Z. Rivera-Caudillo[1], Berenice Esquivel-Valenzuela[1*]

[1]Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, sede Francisco I. Madero. Coahuila. Carretera Madero Finisterre Km 6.25, Ejido Hidalgo. * Autor por correspondencia: bere_esv@hotmail.com

Introducción

La seguridad alimentaria es un tema relevante y de suma importancia a nivel global, diversas regiones a lo largo y ancho del planeta sufren de este problema. En 2024, 295,3 millones de personas enfrentaron altos niveles de inseguridad alimentaria (Food Security Information Network [FSIN], 2025).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2011): *"la seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana".*

De acuerdo con la definición anterior, la seguridad alimentaria parece un objetivo difícil de alcanzar. En México, el derecho a la alimentación está fundamentado en el artículo 4to de la constitución, sin embargo, las políticas públicas y programas sociales de distintos gobiernos no han logrado garantizar este derecho. Por otro lado, los efectos del cambio climático a nivel mundial afectan de manera negativa las actividades agrícolas y, por ende, la producción de alimentos.

Ante este panorama, los huertos familiares representan una opción viable para que personas en comunidades vulnerables puedan producir alimentos y mejorar la calidad de su alimentación. Los huertos familiares son agroecosistemas tradicionales con una alta biodiversidad, con recursos genéticos vegetales y animales que se adaptan a las condiciones locales (FAO, 2007). Algunas de las cualidades positivas de dichos agroecosistemas son: la diversificación de los alimentos, integración familiar, así como producción sana y fresca de alimentos (Monroy, 2024).

La alimentación es un aspecto esencial de la vida humana, ya que una dieta balanceada y saludable es fundamental para mantener una buena salud y prevenir enfermedades. Las hortalizas frescas siempre son una buena elección ya que contienen vitaminas y minerales, mantienen su sabor y textura original, no contienen aditivos, sal o azucares añadidos (WHO, 2019).
Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue el establecimiento de huertos familiares en dos comunidades rurales del municipio de Francisco I. Madero, Coahuila.

Materiales y métodos

El proyecto se llevó a cabo en las comunidades de Lequeitio y San Isidro, pertenecientes al municipio de Francisco I. Madero, Coahuila. Dicho municipio se encuentra ubicado a 1,106 msnm, presenta un clima semidesértico, con una precipitación media de 250 mm anuales; además de temperaturas máximas anuales de 30°C y mínimas de 18°C.

El establecimiento de los huertos se llevó a cabo en colaboración de familias de la comunidad, las cuales fueron capacitadas en el establecimiento y manejo de huertos familiares. Las hortalizas sembradas se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Hortalizas sembradas en las comunidades

Hortaliza	Nombre científico	Distancia entre surco	Distancia entre planta
Calabaza	*Cucurbita pepo, L*	60 cm	40 cm
Cilantro	*Coriandrum sativum*	60 cm	20 cm
Rabano	*Raphanus sativus, L*	60 cm	20 cm
Acelga	*Beta vulgaris L. var. Cicla*	60 cm	20 cm
Espinaca	*Spinacia oleracea*	60 cm	20 cm
Ajo	*Allium sativum*	60 cm	20 cm

Preparación del suelo. La preparación del suelo se llevó a cabo de manera manual con una profundidad de 0-30 cm. Se agregaron 200 kg de estiércol de vaca previamente solarizado y se procedió al riego. Posteriormente, 10 días después, se realizó la siembra de manera directa.

La superficie del huerto en el Ejido Lequeitio fue de 3 x 9 m, equivalente a 117 m^2. Mientras que el huerto en el Ejido San Isidro, el área total de la superficie fue de 64 $m^{2.}$ En ambos huertos, se implementó el sistema de riego por goteo para la administración del agua, con una frecuencia de riego cada tercer día, con una duración aproximadamente de 2-3 horas. Para evitar gastos adicionales de agroquímicos, se optó por aplicar un repelente orgánico a base de ajo y cebolla, elaborado por las familias participantes y el equipo de trabajo. La aplicación se llevó a cabo de manera foliar cada tercer día durante 15 días, mientras que el control de las malezas fue manual (FAO, 2014).

Resultados y discusión

Los beneficios que brindan los huertos familiares son múltiples: económicos, sociales y ambientales, sin embargo, han ido perdiendo presencia en las comunidades rurales debido a factores diversos como el cambio de uso de suelo, la migración y la urbanización (García et al., 2016, Flores et al*.*, 2019). Por tal motivo, es de vital importancia retomar estás prácticas ancestrales que pueden contribuir a la seguridad alimentaria familiar, mediante la disponibilidad de productos frescos (Bautista et al., 2016). Además, promueve una producción amigable y responsable con el medio ambiente evitando el uso de agroquímicos (Cano, 2015). Si bien la producción obtenida fue a pequeña escala, es una muestra de que la capacitación técnica, el intercambio de saberes entre la población pueden influir de manera positiva en la disposición de alimentos sanos y seguros.

Los resultados obtenidos en los huertos se muestran en el cuadro 2. La producción fue para el autoconsumo de las familias que participaron en el establecimiento de los huertos (Figura 1 y 2), sin embargo, otro de los beneficios de los huertos familiares, respecto a la economía es que, al existir producción excedente, esta se puede comercializar, representando así un ingreso extra para las familias (Bautista et al., 2016)

Figura 1. Establecimiento, siembra y cosecha del huerto San Isidro.

Figura 2. Establecimiento y cosecha del huerto Lequeitio.

Cuadro 2. Cosecha huerto San Isidro

Huerto San Isidro		**Huerto Lequeitio**	
Hortaliza	**Kg**	**Hortaliza**	**Kg**
Rábano	14	Calabaza	23
Cilantro	7	Cilantro	13
Espinaca	3.6	Lechuga	7
Acelga	18.6	Acelga	4

Es importante resaltar los beneficios sociales de los huertos familiares en las comunidades, ya que promueve la integración familiar debido a que toda la familia participó en las labores culturales (Mariaca, 2012), además de ser una técnica de enseñanza abierta donde los capacitadores técnicos como las familias obtienen conocimientos prácticos (Flores et al., 2019).

El intercambio de saberes es un proceso fundamental para alcanzar la soberanía alimentaria y ejercer el derecho al acceso a alimentos suficientes, sanos y seguros obtenidos de manera responsable con nuestro entorno y económicamente justos (Cano, 2015). Los huertos familiares representan una estrategia local de adaptación al cambio climático, preparando a las familias para que, ante cualquier contingencia ambiental, estén preparados para producir sus propios alimentos (Heckert, 2014).

Conclusiones

Los huertos implementados en ambas comunidades presentaron resultados favorables y altamente satisfactorios, reflejados en un rendimiento notable de los cultivos cosechados, brindando un cuidado constante para el aprovechamiento eficiente de los recursos, con el cual se logró obtener producción de calidad. Estos resultados evidencian el potencial productivo de los huertos y confirman su relevancia como una estrategia sostenible para el autoconsumo y el fortalecimiento de la seguridad alimentaria en las comunidades.

Referencias

Bautista-García, G., Sol-Sánchez, Á., Velázquez-Martínez, A., & Llanderal-Ocampo, T. (2016). Composición florística e importancia socioeconómica de los huertos familiares del Ejido La Encrucijada, Cárdenas, Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *7*(SPE14), 2725-2740.

Cano Contreras, E. J. (2015). Huertos familiares: un camino hacia la soberanía alimentaria. *Revista pueblos y fronteras digital*, *10*(20), 70-91.

Food Security Information Network (2025). Global report on food crises. Rome, Italy, https://doi.org/10.71958/wfp130664

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2007). *Sumario de Política 16. La ADRS y la Agrobiodiversidad*. Agricultura y Desarrollo Rural Sostenibles. http://lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/diversidad/lecturas/apoyo/SARD-agri-biodiversity%20-%20spanish.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). La Seguridad Alimentaria: Información para la toma de decisiones. http://www.foodsec.org/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Una huerta para todos. Manual de auto-instrucción. 5ta edición revisada y ampliada, Santiago de Chile, 289 pp.

Flores, J. C. G., Cedillo, J. G. G., & Santana, M. R. A. (2019). Factores sociales explicativos de la riqueza vegetal en huertos familiares: análisis de una estrategia de vida. *Sociedad y ambiente*, (19), 241-264.

García Flores, J. C., Gutiérrez Cedillo, J. G., Balderas Plata, M. A., & Araujo Santana, M. R. (2016). Aprovechamiento de huertos familiares en el altiplano central mexicano. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 3(2), pp. 149-162.

Heckert, V. J. (2014). Planning for Abundance: Permaculture and Radical Transformation. *Theory in Action*, 7(4), pp. 97-106

Mariaca, R. (Ed.). (2012). La complejidad del huerto familiar maya del sureste de México. En Ramón Mariaca. (ed.), El huerto familiar del sureste de México. Tabasco, México: ECOSUR, pp. 7-97.

Monroy, M (2024). Una aproximación a los huertos familiares desde la sostenibilidad [Tesis de doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Chapingo]. https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/aaff0510-ef3b-4392-978b-10ac52a637db

Word Health Organization (2019). La nutrición en la cobertura sanitaria universal [Nutrition in universal health coverage]. Ginebra: (WHO/NMH/NHD/19.24). https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/abeb4e12-5e62-4017-81b3-92270d035415/content

DIVERSIDAD DE COMUNIDADES BACTERIANAS EN NÓDULOS DE FRIJOL MEJORADO DE LA REGIÓN DE DURANGO, MÉXICO

Cinthya Judith Ortega-Esparza[1], Erika Nava-Reyna[2*], María del Rosario Jacobo-Salcedo[2], Oscar Martin Antúnez Ocampo[3], Rigoberto Rosales-Serna[4], Ricardo Trejo-Calzada[1], Aurelio Pedroza-Sandoval[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Dgo., México; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, Gómez Palacio, Dgo., México; [3]INIFAP-CIRPAS, C.E. Iguala, Guerreo, México; [4]INIFAP-CIRNOC, C.E. Valle del Guadiana, Durango, Dgo., México. *Autor por correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las especies de mayor importancia para la agricultura a nivel mundial. En México se cultiva en prácticamente todas las regiones agrícolas y representa un recurso de valor estratégico, social y económica (Naseri & Younesi, 2021). Más aún, el frijol común, al igual que otras leguminosas, establece relaciones simbióticas con diversos microorganismos, dando lugar a la formación de nódulos en sus raíces, los cuales funcionan como estructuras especializadas que albergan comunidades microbianas (Zhang et al., 2021) que mejoran el crecimiento de las plantas, a través de mecanismos que facilitan la absorción de nutrientes y combaten el estrés, así como el biocontrol ante patógenos (Medina-Paz et al., 2022), lo que representa una alternativa prometedora para el manejo sostenible de cultivos. Dentro de estos servicios ecológicos, la fijación biológica del nitrógeno (N_2) se considera fundamental, debido a que contribuye a la disminución del uso de fertilizantes nitrogenados inorgánicos (Galloway et al., 2004).

Por otro lado, los avances en secuenciación masiva de nueva generación han revelado que la abundancia y diversidad de los microorganismos es aún mayor de lo que se pensaba (López-Romo et al., 2023). En este sentido, resulta necesario conocer la composición taxonómica de las comunidades microbianas presentes en nódulos de frijol para comprender en detalle su papel y los mecanismos que utilizan para favorecer el crecimiento vegetal (Rocha et al., 2023). Con base en ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el bacterioma a nivel género asociado a los nódulos de variedades mejoradas de frijol provenientes del estado de Durango, México, a fin de comprender mejor su papel en la promoción del crecimiento vegetal.

Materiales y métodos

Descripción del sitio de estudio y toma de muestra. Las muestras para el análisis se recolectaron de especímenes de frijol mejorado, obtenidos del campo experimental Valle del Guadiana del INIFAP (23°59’26.15’’ N, 104°37’29.12’’ O). Se seleccionaron completamente al azar 5 plantas de tres variedades de frijol (Pinto Bravo, Jamapa y NOD1) durante la etapa de floración/fructificación.

Extracción de ADN. Se seleccionaron al azar entre 10 y 12 nódulos no dañados de cada espécimen y se esterilizaron con hipoclorito de sodio al 6%, enjuagando posteriormente seis veces con agua destilada estéril. Después, se maceraron los nódulos sobre una caja de Petri y se resuspendió el macerado en 2.5 ml de agua estéril. Se tomaron 100 µl del producto y se añadió a un tubo de lisis ZR BashingBead™ de la marca Zymo Research™. El DNA de las muestras se extrajo utilizando el kit ADN Zymobiomics MiniPrep de Zymo Research™ siguiendo las instrucciones del fabricante.

Secuenciación masiva. Se amplificaron las regiones V3 y V4 del gen 16S rRNA empleando los primers sugeridos por Klindworth (2013), los cuales producen un amplicón de ~460 pb. Las secuencias se mandaron sintetizar con los adaptadores “overhang” del protocolo de Illumina (Ilumina, 2017a).

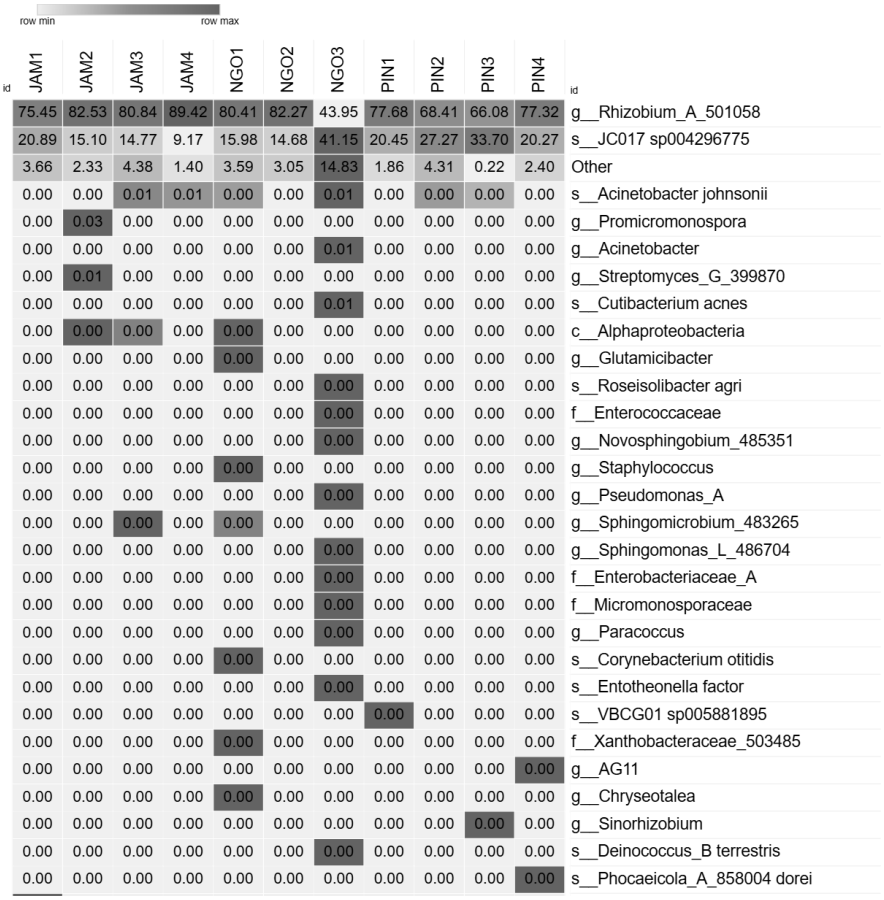
Análisis bioinformático*.* Las secuencias obtenidas fueron procesadas mediante el pipeline de QIIME2 (Bolyen et al., 2019), utilizando el algoritmo DADA2 (Callahan et al., 2016) para el control de calidad, filtrado de secuencias y conformación de unidades taxonómicas (ASVs). La taxonomía se asignó con la base de datos Greengenes2 (McDonald et al., 2024), lo que permitió caracterizar la composición microbiana presente en los nódulos. Para evaluar la diversidad alfa y beta de las variedades de frijol se llevó a cabo un proceso de rarefacción para unificar el número de secuencias de todas las muestras y a partir de este, se obtuvieron cuatro métricas de diversidad alfa (obvserved freatures, índice de Shannon, uniformidad de Pielou e índice de diversidad filogenética de Faith), y se aplicó una prueba de Mann-Whitney ($p < 0,05$) para comprobar si existían diferencias significativas entre las variedades, De igual manera, se obtuvieron cuatro métricas de diversidad beta: Jaccard, Bray-Curtis, UniFrac no ponderado y UniFrac ponderado. Se aplicaron pruebas de análisis multivariante de varianza permutacional (PERMANOVA) ($p < 0,05$) a las métricas de diversidad beta en todas las edades.

Resultados y discusión

El número medio de lecturas obtenidas para la variedad de frijol Pinto Bravo (PIN) fue de 191,983.75, para la variedad NOD1 (NGO) fue de 195,555 y para la variedad Jamapa (JAM) fue de 193,460.50. El número total de lecturas obtenidas de las tres variedades fue de 2,128,442 (767,934 para Pinto Bravo, 773,833 para Jamapa y 586,665 para NOD1).

No se observaron diferencias significativas en la diversidad alfa; obvserved freatures ($h = 2.3557$, $p = 0.3079$) índice de Shannon ($h = 1.4166$, $p = 0.4924$) , uniformidad de Pielou ($h = 2.2272$, $p = 0.3283$) e índice de diversidad filogenética de Faith ($h = 0.5757$, $p = 0.7498$). Del mismo modo, no se observaron diferencias significativas en la diversidad beta; Jaccard (pseudo-$F = 1.215$, $p = 0.121$), Bray-Curtis (pseudo-$F = 1.28$, $p = 0.346$), UniFrac no ponderado (pseudo-$F = 0.9431$, $p = 0.626$),y UniFrac ponderado (pseudo-$F = 1.35$, $p = 0.31$), es decir, la ausencia de diferencias significativas en estos índices sugiere que las comunidades bacterianas evaluadas presentan una composición relativamente estable y no está determinada principalmente por la variedad del hospedero (Sharaf, 2021).

De acuerdo con los resultados, se identificaron 54 especies diferentes, de las cuales 18 cuentan con un nombre latinizado. (Figura 1).



id	JAM1	JAM2	JAM3	JAM4	NGO1	NGO2	NGO3	PIN1	PIN2	PIN3	PIN4	id
	75.45	82.53	80.84	89.42	80.41	82.27	43.95	77.68	68.41	66.08	77.32	g__Rhizobium_A_501058
	20.89	15.10	14.77	9.17	15.98	14.68	41.15	20.45	27.27	33.70	20.27	s__JC017 sp004296775
	3.66	2.33	4.38	1.40	3.59	3.05	14.83	1.86	4.31	0.22	2.40	Other
	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	s__Acinetobacter johnsonii
	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Promicromonospora
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Acinetobacter
	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Streptomyces_G_399870
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	s__Cutibacterium acnes
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	c__Alphaproteobacteria
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Glutamicibacter
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	s__Roseisolibacter agri
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	f__Enterococcaceae
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Novosphingobium_485351
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Staphylococcus
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Pseudomonas_A
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Sphingomicrobium_483265
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Sphingomonas_L_486704
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	f__Enterobacteriaceae_A
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	f__Micromonosporaceae
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Paracoccus
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	s__Corynebacterium otitidis
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	s__Entotheonella factor
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	s__VBCG01 sp005881895
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	f__Xanthobacteraceae_503485
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__AG11
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Chryseotalea
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	g__Sinorhizobium
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	s__Deinococcus_B terrestris
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	s__Phocaeicola_A_858004 dorei

Figura 9. Mapa de calor de los taxa más abundantes a nivel familia de nódulos de frijol de las variedades Jamapa (JAM), NOD1 (NGO) y Pinto Bravo (PIN). La letra inicial de cada taxón corresponde al nivel taxonómico máximo en el cual pudo caracterizarse; (“c” de clase, “f” de familia, “g” de género, “s” de especie).

Para las tres variedades, las especies más abundantes fueron *Rhizobium_A_501058* (72.37% para Pinto Bravo, 82.06% para Jamapa y 68.87% para NOD1) y *JC017 sp004296775* (25.42% para Pinto Bravo, 14.98% para Jamapa y 23.94% para NOD1), las cuales representaron más del 90% de la diversidad.

Se ha reportado que la presencia de bacterias pertenecientes al género *Rhizobium* mejora la tolerancia de las plantas al estrés ambiental (Vriezen Jan et al., 2007). Es probable que el aumento de la resistencia se deba a una diferentes factores, como la disminución de la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), la mejora del estado hídrico de las hojas, la facilitación de la absorción de agua, la mitigación del desequilibrio iónico y una adquisición más eficiente de nutrientes (Li et al., 2023).

Por otra parte, la segunda especie más abundante, *JC017 sp004296775,* ha sido escasamente reportada, se ha encontrado esta especie en la microbiota intestinal de *Etiella zinckenella***,** una polilla introducida desde el sureste de Europa al continente americano que afecta a diferentes leguminosas como soya (*Glycine max) y* chícharos *(Pisum sativum)* , las funciones específicas de esta especie aún son inciertas (Chen et al., 2025).

Conclusiones

Los resultados muestran que la riqueza taxonómica está dominada por dos especies bacterianas. Esta fuerte dominancia refleja la especificidad del nicho microbiano en los nódulos, donde las bacterias mantienen un papel central en la simbiosis fijadora de nitrógeno, mientras que la presencia de *JC017 sp004296775* sugiere posibles cohabitantes con funciones metabólicas complementarias aún por esclarecer. Estos hallazgos aportan evidencia sobre la composición del bacterioma asociado a variedades mejoradas de frijol y constituyen un punto de partida para explorar la aplicación biotecnológica de estas comunidades microbianas en el fortalecimiento de la productividad y sostenibilidad del cultivo.

Referencias

Bolyen, E., Rideout, J. R., Dillon, M. R., Bokulich, N. A., Abnet, C. C., Al-Ghalith, G. A., Alexander, H., Alm, E. J., Arumugam, M., Asnicar, F., Bai, Y., Bisanz, J. E., Bittinger, K., Brejnrod, A., Brislawn, C. J., Brown, C. T., Callahan, B. J., Caraballo-Rodríguez, A. M., Chase, J., . . . Caporaso, J. G. (2019). Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. Nature biotechnology, 37(8), 852-857. https://doi.org/10.1038/s41587-019-0209-9

Callahan, B. J., McMurdie, P. J., Rosen, M. J., Han, A. W., Johnson, A. J. A., & Holmes, S. P. (2016). DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. Nature methods, 13(7), 581-583. https://doi.org/10.1038/nmeth.3869

Chen, L., He, Z., Zhang, D., Zhao, F., Zhang, Y., & Ding, R. (2025). The role of gut microbiota at different developmental stages in the adaptation of the Etiella zinckenella to a plant host. Scientific Reports, 15(1), 4971. https://doi.org/10.1038/s41598-025-86359-3

Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., Asner, G. P., Cleveland, C. C., Green, P. A., Holland, E. A., Karl, D. M., Michaels, A. F., Porter, J. H., Townsend, A. R., & Vöosmarty, C. J. (2004). Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future. Biogeochemistry, 70(2), 153-226. https://doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0

Ilumina. (2017a). Metagenomic sequencing library preparation, Preparing 16S ribosomal RNA gene amplicons for the Illumina MiSeq system. https://emea.illumina.com/content/dam/illumina-support/documents/documentation/chemistry_documentation/16s/16s-metagenomic-library-prep-guide-15044223-b.pdf

Klindworth, A., Pruesse, E., Schweer, T., Peplies, J., Quast, C., Horn, M., & Glöckner, F. O. J. N. a. r. (2013). Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies. Nucleic Acids Research, 41(1), e1-e1. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/nar/gks808

Li, P., Teng, C., Zhang, J., Liu, Y., Wu, X., & He, T. (2023). Characterization of drought stress-mitigating Rhizobium from faba bean (Vicia faba L.) in the Chinese Qinghai-Tibet Plateau [Original Research]. Frontiers in Microbiology, Volume 14 - 2023. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1212996

López-Romo, G., Santamaría, R. I., Bustos, P., Echavarría, F., Reveles-Torres, L. R., & González, V. (2023). The elite common bean Phaseolus vulgaris cultivar Pinto Saltillo hosts a rich and diverse array of plant-growth promoting bacteria in its rhizosphere. bioRxiv. https://doi.org/10.1101/2023.10.23.563606

McDonald, D., Jiang, Y., Balaban, M., Cantrell, K., Zhu, Q., Gonzalez, A., Morton, J. T., Nicolaou, G., Parks, D. H., Karst, S. M., Albertsen, M., Hugenholtz, P., DeSantis, T., Song, S. J., Bartko, A., Havulinna, A. S., Jousilahti, P., Cheng, S., Inouye, M., . . . Knight, R. (2024). Greengenes2 unifies microbial data in a single reference tree. Nature biotechnology, 42(5), 715-718. https://doi.org/10.1038/s41587-023-01845-1

Medina-Paz, F., Herrera-Estrella, L., & Heil, M. (2022). All Set before Flowering: A 16S Gene Amplicon-Based Analysis of the Root Microbiome Recruited by Common Bean (Phaseolus vulgaris) in Its Centre of Domestication. Plants, 11(13), 1631. https://www.mdpi.com/2223-7747/11/13/1631

Naseri, B., & Younesi, H. (2021). Beneficial microbes in biocontrol of root rots in bean crops: A meta-analysis (1990–2020). Physiological and Molecular Plant Pathology, 116, 101712. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101712

Rocha, R., Lopes, T., Fidalgo, C., Alves, A., Cardoso, P., & Figueira, E. (2023). Bacteria Associated with the Roots of Common Bean (Phaseolus vulgaris L.) at Different Development Stages: Diversity and

Plant Growth Promotion. Microorganisms, 11(1), 57. https://doi.org/https://www.mdpi.com/2076-2607/11/1/57

Sharaf, H. (2021). Ecology of Root Nodule Bacterial Diversity: Implications for Soybean Growth. http://hdl.handle.net/10919/106786

Vriezen Jan, A. C., de Bruijn Frans, J., & Nüsslein, K. (2007). Responses of Rhizobia to Desiccation in Relation to Osmotic Stress, Oxygen, and Temperature. Applied and environmental microbiology, 73(11), 3451-3459. https://doi.org/10.1128/AEM.02991-06

Zhang, J., Cook, J., Nearing, J. T., Zhang, J., Raudonis, R., Glick, B. R., Langille, M. G. I., & Cheng, Z. (2021). Harnessing the plant microbiome to promote the growth of agricultural crops. Microbiological Research, 245, 126690. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126690

CALIDAD DE FRUTO EN SELECCIONES DE DURAZNERO

Manuel Antonio Galindo-Reyes[1*], José Carlos Monárrez-González[2], Francisco Perdomo-Roldán[3]

[1]INIFAP-Campo Experimental Pabellón. [2]INIFAP-Campo Experimental Valle de Guadiana. Universidad Autónoma de Morelos (UAEM)-Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. *Autor de correspondencia: galindo.manuel@inifap.gob.mx.

Introducción

El duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] se cultiva ampliamente en climas templados y subtropicales, es el tercer frutal de clima templado más importante detrás del manzano y el peral. En México, durante el año 2024 se cultivaron poco más de 34 mil hectáreas de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch.] para diferentes destinos de la producción. Los principales estados en superficie cultivada son Zacatecas, Michoacán, Puebla, Chihuahua, Chiapas, entre otros (SIAP, 2025).

En el estado de Aguascalientes, el duraznero tiene mediana importancia. En esta entidad, el cultivo del duraznero ocupa el tercer lugar entre los frutales, con una superficie de poco más 390 hectáreas, un rendimiento medio de 17 toneladas/hectárea, un precio medio rural de 15,33 pesos/tonelada y un valor de la producción de 102.6 millones de pesos (SIAP, 2025). Adicionalmente, este frutal es importante por ser fuente de empleo en el medio rural, ya que ocupa más de 265 jornales/hectárea/año, y por la derrama económica que genera en el estado (Gutiérrez et al., 2008).

El durazno es una drupa muy apetecida por su agradable sabor, aroma y características nutricionales; también, es un fruto climatérico, altamente perecedero con elevada intensidad respiratoria y producción de etileno (Africano et al., 2016). Los frutos se distinguen por su contenido de vitamina C, carbohidratos, tales como, fructosa, sorbitol, glucosa y sacarosa, así como de ácido oxálico, cítrico, isocítrico, málico, fumárico y siquimato (Nowicka et al., 2019). Además, del sabor y aroma, en el momento de la madurez se demanda buena firmeza, la cual permite estimar la aceptación que tendrá en el mercado (Altube et al., 2017).

La selección es un método de mejoramiento de especies frutales, que consiste en identificar individuos o plantas sobresalientes, se asume que las plantas que provienen de semilla pueden tener amplia variabilidad genética y se emplea alguna característica deseada como criterio de selección. En el estado de Aguascalientes, el duraznero se ha propagado por semilla y se ha detectado plantas heterogéneas en cuanto a épocas de floración, brotación y maduración, así como en la cantidad y calidad del fruto, entre otros aspectos (Gutiérrez et al., 2008). Consecuencia de lo anterior se ha aprovechado la amplia variabilidad observada en el durazno para desarrollar programas de mejoramiento genético en este estado de la república.

En el Campo Experimental Pabellón (CEPAB) que se localiza en el estado de Aguascalientes, hasta antes del año 2007 existió un programa de mejoramiento en duraznero, donde se generaron diversas selecciones y variedades. Ante esta situación surge la necesidad de evaluar las variedades y selecciones generadas en el CEPAB y así como otros genotipos introducidos de otras regiones con el fin de disponer de variedades de manera comercial. De acuerdo con lo anterior, esta investigación tiene como objetivo presentar resultados de la calidad de fruto de 10 selecciones de duraznero durante dos años continuos.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en un huerto de duraznero que se ubica en el Campo Experimental Pabellón, en Aguascalientes; cuya localización es de 22° 09´ Latitud Norte y 102° 16´ Longitud Oeste y 1,920 m de altitud. El suelo del huerto es de tipo Calcisol, de clase textural franco-arcillo-arenoso, con pH alcalino (7.9), pobre en materia orgánica (<1.0%), densidad aparente de 1.4 y conductividad eléctrica de 1.7 dS/m (Osuna et al., 2013). El clima predominante en la región es semidesértico con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 16.2 °C, la media anual máxima es de 20 °C y la mínima es de 7.1 °C (Medina et al., 2006).

En este huerto de duraznero se evaluaron 10 genotipos durante dos años continuos (2023 y 2024). Los 10 genotipos en estudio se consideraron como tratamientos. En primera instancia, el huerto se estableció con 14 genotipos de duraznero con árboles que provenían de plantas propagadas mediante estaca sin injertar, durante mes de marzo del año 2010, pero en esta evaluación únicamente se presentan resultados de 10 selecciones sobresalientes de duraznero. La plantación se realizó a una distancia de 5 x 4 metros para líneas y plantas, respectivamente; y las hileras se orientaron de Este-Oeste. Todos los árboles se condujeron en copa, dejando entre cinco y seis ramas principales para favorecer la entrada de la luz y soportar el peso de los frutos y las hojas.

Con relación al manejo agronómico, en la etapa de letargo, específicamente en el mes de enero se hizo la poda de fructificación con la ayuda de tijera. En seguida, el huerto se fertilizó de considerando el requerimiento nutrimental del frutal, aportación nutrimental del agua de riego y del suelo, así resultó la dosis de 100-20-20-30-20-30 unidades de N, P_2O_5, K_2O, CaO, MgO y S, respectivamente. El fertilizante se aplicó de manera fraccionada, suministrando fertilizante por lo menos cuatro ocasiones al año, de acuerdo con la etapa fenológica. El riego se proporcionó por gravedad, para arrancar el cultivo inmediatamente después de la poda de letargo se suministró un riego pesado de aproximadamente 50 mm de lámina; posteriormente, en primavera se dio un riego cada 10 días, en verano antes del periodo fuerte de lluvia se aplicó un riego cada siete días y durante el otoño se suministró un riego cada 10 días. Finalmente, los árboles recibieron practicas agronómicas de acuerdo con el manejo comercial de la región como fue el control de maleza, de plagas y de enfermedades.

En el momento de la cosecha se tomaron 10 frutos representativos por cada árbol o unidad experimental. Posteriormente, a los frutos cosechados anteriormente se les estimó el peso, diámetro ecuatorial y diámetro polar, la firmeza, los grados brix, finalmente se les retiró la pulpa del hueso y se pesaron por esperado. La cosecha se hizo conforme ocurrió la madurez comercial en cada selección, desde junio hasta agosto. La información se analizó mediante análisis de varianza y pruebas de media cuando las variables resultaron significativas ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

En general, en duraznero el tamaño del fruto depende de varios factores como variedad, clima, manejo agronómico, entre otras cosas. En este sentido, Gutiérrez et al. (2008) señalan que la planta de durazno produce frutos con mayor peso cuando carga un menor número de frutos por planta.

Tamaño del fruto. La evaluación de las dimensiones del fruto de las selecciones de duraznero en Aguascalientes mostró diferencias significativas ($p<0.05$) en peso del fruto, diámetro polar y ecuatorial. En cambio, la firmeza resultó similar ($p<0.05$) para todas las accesiones evaluadas (Cuadro 1).

El peso promedio por fruto de las selecciones evaluadas fluctuó entre 73 y 127 gramos (Cuadro 1). Estos pesos de fruto son valores que se encuentran en el rango para la comercialización, ya que el mercado demanda frutos de durazno superiores a 120 g (Gutiérrez et al., 2008). No obstante, de manera general, el mercado del duraznero acepta frutos con un peso promedio de fruto superiores a 50 gramos libres de daños y deformaciones, por lo que la mayoría de los frutos producidos por las nueve selecciones entran perfectamente en el rango de frutos comerciales demandados.

Las Selecciones 6 y 9 superaron de manera consistente al resto de las selecciones en el peso de fruto durante la evaluación (Cuadro 1). Es importante señalar que las Selecciones 6 y 9 presentaron el mayor peso de fruto que las Selecciones 2 y 4 (Cuadro 1), eso se debe en parte a que posiblemente los árboles de las Selecciones 6 y 9 hayan producido menos frutos por árbol, condición que coincide con lo reportado por Gutiérrez et al. (2008).

Cuadro 1. Dimensiones y firmeza del fruto de duraznero en selecciones del estado de Aguascalientes.

Selección	Peso fruto (g)	D. polar (mm)	D. ecuatorial (mm)	Firmeza (kg/cm^2)
Selección 1	89.14 ef	45.91 c	55.59 bc	3.98 a
Selección 2	95.59 de	55.22 a	54.87 bc	3.80 a
Selección 3	102.24 cd	55.51 a	57.45 ab	4.08 a
Selección 4	73.31 g	48.46 c	52.09 c	5.25 a
Selección 5	-	-	-	-
Selección 6	120.87 a	56.80 a	61.07 a	5.35 a
Selección 7	92.64 def	49.65 bc	56.98 abc	3.75 a
Selección 8	80.54 fg	47.47 c	54.53 bc	3.73 a
Selección 9	127.31 a	57.06 a	62.11 a	5.53 a
Selección 10	110.41 bc	54.59 ab	56.94 abc	4.30 a

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Con relación al diámetro del fruto, el diámetro polar varió entre 45.9 y 57.1 mm, y el diámetro ecuatorial osciló entre 52.1 y 61.1 mm (Cuadro 1); estos valores corresponden a la categoría comerciales de calidad primera (50 mm) y calidad extra (60 mm), esto indica una buena calidad de fruto en cuanto a tamaño. Estas categorías de fruto representan el fruto de mayor demanda en el mercado y por lo tanto estas mismas categorías pueden proporcionar mayor ganancia para el productor de duraznero (Gutiérrez et al., 2008).

Calidad del fruto. Los sólidos solubles totales (°brix), peso de hueso, peso y proporción de pulpa del fruto variaron de manera significativa ($p < 0.05$) entre las accesiones (Cuadro 2). Los grados brix variaron entre 11.8 y 16.6. Los frutos de las Selecciones 2 y 4 presentaron mayor concentración de grados brix (≈16.7) y los frutos menos dulces correspondieron al resto de las selecciones (Cuadro 2).

El peso del hueso varío desde 3.97 (Selección 8) hasta 6.64 g (Selección 2) y la proporción de pulpa fluctuó desde 93.21 (Selección 2) hasta 96.56% (Selección 6); es importante señalar que la Selección 2 registró el mayor peso de hueso y la menor proporción de pulpa (Cuadro 2). El peso de pulpa varío significativamente ($p < 0.05$), así se detectó un mínimo 69.1 gramos y un máximo de 122.6 gramos por fruto (Cuadro 2). De manera general, el máximo peso de pulpa de fruto coincide con el mayor peso del fruto (Cuadro 2), por lo que el peso de la pulpa del fruto lo determina en gran medida el peso del fruto.

La Selección 9 presentó la mayor producción de pulpa de manera consistente en la evaluación, ya que esta selección produjo más de 122 gramos por fruto. Mientras que, la Selección 4 fue la mostró la menor producción de pulpa por fruto (Cuadro 2), ya que sólo produjo 69.1 gramos por fruto.

Cuadro 2. Solidos solubles y características de la pulpa fruto de duraznero en selecciones del estado de Aguascalientes.

Selección	SST (°brix)	Peso de hueso (g)	Peso de pulpa (g)	Proporción de pulpa (%)
Selección 1	11.95 b	4.21 b	84.94 ef	95.29 abc
Selección 2	16.68 a	6.64 a	89.13 de	93.21 d
Selección 3	13.25 b	4.95 ab	97.29 cd	95.16 bc
Selección 4	16.80 a	4.19 b	69.12 g	94.29 cd
Selección 5	-	-	-	-
Selección 6	13.10 b	4.16 b	116.71 ab	96.56 a
Selección 7	12.65 b	4.62 b	88.02 def	95.01 bc
Selección 8	11.83 b	3.97 b	76.57 fg	95.08 bc
Selección 9	12.68 b	4.74 b	122.57 a	96.31 ab
Selección 10	12.78 b	4.82 b	105.59 bc	95.63 abc

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se concluye que la Selecciones 6 y 9 producen frutos con mayor calibre y más pesados. Las Selecciones 2 y 4 generan frutos dulces que las demás selecciones en evaluación.

Referencias

Altube, H. A., Ontivero, M. G., Rivata, R. S., Baghin, L., Taborda, R. J. y Blanco, M. P. 2017. Aspectos fisiológicos durante la maduración que reflejan el momento adecuado de cosecha, mejorando la calidad organoléptica de los frutos de duraznos cv. “Flavorcrest” (*Prunus persica* L. Batsch). Revista Internacional de Botánica Experimental 86:79-83.

Africano, K. L., Almanza, M. P. J., Criollo, E. H., Herrera, A. y Balaguera, L. H. E. 2016. Caracterización poscosecha del fruto de durazno [Prunus persica L. Batsch] cv. Dorado producido bajo condiciones de trópico alto. Revista Colombiana de Ciencias Hortícicolas 10:232-240.

Gutiérrez-Acosta, F., J. Padilla-Ramírez y L. Reyes-Muro. 2008. Fenología, producción y características de fruto de selecciones de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) ‘Ana’ en Aguascalientes. Revista Chapingo. Serie Horticultura 14: 23-32.

Medina, G. G.; Maciel, P. L. H.; Ruiz, C. J. A.; Serrano, A. V. y Silva, S. M. M. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Aguascalientes (periodo 1961-2003). INIFAP. Campo Experimental Pabellón, Fundación Produce, Aguascalientes. Libro técnico núm. 2. SAGARPA.

Nowicka, P., Wojdylo, A. and Laskowski, P. 2019. Principal component analysis (PCA) of physicochemical compounds content in different cultivars of peach fruits, including qualification and quantification of sugars and organic acids by HPLC. European Food Research and Technology 245:929-938.

Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., Rosales-Serna, R., Martínez-Gamiño, M. A., Acosta-Gallegos, J. A. y Figueroa-Sandoval, B. 2013. Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4:1209-1221.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Cierre de la producción agrícola por estado: uva. SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). In: www.siap.gob.mx. Consultado en línea el 20 de septiembre de 2025.

RENDIMIENTO DE FRUTO EN SELECCIONES DE DURAZNERO

Manuel Antonio Galindo-Reyes[1*], José Carlos Monárrez-González[2], Francisco Perdomo Roldán[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de Guadiana. [3]Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Xalostoc, Morelos. * Autor de correspondencia: galindo.manuel@inifap.gob.mx.

Introducción

El duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) es un frutal caducifolio, originario de China (Africano *et al*., 2016). Este frutal se cultiva ampliamente en climas templados, tiene grandes estándares en el mercado internacional, es la tercera fruta de clima templado más importante después de la manzana y la pera. En general, más del 90% de la producción a nivel mundial se destina en fresco (Vázquez-Cuecuecha et al., 2023). Por lo tanto, esta especie tiene amplia importancia a nivel nacional e internacional.

En México, durante el año 2024 se cultivaron más de 34 mil hectáreas de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch.] para diferentes destinos de la producción. Los principales estados en superficie cultivada son Zacatecas, Michoacán, Puebla, entre otros (SIAP, 2024).

En Aguascalientes, el cultivo del duraznero ocupa el tercer lugar entre los frutales, con una superficie de 390 hectáreas, un rendimiento medio de 17 toneladas/hectárea, un precio medio rural de 15,33 pesos/tonelada y un valor de la producción de 102.6 millones de pesos (SIAP, 2024). También, esta especie es importante ya que genera empleo en el medio rural, ya que requiere más de 265 jornales/hectárea/año, y por la derrama económica que genera en el estado (Gutiérrez et al., 2008).

La selección es un método de mejoramiento de especies frutales, que consiste en identificar individuos o plantas sobresalientes, para ello se asume que las plantas que provienen de semilla pueden tener amplia variabilidad genética y se emplea alguna característica deseada como criterio de selección. En Aguascalientes, el duraznero se ha propagado por semilla y se han detectado plantas heterogéneas (70 %) en cuanto a épocas de floración, brotación y maduración, así como en la cantidad y calidad del fruto, entre otros aspectos (Gutiérrez et al., 2008). Con base en lo anterior se ha aprovechado la amplia variabilidad observada en el durazno para desarrollar programas de mejoramiento genético en este estado de la república.

En el Campo Experimental Pabellón (CEPAB) que ubicado en el estado de Aguascalientes, hasta antes del año 2007 existió un programa de mejoramiento en duraznero, donde se generaron diversas selecciones y variedades. Ante esta situación, es importante evaluar las variedades y selecciones generadas en el CEPAB y otros genotipos introducidos de otras regiones con el fin de disponer de variedades comerciales o para iniciar un programa de mejoramiento. Por esta razón, esta investigación tiene como objetivo presentar resultados del rendimiento de fruto y sus componentes de 10 selecciones de duraznero durante varios años.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en un huerto duraznero que se encuentra en el Campo Experimental Pabellón, en Aguascalientes; cuya localización es de 22° 09´ Latitud Norte y 102° 16´ Longitud Oeste y 1,920 m de altitud sobre el nivel del mar. El suelo del huerto es de tipo Calcisol, de clase textural franco-arcillo-arenoso, con pH alcalino (7.9), pobre en materia orgánica (<1.0%), densidad aparente de 1.4 y conductividad eléctrica de 1.7 dS/m (Osuna et al., 2013). El clima que predomina en la región es semidesértico con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 16.2 °C, la media anual máxima es de 20 °C y la mínima es de 7.1 °C (Medina et al., 2006).

En este huerto se evaluaron 10 genotipos durante cinco años y ambos genotipos se consideraron como tratamientos. Dichos tratamientos se distribuyeron en condiciones de un diseño completamente al azar con cinco repeticiones y como unidad experimental se consideró un árbol. En primera instancia, el huerto se estableció con 14 genotipos de duraznero con árboles que provenían de plantas propagadas mediante estaca sin injertar, durante mes de marzo del año 2010, pero en esta evaluación únicamente se presentan resultados de 10 selecciones de duraznero. La plantación se realizó a una distancia de 5 x 4 metros para líneas y plantas, respectivamente; y las hileras se orientaron de Este-Oeste. Todos los árboles se condujeron en vaso, dejando entre cinco y seis ramas principales para favorecer la entrada de la luz.

Con relación al manejo agronómico, en la etapa de letargo, en el mes de enero se hizo la poda de fructificación con la ayuda de tijera. En seguida, el huerto se fertilizó de considerando el requerimiento nutrimental del frutal, aportación nutrimental del agua de riego y del suelo, así resultó la dosis de 100-50-20-30-20-30 unidades de N, P_2O_5, K_2O, CaO, MgO y S, respectivamente. El fertilizante se aplicó de manera fraccionada, en cuatro ocasiones al año, de acuerdo con la etapa fenológica. En letargo, se proporcionó riego por gravedad, aplicando 50 mm de lámina; posteriormente, en primavera se dio un riego cada 10 días, en verano antes del periodo fuerte de lluvia se aplicó un riego cada siete días y durante el otoño se suministró un riego cada 10 días. Finalmente, los árboles recibieron prácticas agronómicas de acuerdo con el manejo comercial de la región como fue el control de maleza, de plagas y de enfermedades.

En cosecha en cada árbol muestreado se contabilizaron frutos totales, frutos comerciales, frutos no comerciales, producción total, producción comercial, producción no comercial, peso promedio de fruto y proporción de fruto comercial. La información se analizó realizando análisis de varianza y pruebas de media cuando las variables resultaron significativas ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

En general, en duraznero el número de frutos y producción por árbol se asocian con varios factores como variedad, clima, manejo agronómico, entre otras cosas. Al respecto, Gutiérrez et al. (2008) señalan que la planta de durazno produce frutos con mayor peso cuando retiene un menor número de frutos por planta.

Frutos por árbol. Los frutos totales por árbol de las selecciones evaluadas fluctuaron entre 795 y 35. En cambio, los frutos comerciales por árbol variaron entre 642 y 30. Las Selecciones 2 y 4 produjeron el mayor número de frutos totales y comerciales por árbol y la Selección 8 presentó el menor número de frutos totales y comerciales por árbol (Cuadro 1). Se puede deducir que las Selecciones 2 y 4 mostraron prácticamente más de 10 veces el número de frutos respecto a la Selección 8.

La Selección 2 superó de manera consistente al resto de las selecciones en el número de frutos no comerciales (Cuadro 1); sin embargo, esta selección produjo mayor número de frutos totales y comerciales.

La proporción de fruto comercial por árbol varió desde 23.3 hasta 84.1%. En general, la Selección 5 presentó la menor proporción de frutos comerciales en comparación con el resto de selecciones (Cuadro 1).

Es importante señalar que Selección 2 presentó más frutos totales, frutos comerciales y mayor proporción de frutos comerciales; por lo tanto, este genotipo se puede considerar como un buen material potencial para producción de fruto en el estado de Aguascalientes.

Cuadro 1. Número de frutos por árbol en selecciones de duraznero en el estado de Aguascalientes.

Genotipo	Frutos totales	Frutos comerciales	Frutos no comerciales	Proporción comercial (%)
Selección 1	200 cde	159.8 def	9.4 abc	63.72 ab
Selección 2	795 a	642.8 a	56.0 a	78.70 a
Selección 3	189 de	102.4 cde	4.6 abc	63.37 ab
Selección 4	589 ab	417.0 a	14.0 abc	74.17 a
Selección 5	275 de	169.6 ef	0.0 c	23.27 b
Selección 6	364 bc	318.8 abc	4.4 abc	84.11 a
Selección 7	592 ab	520.8 ab	36.4 ab	62.72 ab
Selección 8	35 e	30.0 f	0.8 bc	61.42 ab
Selección 9	173 de	78.2 def	20.2 abc	56.84 ab
Selección 10	296 cd	260.4 bcd	0.4 bc	82.72 a

Producción por árbol. La producción total por árbol de las selecciones evaluadas fluctuó entre 1.5 y 58.2 kilogramos. En cambio, la producción comercial por árbol varió desde 1.4 hasta 51.0 kilogramo (Cuadro 2). Las Selecciones 2, 4 y 7 produjeron mayor producción total como comercial por árbol en comparación con las demás selecciones.

La producción no comercial por árbol varió entre 0.0 y 2.3 kilogramos. La Selección 9 superó de manera consistente al resto de las selecciones en producción no comercial por árbol durante la evaluación (Cuadro 2).

Con relación al peso promedio por fruto de las selecciones evaluadas fluctuó entre 38.7 y 115.3 gramos (Cuadro 2). Las Selecciones 9 y 10 presentaron el peso promedio de fruto más alto y la Selección 5 mostró el peso promedio de fruto más bajo. De manera general, el mercado del duraznero acepta frutos con un peso promedio de fruto superiores a 50 gramos, libres de daños y deformaciones; a excepción de los frutos de las Selecciones 5 y 8, la mayoría de los frutos producidos por el resto de las selecciones entran perfectamente en el rango de frutos comerciales demandados.

La Selecciones 9 y 10 superaron de manera consistente al resto de las selecciones en el peso promedio de fruto durante la evaluación (Cuadro 2). Esto se atribuye en parte a que posiblemente los árboles de estas selecciones hayan producido menos frutos, condición que coincide con lo reportado por Gutiérrez et al. (2008).

Cuadro 2. Producción por árbol en selecciones de duraznero en el estado de Aguascalientes.

Genotipo	Producción total (kg)	Producción comercial (kg)	Producción no comerciales (kg)	Peso promedio de fruto (g)
Selección 1	13.6 cd	11.9 d	0.291 b	70.0 cd
Selección 2	58.2 a	51.0 a	1.686 ab	89.8 bc
Selección 3	16.1 cd	10.2 bcd	0.301 b	93.5 abc
Selección 4	39.5 ab	32.2 a	0.492 b	79.6 bcd
Selección 5	25.1 bc	17.1 d	0.000 c	38.7 d
Selección 6	25.6 bc	23.9 abc	0.160 c	82.2 cd
Selección 7	44.0 ab	41.2 a	1.261 b	84.2 bc
Selección 8	1.5 e	1.4 d	0.020 c	48.3 cd
Selección 9	18.2 cd	10.2 cd	2.281 a	115.3 a
Selección 10	31.3 bc	28.9 ab	0.012 c	114.7 a

Conclusiones

La Selección 2 produjo mayor número de frutos totales y comerciales por árbol. Las Selecciones 2 y 4 presentaron mayor producción total y comercial por árbol. Las Selecciones 9 y 10 mostraron el peso promedio de fruto más alto.

Referencias

Africano, K. L., Almanza, M. P. J., Criollo, E. H., Herrera, A. y Balaguera, L. H. E. 2016. Caracterización poscosecha del fruto de durazno [*Prunus persica* L. Batsch] cv. Dorado producido bajo condiciones de trópico alto. Revista Colombiana de Ciencias Hortícicolas 10:232-240.

Gutiérrez-Acosta, F., J. Padilla-Ramírez y L. Reyes-Muro. 2008. Fenología, producción y características de fruto de selecciones de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) 'Ana' en Aguascalientes. Revista Chapingo. Serie Horticultura 14: 23-32.

Medina, G. G.; Maciel, P. L. H.; Ruiz, C. J. A.; Serrano, A. V. y Silva, S. M. M. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Aguascalientes (periodo 1961-2003). INIFAP. Campo Experimental Pabellón, Fundación Produce, Aguascalientes. Libro técnico núm. 2. SAGARPA.

Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., Rosales-Serna, R., Martínez-Gamiño, M. A., Acosta-Gallegos, J. A. y Figueroa-Sandoval, B. 2013. Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4:1209-1221.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Cierre de la producción agrícola por estado: uva. SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). *In*: www.siap.gob.mx. Consultado en línea el 20 de septiembre de 2025.

Vázquez-Cuecuecha, O. G., García-Gallegos, E. y Chávez-Gómez, J. A. 2023. Caracterización física y química de los frutos de tres variedades de *Prunus persica* L. Batsch en Tlaxcala. Revista mexicana de Ciencias Agrícolas, 14:90-99.

INDICADORES BIOQUÍMICOS DEL SECUESTRO DE CARBONO EN SUELOS AGRÍCOLAS BAJO AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN A MEDIANO PLAZO

Erika Nava-Reyna[1*], Miguel Ángel Martínez-Gamiño[2], María del Rosario Jacobo-Salcedo[1], Judith Abigail Sánchez-Ledesma[3], Cinthya Judith Ortega Esparza[4]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Gómez Palacio, Dgo., México; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C.E. San Luis, Soledad de Graciano Sánchez, SLP, México; [3]Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto de la Tecnología, Torreón - San Pedro km 7.5, CP 27170, Ejido Ana, Torreón, Coahuila, México; [4]Unidad Regional de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 40. Ctra. Gómez Palacio - Chihuahua, CP 35230, Bermejillo, Dgo., México. *Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

El modelo de producción de la agricultura de conservación (AC) se basa en tres principios interrelacionados: una perturbación mínima o nula del suelo por labranza y el cortar y mezclar los residuos vegetales con el suelo para prevenir picos a corto tiempo de actividad biológica con flujos de carbono y nitrógeno y con disrupción de los agregados físicos del suelo; el mantenimiento por largos periodos del acolchado con diversa biomasa vegetal con plantas vivas o residuos de la cosecha para proteger la superficie y como fuente continua de sustrato para los microorganismos; el incremento de la diversificación de las especies de plantas en el sistema de producción con rotación de cultivos y asociaciones como cultivos de cobertura (Leal et al., 2020; Li et al., 2018). Las variaciones en la materia orgánica, la cobertura vegetal y la estructura del suelo ejercen una influencia directa sobre la microbiota edáfica y sus atributos bioquímicos, tales como la respiración microbiana, la biomasa, la diversidad y la actividad enzimática. Dichos parámetros constituyen indicadores sensibles de los cambios en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) y en otras propiedades edáficas asociadas. Esta interrelación evidencia el papel fundamental de la microbiota y sus enzimas en el ciclo biogeoquímico de los nutrientes, en las dinámicas del carbono y en el mantenimiento del funcionamiento del sistema suelo, estableciendo así un vínculo estrecho con la productividad primaria de los ecosistemas (Trivedi et al., 2022).

Anteriormente, se demostró el impacto de la AC a largo plazo favorece el incremento del almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, así como su influencia sobre la actividad de las enzimas glucanasa (β-galactosidasa, β-gal) y fenol oxidasa (polifenol oxidasa, PPO) (Nava-Reyna et al., 2022). Sin embargo, persiste la necesidad de evaluar la eficacia de estas prácticas en escalas temporales más cortas. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo validar la utilidad de la cuantificación de la actividad enzimática β-gal y PPO como indicadores sensibles de las variaciones en el almacén de carbono orgánico del suelo.

Materiales y métodos

Sitio de estudio y toma de muestras. El estudio se realizó en una parcela de productores cooperantes ubicada en el Ejido El Rosario, municipio de Villa de Reyes, San Luis Potosí, con un historial de cinco años consecutivos bajo prácticas de AC, donde se estableció el cultivo de (*Zea mays* L.) del genotipo Espartaco. Se evaluaron dos tratamientos: (1) AC, consistente en mantener el 100% del rastrojo del ciclo previo sobre la superficie del suelo, y (2) labranza convencional de barbecho más rastra (LC), empleada por los productores locales.

De cada tratamiento se obtuvieron aleatoriamente 10 muestras suelo superficial (0–10 cm de profundidad), las cuales se homogenizaron para conformar una muestra compuesta. La densidad aparente del suelo se determinó *in situ* mediante el método del núcleo (Fan et al., 2014).

Cuantificación del almacén de carbono orgánico del suelo. El contenido COS se determinó mediante el método de Walkley y Black (1934) con cuatro repeticiones de cada muestra compuesta. Este valor se empleó para estimar la reserva de carbono orgánico del suelo (reserva de COS) y la tasa de secuestro de carbono (Paul et al., 2016)

Determinación de la actividad enzimática. Las actividades enzimáticas se evaluaron mediante la determinación de β-galactosidasa, siguiendo el método descrito por (Eivazi & Tabatabai (1988), y de polifenol oxidasa, de acuerdo con los procedimientos propuestos por Purahong et al. (2014) y Sinsabaugh (2000).

Análisis estadístico. Se utilizó el programa IBM SPSS Statistics v25®. La verificación de la normalidad y la homogeneidad de varianzas se realizó mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente, con un nivel de confianza del 95 %. Las diferencias entre tratamientos se determinaron mediante la prueba *t* de Student ($p \leq 0.05$). Además, se aplicaron análisis de correlación de Pearson y regresión múltiple con el propósito de identificar la relación funcional lineal entre las actividades enzimáticas y las reservas de carbono del suelo.

Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados, se observó un efecto significativo de la AC en el almacén de COS desde el mediano plazo ($t = -11.218$, $p = 0.000$), incrementando su concentración en relación a la LC. Se ha demostrado que la adopción de prácticas de AC es una respuesta sustentable de manejo del suelo que protege el medioambiente y permite responder y adaptarse al cambio climático (Pisante et al., 2012), y uno de sus principales efectos es el incremento del almacenamiento de carbono en el suelo (Li et al., 2020; Valkama et al., 2020), tal como se demostró en este estudio (Figura 1a).

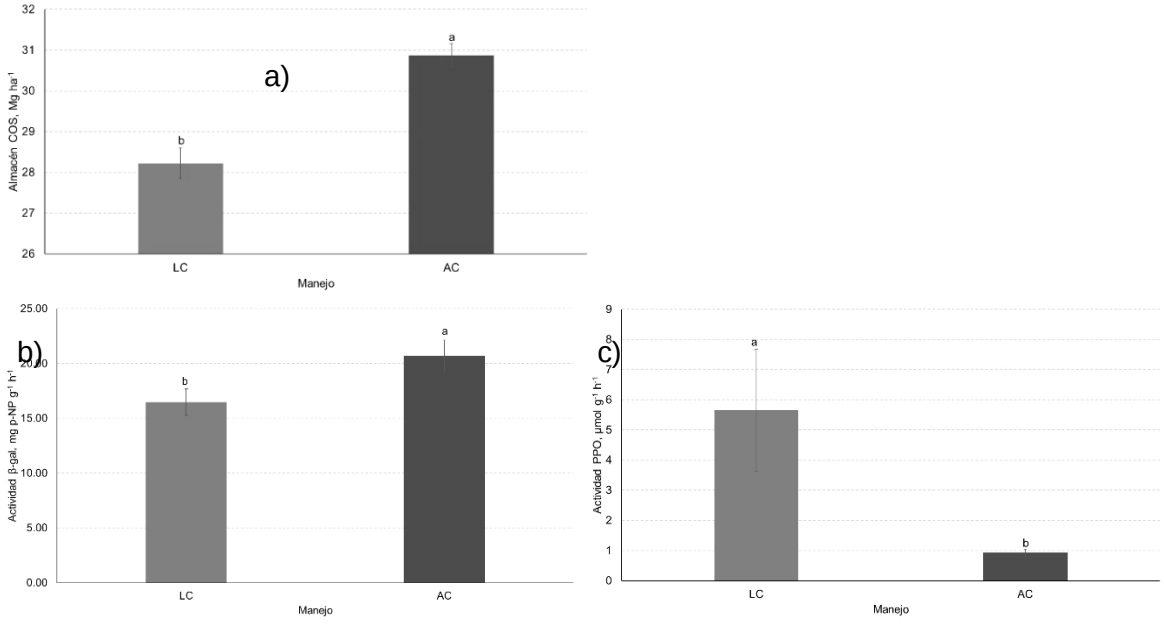


Figura 1. Almacén de carbono orgánico del suelo (a), actividad β-galactosidasa (b) y polifenol oxidasa (PPO) (c) bajo diferentes tipos de manejo del suelo: LC – labranza convencional (barbecho + rastra); AC – agricultura de conservación.

La actividad β-gal fue significativamente afectada por el tipo de manejo (t = -4,521, p = 0.004), donde la LC favoreció este tipo de glucosidasa (Figura 1b), al igual que la actividad PPO (t = 7.747, p = 0.000), siendo mayor en la LC (Figura 1c).

La β-galactosidasa es una enzima vinculada al ciclo del carbono (C) que cataliza la hidrólisis de la lactosa y participa en la síntesis de galactooligosacáridos mediante su actividad de transgalactosilación, por lo tanto, los productos de su hidrólisis constituyen fuentes energéticas clave para los microorganismos del suelo (Das et al., 2015), por lo que sus niveles se asocian con la disponibilidad de carbono orgánico. En sistemas de AC, la descomposición de residuos vegetales incrementa dicha disponibilidad, de modo que una mayor actividad de esta enzima puede indicar un aumento en la tasa de recambio del carbono edáfico (Zhang et al., 2015). En contraste, la LC presenta menor disponibilidad de C por la perturbación del suelo y la falta de incorporación de materia orgánica externa. La polifenol oxidasa, por otro lado, interviene en la degradación de lignina y en la formación de sustancias húmicas, contribuyendo a la estabilización del carbono del suelo (Zhou et al., 2022). Se ha demostrado una menor actividad de PPO en suelos bajo cero labranza y manejo de residuos (Sharma et al., 2021; Wen et al., 2023), resultados coherentes con los obtenidos en este estudio. Esta disminución puede atribuirse a la baja disponibilidad de oxígeno en sistemas de AC, en contraste con la labranza convencional que, al airear el suelo, favorece la actividad oxidativa. Además, la AC propicia la acumulación de compuestos fenólicos solubles que inhiben enzimas hidrolíticas (Tejirian & Xu, 2011) y, en consecuencia, promueven el secuestro de carbono en el suelo (Sinsabaugh, 2010).

El análisis de correlación lineal múltiple evidenció que las actividades enzimáticas de β-galactosidasa (β-gal) y polifenol oxidasa (PPO) predicen de manera significativa el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) ($F = 31.886$; g.l. = 2; $p = 0.001$; $R^2 = 0.927$),), lo que confirma su valor como indicadores bioquímicos de la dinámica del carbono edáfico. La relación se describió mediante el siguiente modelo de regresión lineal múltiple:

$$Almacén\ COS = 0.246(\beta - gal) - 0.304(PPO) + 25.967$$

Los coeficientes negativos sugieren que una mayor actividad enzimática se asocia con una mayor mineralización del carbono, producto de la intensificación de los procesos microbianos de degradación de residuos vegetales. Este comportamiento coincide con lo reportado por Sharma et al. (2021) y Zhang et al. (2015), quienes observaron una relación inversa entre la actividad enzimática y el contenido de COS bajo sistemas de conservación. En conjunto, estos resultados refuerzan la utilidad de las enzimas β-gal y PPO como indicadores sensibles de los cambios en la estabilidad y recambio del carbono orgánico del suelo.

Conclusiones

Las actividades enzimáticas de β-galactosidasa y polifenol oxidasa son predictoras significativas del almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS), explicando más del 80 % de su variabilidad, desde el mediano plazo. La relación negativa observada con la PPO indica que un aumento en la actividad de estas enzimas se asocia con una mayor degradación de materia orgánica y, por tanto, una reducción en las reservas de carbono, mientras que la relación positiva refleja el impacto positivo de la AC en el ciclo del carbono. Esto evidencia que dichas enzimas actúan como indicadores bioquímicos sensibles del equilibrio entre los procesos de mineralización y estabilización del carbono en suelos agrícolas. En este sentido, la reducción de la actividad fenol oxidasa bajo prácticas de AC podría contribuir a la retención de carbono y la sostenibilidad del sistema edáfico.

Agradecimientos

La presente investigación fue financiada por el proyecto tecnológico del INIFAP titulado “Actividad enzimática del suelo como bioindicador del almacén de carbono bajo agricultura de conservación”, en su fase de transferencia de tecnología.

Referencias

Das, B., Roy, A. P., Bhattacharjee, S., Chakraborty, S., & Bhattacharjee, C. (2015). Lactose hydrolysis by β-galactosidase enzyme: optimization using response surface methodology. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *121*, 244–252.

Eivazi, F., & Tabatabai, M. A. (1988). Glucosidases and galactosidases in soils. Soil Biology and Biochemistry, 20(5), 601–606.

Fan, J., Ding, W., Xiang, J., Qin, S., Zhang, J., & Ziadi, N. (2014). Carbon sequestration in an intensively cultivated sandy loam soil in the North China Plain as affected by compost and inorganic fertilizer application. Geoderma, 230–231, 22–28.

Leal, O. A., Amado, T. J. C., Fiorin, J. E., Keller, C., Reimche, G. B., Rice, C. W., Nicoloso, R. S., Bortolotto, R. P., & Schwalbert, R. (2020). Linking Cover Crop Residue Quality and Tillage System to CO2-C Emission, Soil C and N Stocks and Crop Yield Based on a Long-Term Experiment. Agronomy, 10(12), 1848.

Li, Y., Chang, S. X., Tian, L., & Zhang, Q. (2018). Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. Soil Biology and Biochemistry, 121, 50–58.

Li, Y., Li, Z., Chang, S. X., Cui, S., Jagadamma, S., Zhang, Q., & Cai, Y. (2020). Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: Implications for conservation agriculture. Science of The Total Environment, 740, 140147.

Nava-Reyna, E., Martínez-Gamiño, M. A., Constante-García, V., Santellanez-Arreola, K., & Arreola-Ávila, J. (2022). Bioindicadores del impacto de diferentes prácticas de manejo en la calidad del suelo en zonas semiáridas del noreste de México. In G. Hernández Ibarra, A. López Santos, M. Á. Mata Espinosa, R. Trejo Calzada, O. Oscar Esquivel Arriaga, F. García González, & M. A. López Santiago (Eds.), VI Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas (pp. 251–256). Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

Paul, J., Choudhary, A. K., Sharma, S., Savita, Bohra, M., Dixit, A. K., & Kumar, P. (2016). Potato production through bio-resources: Long-term effects on tuber productivity, quality, carbon sequestration and soil health in temperate Himalayas. Scientia Horticulturae, 213, 152–163.

Pisante, M., Stagnari, F., & Grant, C. A. (2012). Agricultural Innovations for Sustainable Crop Production Intensification. Italian Journal of Agronomy, 7(4), e40.

Purahong, W., Kapturska, D., Pecyna, M. J., Schulz, E., Schloter, M., Buscot, F., Hofrichter, M., & Kruger, D. (2014). Influence of different forest system management practices on leaf litter decomposition rates, nutrient dynamics and the activity of ligninolytic enzymes: A case study from Central European forests. PLoS ONE, 9(4), 1–11.

Shah, K. K., Tripathi, S., Tiwari, I., Shrestha, J., Modi, B., Paudel, N., & Das, B. D. (2021). Role of soil microbes in sustainable crop production and soil health: A review. Agricultural Science and Technology, 13(Volume 13, Issue 2), 109–118.

Sharma, S., Saikia, R., Thind, H. S., Singh, Y., & Jat, M. L. (2021). Tillage, green manure and residue management accelerate soil carbon pools and hydrolytic enzymatic activities for conservation agriculture based rice-wheat systems. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 52(5), 470–486.

Sinsabaugh, R. L. (2000). Phenol oxidase and peroxidase assays. University of Toledo, September, 1–5.

Sinsabaugh, R. L. (2010). Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. Soil Biology and Biochemistry, 42(3), 391–404.

Tejirian, A., & Xu, F. (2011). Inhibition of enzymatic cellulolysis by phenolic compounds. Enzyme and Microbial Technology, 48(3), 239–247.

Trivedi, P., Batista, B. D., Bazany, K. E., & Singh, B. K. (2022). Plant–microbiome interactions under a changing world: responses, consequences and perspectives. New Phytologist, 234(6), 1951–1959.

Valkama, E., Kunypiyaeva, G., Zhapayev, R., Karabayev, M., Zhusupbekov, E., Perego, A., Schillaci, C., Sacco, D., Moretti, B., Grignani, C., & Acutis, M. (2020). Can conservation agriculture increase soil carbon sequestration? A modelling approach. Geoderma, 369, 114298.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Science, 37(1), 29–38.

Wen, L., Peng, Y., Zhou, Y., Cai, G., Lin, Y., & Li, B. (2023). Effects of conservation tillage on soil enzyme activities of global cultivated land: A meta-analysis. Journal of Environmental Management, 345, 118904.

Zhang, L., Chen, W., Burger, M., Yang, L., Gong, P., & Wu, Z. (2015). Changes in Soil Carbon and Enzyme Activity As a Result of Different Long-Term Fertilization Regimes in a Greenhouse Field. PLOS ONE, 10(2), e0118371.

Zhang, P., Wei, T., Li, Y., Wang, K., Jia, Z., Han, Q., & Ren, X. (2015). Effects of straw incorporation on the stratification of the soil organic C, total N and C:N ratio in a semiarid region of China. Soil and Tillage Research, 153, 28–35.

ANÁLISIS DEL CARBONO LÁBIL Y DEL ÍNDICE DE GESTIÓN DE CARBONO COMO HERRAMIENTAS DE MONITOREO EN AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Erika Nava-Reyna[1*], Miguel Ángel Martínez-Gamiño[2], María del Rosario Jacobo-Salcedo[1], Judith Abigail Sánchez-Ledesma[3], Sandra Patricia Maciel Torres[4]

[1]INIFAP CENID-RASPA, Km. 6.5 margen derecha, Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Dgo., México. [2]INIFAP, CIRNE - Campo Experimental San Luis, Soledad de Graciano Sánchez, SLP, México. [3]Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto de la Tecnología, Torreón-San Pedro km 7.5, CP 27170, Ejido Ana, Torreón, Coahuila, México. [4]Unidad Regional de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 40 Carretera Gómez Palacio-Chihuahua, CP 35230, Bermejillo, Dgo., México. *Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Introducción

El aumento del contenido de carbono orgánico del suelo (COS) en sistemas agrícolas es fundamental para mantener la calidad y productividad del suelo, además de contribuir a la mitigación del cambio climático mediante la captura de carbono (Veloso et al., 2025). En este contexto, la agricultura de conservación (AC) promueve la formación y estabilidad de los agregados del suelo al evitar su disturbio mecánico, lo que también puede reducir parcialmente la actividad microbiana responsable de la mineralización del carbono. El almacenamiento de COS depende, asimismo, de la cantidad y calidad de la biomasa incorporada en los sistemas agrícolas. Una mayor adición de residuos vegetales incrementa el potencial de acumulación de COS; sin embargo, la calidad de dichos residuos determina su efecto sobre la agregación del suelo y la estabilización del carbono (Ardenti et al., 2023). Por lo tanto, el tipo de labranza y el manejo de residuos modulan la dinámica del carbono, el ciclo de nutrientes y la sostenibilidad del sistema edáfico. Entre los indicadores más sensibles para evaluar el efecto del manejo agrícola sobre el carbono del suelo, el Índice de Gestión de Carbono (CMI, *Carbon Management Index*) destaca por relacionar el almacén total de COS con su fracción lábil, reflejando así la capacidad de un sistema de manejo para conservar o degradar la materia orgánica y los nutrientes esenciales del suelo (Blair et al., 1995; Kumar et al., 2019). Estudios previos demostraron que la determinación de la fracción lábil de carbono (CL) y del CMI son indicadores eficaces para evaluar los efectos a largo plazo de la AC sobre la calidad del suelo, mostrando una sensibilidad superior a la de las mediciones tradicionales de carbono orgánico total (COT) para detectar variaciones en la descomposición microbiana de la materia orgánica y en la influencia de factores externos (Nava-Reyna et al., 2024). No obstante, persiste la necesidad de valorar su eficacia en escalas temporales más cortas. Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo validar la utilidad del CL y del CMI como indicadores del impacto de la agricultura de conservación en el almacenamiento de carbono a mediano plazo.

Materiales y métodos

Descripción de la parcela de estudio y muestreo. El estudio se llevó a cabo en una parcela de productores cooperantes localizada en el Ejido El Rosario, municipio de Villa de Reyes, San Luis Potosí, México. El sitio presenta un historial de cinco años consecutivos bajo prácticas de agricultura de conservación (AC). Durante el ciclo primavera–verano, se cultivó maíz genotipo Espartaco. Se evaluaron dos sistemas de manejo: (1) agricultura de conservación (AC), caracterizada por la permanencia del 100 % del rastrojo del ciclo anterior sobre la superficie del suelo, y (2) labranza convencional (LC), correspondiente a la práctica regional de barbecho seguido de rastra. Para cada tratamiento se recolectaron al azar diez submuestras de suelo superficial (0–10 cm de profundidad), haciendo una muestra compuesta de cada tratamiento.

Cuantificación del carbono. El carbono total (CT) del suelo fue determinado con un analizador elemental (Elementar modelo Vario Micro Cube), mientras que el carbono lábil se evaluó con la técnica de oxidación con permanganato de potasio (Blair et al., 1995), determinando la absorbancia de las muestras a 565 nm.

Índice de gestión de carbono (CMI). El CMI se calculó utilizando como referencia un suelo conservado (mezquital), siguiendo el enfoque propuesto por Blair et al. (1995). Este índice se determinó mediante la siguiente relación:

$$CMI = CPI \times LI \times 100$$

donde el índice de reserva de carbono (CPI) se definió como:

$$CPI = \frac{C_{total} de\ la\ muestra}{C_{total} del\ suelo\ de\ referencia}$$

y el índice de labilidad (LI) se obtuvo a partir de:

$$LI = \frac{Labilidad\ del\ C\ en\ la\ muestra}{Labilidad\ del\ C\ en\ suelo\ de\ referencia}$$

La labilidad del carbono (L) se expresó como la proporción entre el carbono en la fracción oxidada por $KMnO_4$ y el carbono no oxidado por el mismo agente.

Análisis estadístico. La normalidad de los datos fue verificada mediante la prueba de Shapiro–Wilk con un nivel de confianza del 95 %, y la homogeneidad de varianzas mediante Levene. Los datos que no cumplieron con el supuesto de normalidad fueron transformados utilizando $\log_{10}$. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 % empleando el software IBM SPSS Statistics v25®.

Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados, el tipo de manejo del suelo tiene un impacto en la concentración de carbono total (F = 185.194, p = 0.000), donde la mayor concentración se encontró en el mezquital conservado, seguido por el suelo bajo AC y finalmente LC (Figura 1a).

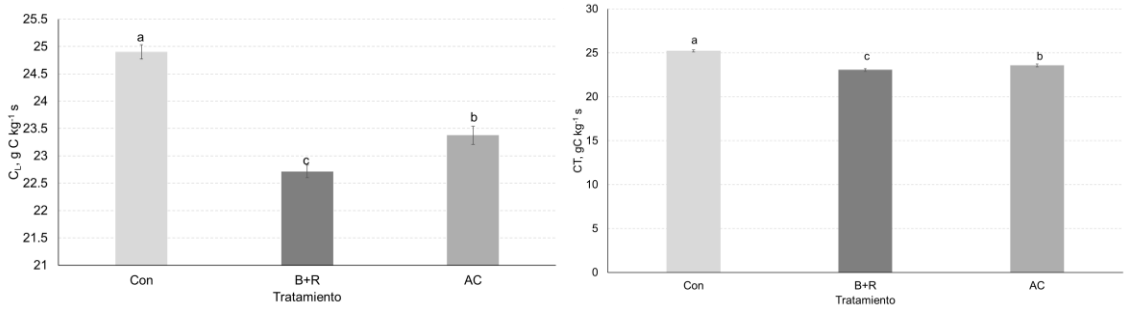


Figura 1. Carbono total (a) y carbono lábil (b) en suelos con diferente manejo: Con – mezquital conservado, B+R – labranza convencional con barbecho más rastra, AC – agricultura de conservación.

En cuanto al carbono lábil, éste también fue influenciado significativamente por el manejo agronómico (F = 197.4771, p = 0.000), donde el Con fue el que mayor contenido tuvo, seguido por AC y por último B+R (Figura 1b).

El mayor contenido de carbono total y lábil en el mezquital conservado se asocia con una menor perturbación del suelo y una alta incorporación de materia orgánica estable, lo que favorece la formación de agregados y la protección física del carbono (Ben Ali & Shukla, 2024). En contraste, el suelo bajo AC mostró valores intermedios, reflejando un equilibrio entre el aporte de residuos y una perturbación mínima del suelo, que promueve la acumulación de carbono activo (Dey et al., 2020; Sharma et al., 2021). Por el contrario, la labranza convencional redujo significativamente ambas fracciones de carbono, debido a la disrupción de los agregados y la exposición del carbono a una rápida mineralización microbiana (Zhang et al., 2023). De acuerdo con lo anterior, las prácticas de manejo del suelo influyen directamente en la dinámica del carbono orgánico, y que la reincorporación de residuos y la mínima perturbación son estrategias efectivas para mejorar la calidad del suelo y su capacidad de secuestro de carbono.

El CMI presentó diferencia significativa entre ambos métodos de labranza (t = -15.345, p = 0.000), al igual que el LI (t = -14.760, p = 0.000), donde ambos valores fueron mayores para AC (Figura 2), lo que refleja una mayor calidad y dinámica activa del carbono del suelo. Las prácticas de AC favorecen la acumulación de fracciones lábiles de carbono, lo que estimula la actividad microbiana y el reciclaje de nutriente (Sharma et al., 2021). En cambio, la labranza convencional acelera la oxidación del carbono orgánico y reduce la fracción lábil al exponer la materia orgánica protegida a la descomposición, disminuyendo así la capacidad del suelo para mantener su estabilidad estructural y funcional (Zhang et al., 2023). Por tanto, el incremento del CMI y LI bajo agricultura de conservación refleja una mejora en la calidad y sostenibilidad del sistema edáfico.

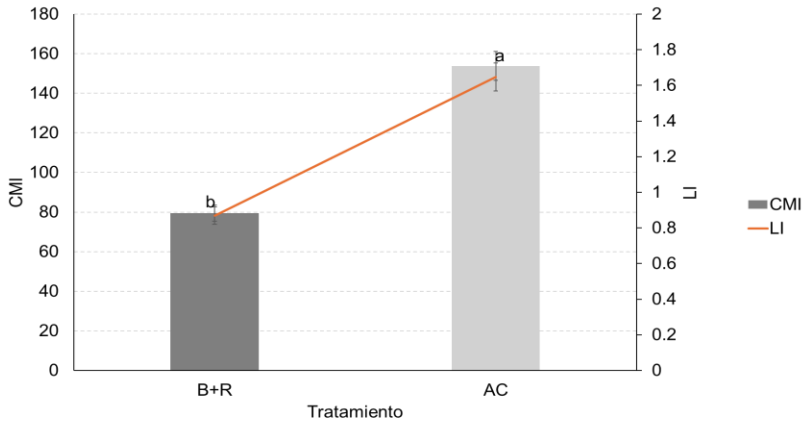


Figura 2. Índice de gestión de carbono (CMI) e índice de labilidad (LI) de suelos bajo agricultura de conservación (AC) y labranza convencional (LC).

Conclusiones

Los resultados confirman que el carbono lábil y el índice de gestión de carbono son indicadores sensibles y eficaces para evaluar el impacto de la agricultura de conservación en el almacenamiento de carbono a mediano plazo. Los mayores valores de CL, CMI y LI bajo manejo de conservación evidencian una mejor calidad y estabilidad del carbono del suelo, asociadas con una mayor acumulación de materia orgánica. Por tanto, estas variables pueden emplearse como herramientas confiables para monitorear la sostenibilidad de los sistemas agrícolas conservacionistas desde el mediano plazo.

Agradecimientos

El presente estudio fue financiado por el proyecto tecnológico del INIFAP titulado "Implementación de la determinación de la labilidad del carbono como herramienta para evaluar la restauración o degradación de suelos bajo diferentes sistemas de labranza", en su etapa de validación tecnológica.

Referencias

Ardenti, F., Capra, F., Lommi, M., Fiorini, A., & Tabaglio, V. (2023). Long-term C and N sequestration under no-till is governed by biomass production of cover crops rather than differences in grass vs. legume biomass quality. *Soil and Tillage Research*, *228*, 105630.

Ben Ali, A., & Shukla, M. (2024). Assessment of soil organic and inorganic carbon stocks in arid and semi-arid rangelands of southeastern New Mexico. *Ecological Indicators*, *166*, 112398.

Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, *46*(7), 1459–1466.

Dey, A., Dwivedi, B. S., Bhattacharyya, R., Datta, S. P., Meena, M. C., Jat, R. K., Gupta, R. K., Jat, M. L., Singh, V. K., Das, D., & Singh, R. G. (2020). Effect of conservation agriculture on soil organic and inorganic carbon sequestration and lability: A study from a rice–wheat cropping system on a calcareous soil of the eastern Indo-Gangetic Plains. *Soil Use and Management*, *36*(3), 429–438.

Kumar, N., Nath, C. P., Hazra, K. K., Das, K., Venkatesh, M. S., Singh, M. K., Singh, S. S., Praharaj, C. S., & Singh, N. P. (2019). Impact of zero-till residue management and crop diversification with legumes on soil aggregation and carbon sequestration. *Soil and Tillage Research*, *189*, 158–167.

Nava-Reyna, E., Martínez-Gamiño, M. A., Sánchez-Cohen, I., Constante-García, V., & Osuna-Ceja, E. S. (2024). Impacto de la agricultura de conservación sobre la calidad de suelos degradados. *XX Congreso Internacional Sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas*, 450–454.

Sharma, S., Saikia, R., Thind, H. S., Singh, Y., & Jat, M. L. (2021). Tillage, green manure and residue management accelerate soil carbon pools and hydrolytic enzymatic activities for conservation agriculture based rice-wheat systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *52*(5), 470–486.

Veloso, M., Amorim, F. F., de Souza, J. P., & Bayer, C. (2025). Impact of Three Decades of Conservation Management Systems on Carbon Management Index and Aggregate Stability. *Sustainability*, *17*(8), 3378.

Zhang, X., Shen, S., Xue, S., Hu, Y., & Wang, X. (2023). Long-term tillage and cropping systems affect soil organic carbon components and mineralization in aggregates in semiarid regions. *Soil and Tillage Research*, *231*, 105742.

ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA SOBRE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) PARA EL PERÍODO 2015-2025

Sergio Arellano-Arciniega[1], Silvia Xochilt Almeraya-Quintero[2]*, Mercedes Borja-Bravo[1], Rigoberto Rosales-Serna[3], Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá-Rico[4], Lenin G. Guajardo-Hernández[2], Omar Castor Ponce-Garcia[5] y Sandra Mariela Repper-Cortés[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C. E. Pabellón; [2]Colegio de Postgraduados, Programa de Desarrollo Rural, Campus Montecillo; [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C. E. Valle del Guadiana; [4]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C.E. Las Huastecas; [5]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C. E. Delicias. *Autor de correspondencia: xalmeraya@colpos.mx

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la legumbre de mayor importancia a nivel mundial, considerado como un ingrediente que aporta proteínas y nutrientes esenciales para las comunidades de regiones en Latinoamérica y África. Derivado de la importancia alimentaria, anualmente se siembran 34.9 millones de ha y se producen 27.5 millones de t de grano en el mundo (Altaf et al., 2025).

En México, el frijol es un cultivo estratégico que se cultiva y consume en todos los estados de la república, motivo por el cual presenta una amplia versatilidad productiva (Ramírez-Jaspeado et al., 2020), lo que ha motivado al desarrollo de innovaciones tecnológicas y de investigación científica, sobre todo en aspectos agronómicos. Aunado a lo anterior, en las últimas décadas, la investigación científica en torno al frijol ha sido impulsada por la necesidad de fortalecer los sistemas agroalimentarios ante los retos del cambio climático y lograr la seguridad alimentaria (Beebe et al., 2013). Sin embargo, en México son pocos los estudios sobre la producción científica del frijol, que puedan contribuir con la orientación de las líneas de investigaciones y diseños de proyectos en los centros de investigación y universidades mexicanas.

El análisis bibliométrico es un método que se utiliza para proporcionar análisis cualitativos de publicaciones escritas sobre una temática determinada (Ellegaard & Wallin, 2015). En este marco, el análisis bibliométrico está consolidándose como una herramienta metodológica para evaluar la evolución del conocimiento científico, identificar tendencias de investigación, actores relevantes, redes de colaboración académicas y vacíos temáticos en la literatura especializada (Donthu et al., 2021).

Los estudios bibliométricos han sido utilizados en disciplinas como la agricultura, sobre todo en especies como soja (Magrini et al., 2019), arroz (Morooka et al., 2014), y maíz (Yuan & Sun, 2020). Específicamente para frijol, se ubican los realizados por Rajendran (2021) donde utilizó un análisis cienciométrico para el tema de frijol en el periodo 2011-2013; Capanema et al. (2022) realizaron un análisis bibliométrico global sobre la producción de frijol.

Estos trabajos demuestran que la bibliometría no solo es útil para describir la evolución de un campo científico, al constituirse para proponer estrategias de colaboración y orientar esfuerzos hacia áreas prioritarias de investigación. El objetivo fue realizar un análisis bibliométrico de la producción científica relacionada con la productividad y mejoramiento genético del cultivo de frijol para el periodo 2015-2025.

Materiales y métodos

El presente estudio es de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo. Se llevó a cabo una revisión de literatura con la finalidad de sintetizar la investigación existente de la temática en torno a la productividad y mejoramiento genético del cultivo de frijol. La recopilación de publicaciones se hizo a través de la meta-base de datos Scopus, perteneciente a Elsevier.

Los términos de búsqueda fueron las palabras “genetic improvement” y “productivity” aplicadas en los campos de título, resumen y palabras clave, lo que arrojó un total de 1,846 documentos; sin embargo, se observó que una proporción considerable de estos registros no presentaban una relación directa con el tema central, por lo cual, se depuro para asegurar la relevancia temática del conjunto de documentos analizados y esto permitió reducir el número total de documentos a 541, asegurando una mayor relevancia para los fines del análisis. El periodo de estudio comprendió desde enero de 2015 al 30 de marzo de 2025. Del total de documentos analizados, 520 correspondieron a artículos científicos, representando el 96% del total y los restantes se distribuyeron en 20 capítulos de libros y un libro completo.

La base de datos utilizada se recuperó con extensión csv y para el análisis bibliométrico se empleó el software VOSviewer, versión 1.6.20. Se realizó un análisis de co-ocurrencia de palabras clave y resúmenes de las publicaciones seleccionadas.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestra el número de publicaciones anuales registradas en las bases de datos científicas durante el periodo 2015-2025, como parte del análisis bibliométrico. En el análisis temporal de las publicaciones se observa una tendencia fluctuante a lo largo del periodo estudiado. El año con mayor número de publicaciones fue 2021, con un total de 61 documentos, seguido por 2018 y 2023, ambos con 60 publicaciones. En contraste, los años con menor producción fueron 2020 y 2025, aunque este último resultado depende de los meses analizados del año en curso, lo cual es una observación común en análisis bibliométricos en tiempo real.

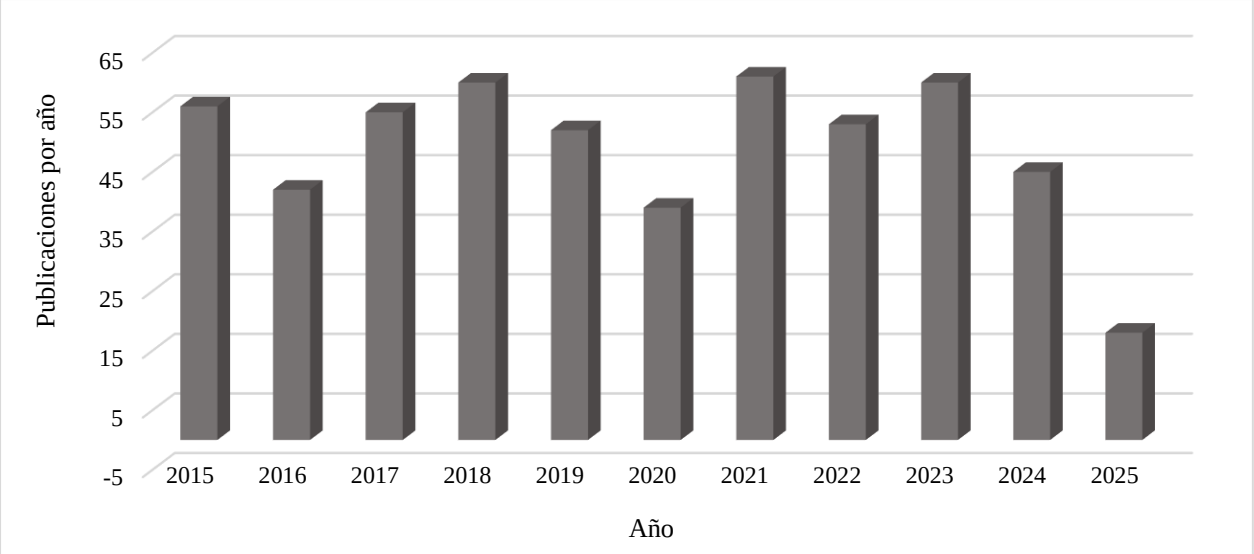


Figura 1. Distribución de publicaciones por año de 2015 a marzo de 2025.

El análisis bibliométrico realizado permitió obtener una visión integral del comportamiento científico en torno al cultivo de *Phaseolus vulgaris* en la última década. Se evidenció un incremento a partir de 2021, que como señala Else (2020) podría estar relacionado con la reactivación científica posterior a la pandemia de COVID-19. Esta constancia en la producción refleja el interés por el estudio del cultivo de frijol, reconocido como un cultivo estratégico por su valor nutricional, su adaptación a climas diversos y su relevancia para la seguridad alimentaria, particularmente en América Latina y África (Beebe et al., 2013).

Análisis de co-ocurrencia de palabras clave. El análisis está basado y relacionado con el tema de *Phaseolus vulgaris*, como se muestra en la Figura 2. Los nodos formados representan una palabra clave extraída de los títulos y resúmenes de los documentos analizados.

El tamaño del nodo indica la frecuencia de aparición, mientras que el color identifica los cinco clústeres con alta co-ocurrencia entre palabras. A partir de las palabras clave se puede identificar que el clúster rojo estuvo relacionado a investigaciones sobre manejo agronómico del cultivo de frijol, producción y fisiología vegetal; en este clúster se agruparon las investigaciones que tratan sobre el rendimiento agronómico del frijol, sus respuestas fisiológicas, manejo agronómico y adaptación a condiciones ambientales.

También se incluyen estudios sobre inoculación, fijación de nitrógeno y técnicas como intercalado de cultivos. El clúster verde oscuro integró los temas sobre genética, mejoramiento y biofortificación. Las investigaciones tratan sobre el mejoramiento genético, desarrollo de semillas, genética molecular, biofortificación y expresión genética de frijol. En este clúster se conectan temas sobre nutrición, situación que refleja el enfoque multidisciplinario del mejoramiento nutricional, el cual es considerado como una estrategia viable, sostenida y de bajo costo para combatir la malnutrición, en países de América Latina, África y Asia donde el frijol es la fuente principal de proteínas y micronutrientes (Kimani, 2025).

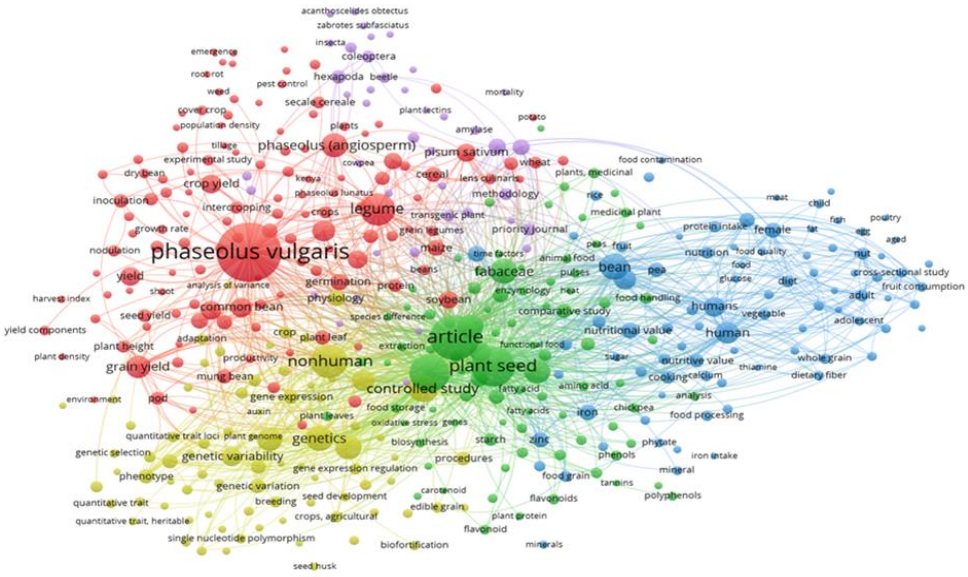


Figura 2. Distribución de publicaciones por año de 2015 a mayo de 2025.

Lo anterior muestra tres ejes temáticos: 1) Productivo-agronómico; 2) Genético-molecular; y 3) Nutricional y de salud pública. Esta correlación temática es coherente con los desafíos actuales de lograr sistemas alimentarios sostenibles mediante cultivos resilientes y alimentos nutritivos (Altaf et al., 2021).

Co-citación de autores. En la Figura 3 se observa el mapeo de coautorías entre los principales investigadores del campo relacionado con la producción y estudio del frijol, este análisis permitió identificar patrones de colaboración académica, agrupamientos temáticos y nodos centrales dentro de la red científica. Tal como señalan Karavidas et al. (2022), la identificación de estos núcleos de participación académica es útil no sólo para la construcción de marcos teóricos, sino también para orientar futuras colaboraciones académicas e institucionales.

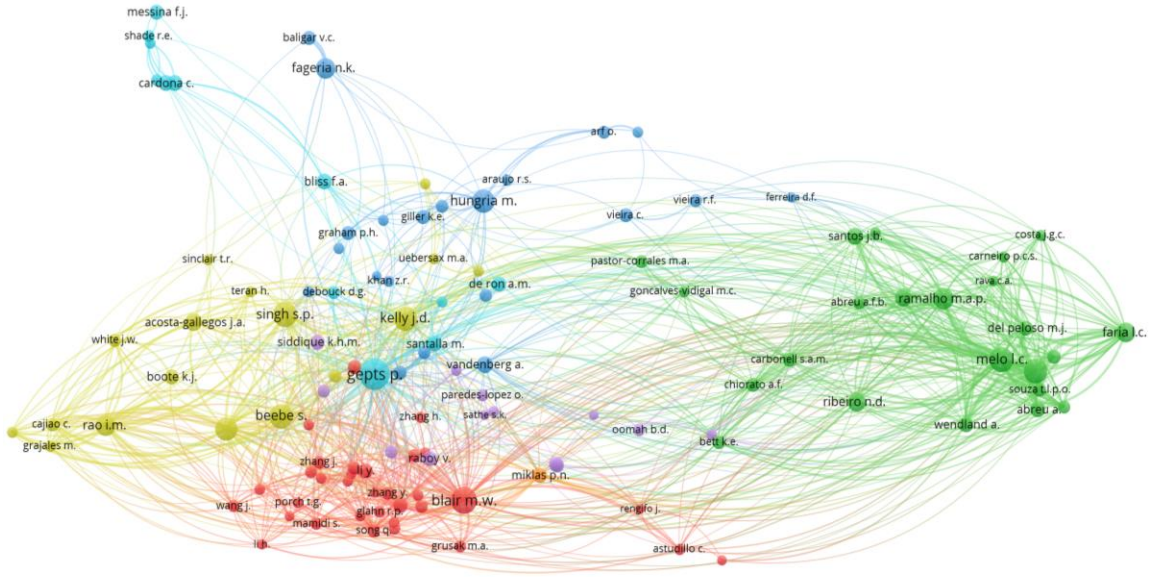


Figura 3. Análisis de la co-citación de autores.

La red presenta una conexión, con un total de múltiples nodos (autores) y enlaces (colaboraciones). Se identificaron cinco clústeres diferenciados por el color: 1) Clúster rojo: esta lidereado por autores como Blair, M. W., Raboy, V., Zhang, H., y Song, Q., este grupo se centra en trabajar líneas de investigación sobre genética, genómica y mejoramiento genético del frijol. 2) Clúster verde: Incluye autores como Melo, L. C., Faria, J. C., y Ramalho, M. A. P., quienes destacan por su trabajo en mejoramiento vegetal y ensayos de campo, predominantemente en el contexto brasileño. Es uno de los grupos más compactos y fuertemente interconectados. 3) Clúster azul: compuesto por investigadores como Hungria, M., Fageria, N. K., y Giller, K. E., orientados a estudios sobre, fijación biológica de nitrógeno y fertilidad. Este grupo se conecta con otros clústeres, actuando como puente temático. 4) Clúster verde claro: encabezado por autores como Beebe, S., Singh, S. P., y Boote, K. J., enfocado en estudios agronómicos, tolerancia a estrés y adaptación climática. Su centralidad indica una posición clave en la articulación de distintas áreas temáticas. 5) Clúster azul turquesa: incluye a autores como Messina, F. J., Shade, R. E. y Cardona, C., quienes trabajan en interacciones insecto-planta y manejo de plagas. Este grupo presenta conexiones con clústeres agronómicos y de genética.

A partir de los resultados de este análisis se revela una estructura en la investigación científica en torno al cultivo de frijol, donde se destaca una fuerte interconexión entre subdisciplinas como genética, agronomía, microbiología y fisiología vegetal. También se visualiza la existencia de redes nacionales, como es el caso de Brasil (clúster verde) y redes transnacionales (clúster rojo y verde claro) que evidencian la colaboración entre instituciones locales e internacionales. La existencia de autores con alta centralidad sugiere la consolidación de líderes académicos que facilitan el intercambio interdisciplinario (Capanema et al., 2022).

Conclusiones

Con este estudio se muestra que el cultivo de frijol continúa siendo un tema prioritario en la agenda científica internacional, que ha mantenido una tendencia activa durante el periodo de 2015 a 2025.

En el análisis de co-ocurrencia se destacan cinco grupos en los cuales se clasificaron las diferentes investigaciones realizadas en el periodo de análisis. Con los resultados se identificaron tres ejes temáticos: 1) Productivo-agronómico; 2) Genético-molecular; y 3) Nutricional y de salud pública, que son los que predominan en las investigaciones.

Existe una estructura en la investigación científica en torno al cultivo de frijol, donde se destaca una fuerte interconexión entre subdisciplinas y existen autores con una alta centralidad, lo que los ubica como líderes académicos que facilitan la interconexión entre disciplinas.

Se recomienda hacer este tipo de estudios para conocer las líneas de investigación de mayor impacto y generar un marco de referencia que orienten el desarrollo de futuras investigaciones en cualquier disciplina. Esta metodología contribuye a la generación de estados del arte en nuevos proyectos y publicaciones científicas, facilitando la revisión de bibliografía científica.

Referencias

Altaf, M. T., Nadeem, M. A., Ayten, S., Aksoy, E., Mansoor, S., Karunathilake, E. M. B. M., & Baloch, F. S. (2025). Genome-wide association study of common bean (Phaseolus vulgaris L.) unveils novel loci governing root-to-seed zinc allocation. *Scientific Reports*, (15) https://doi.org/10.1038/s41598-025-07965-9

Beebe, S., Rao, I., Blair, M., y Acosta-Gallegos, J. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in Plant Science*, 8, 647. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00647

Capanema, B. L. M., Spatti, A. C., Bezerra, L. M. C., Fredo, C. E., Bin, A., de Carvalho P. J. F., Chiorato, A. F. y Correia, G. G. (2022). A century of common bean: Bibliometrics and scientific production. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, (39), DOI: 10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26949

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., y Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, (133), 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact?. *Scientometrics*, (105), 1809-1831. https://doi 10.1007/s11192-015-1645-z

Else, H. (2020). How a torrent of COVID science changed research publishing in seven charts. *Nature*, (553), https://doi.org/10.1038/d41586-020-03564

Karavidas, I., Ntatsi, G., Vougeleka, V., Karkanis, A., Ntanasi, T., Saitanis, C., y Savvas, D. (2022). Agronomic practices to increase the yield and quality of common bean (Phaseolus vulgaris L.): A systematic review. Agronomy, (12) https://doi.org/10.3390/agronomy12020271

Kimani, P. M. (2025). Advances in breeding for enhanced iron and zinc concentrations in common bean in eastern Africa. Journal of Experimental Botany, (76), https://doi.org/10.1093/jxb/eraf009

Magrini, M. B., Cabanac, G., Lascialfari, M., Plumecocq, G., Amiot, M. J., Anton, M., & Wery, J. (2019). Peer-reviewed literature on grain legume species in the WoS (1980–2018): A comparative analysis of soybean and pulses. Sustainability, (11), https://doi.org/10.3390/su11236833

Morooka, K., Ramos, M. M., Nathaniel, F. N. (2014). A bibliometric approach to interdisciplinarity in Japanese rice research and technology development. Scientometrics, (98), 73-98 DOI: https://doi.org/10.1007/s11192-013-1119-0

Rajendran, L. (2021). Cab Direct is the focus of a scientometric analysis from 2011 to 2013: beans scientific research articles. International Journal of Research - GRANTHAALAYAH, (9), 35-41, DOI: https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v9.i8.2021.4135

Ramírez-Jaspeado, R., Palacios-Rojas, N., Nutti, M., y Pérez, S. (2020). Estados potenciales en México para la producción y consumo de frijol biofortificado con hierro y zinc. Revista Fitotecnia Mexicana, (43)11-23, https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.11

CONTENIDO DE ÁCIDO FÍTICO EN TALLARINES Y QUESOS ADICIONADOS CON COMPONENTES DEL GRANO DEL FRIJOL NEGRO SAN LUIS

Raquel K. Cruz Bravo[1*], Reyna Nallely Falfán Cortes[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Zacatecas, Carretera Zacatecas-Fresnillo Km. 20.5. Calera de V.R., Zacatecas. C.P. 98500; [2]Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Pachuca, Hidalgo. C.P. 42184, *Autor de correspondencia: cruz.raquel@inifap.gob.mx

Introducción

El frijol común en México se considera un producto estratégico en el desarrollo rural y social del país, ya que representa una tradición productiva y de consumo, cumpliendo funciones tanto alimentarias como socioeconómicas. Sin embargo, su consumo ha disminuido considerablemente en las últimas décadas debido a la modificación de la dieta de la población mexicana, donde predominan los carbohidratos simples y grasas saturadas. Esto, aunado a los problemas en la cadena de comercio, ha generado la necesidad de incrementar su valor y competitividad. En estudios anteriores, hemos observado que el uso del grano entero genera mayor rechazo del producto, probablemente por la presencia de compuestos fenólicos en la testa del grano. Es por ello que en este estudio se decorticaron los granos para obtener los cotiledones y la testa del grano de frijol Negro San Luis. Se elaboraron tallarines con harina de trigo más harina extruída de los cotiledones (HEC), así como un queso adicionado con microcápsulas de los compuestos bioactivos de la testa (MCBT). De esta manera, se buscó producir ingredientes y productos alimentarios con mayor calidad nutricional y potencial nutracéutico que los productos convencionales; además de ofrecer alternativas para dar valor agregado e incrementar la competitividad del frijol. Sin embargo, en el grano de las leguminosas y cereales existen compuestos que afectan la biodisponibilidad de las proteínas y minerales, como el ácido fítico. Es por ello, que en este trabajo se determinó su contenido en los tallarines y los quesos. Como primer paso, se decorticaron los granos de frijol, a partir de los cuales se procesó la harina de los cotiledones por extrusión y se obtuvieron extractos de la testa, los cuales se encapsularon usando como material N-lok a través de un secador por atomización (spray-dryer). Se determinó el contenido de ácido fítico espectrofotométricamente. Los resultaron obtenidos indicaron que la extrusión de la HEC fue una buena estrategia para disminuir el ácido fítico. Sin embargo, este compuesto no se eliminó en su totalidad, tanto en la pasta con HEC, como en la pasta elaborada solo con harina de trigo. Por otro lado, se detectó también la presencia de ácido fítico en los quesos con MCBT, pero en menor cantidad respecto al testigo de queso comercial y las pastas.

Materiales y métodos

Material vegetal. El frijol variedad Negro San Luis se adquirió con un productor local (Zacatecas, México). Se utilizaron ingredientes de origen comercial para elaborar los tallarines y el queso fresco. Los cotiledones y la testa del grano de frijol se obtuvieron mediante su decorticación en una descascarilladora.

Obtención de la harina extruida de cotiledones de frijol (HEC). Con el propósito de mitigar los factores antinutricionale en la harina cruda de cotiledones de frijol, se extrudió bajo las siguientes condiciones: humedad 22 %, tornillo 1:1, dado de salida de 3 mm, temperatura en las cuatro zonas de 120 °C, velocidad de alimentación de 30 g de harina por minuto y una velocidad de extrusión de 95 rpm. El extruído se secó en un horno de convección y se molió hasta obtener una harina fina.

Elaboración de tallarines adicionados con HEC. Para 100 g de pasta: se colocó 15 g de huevo y 20 ml de agua en un mismo recipiente y se homogenizaron. A continuación, se colocó la mezcla de harinas (52 g de harina de trigo más 18 g de HEC) en un recipiente hondo y se le adicionó el huevo con agua poco a poco mientras se va amasando. Una vez que la masa estuvo homogénea y suave, se aplanó con una máquina manual para pastas. Finalmente, se pasó la masa ligeramente enharinada por la cortadora para obtener los tallarines, se secaron en un horno de convección a 60 °C, se enfriaron a temperatura ambiente y se almacenaron para su posterior uso o análisis.

Microencapsulación de extracto de testa de frijol. Se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito por Cruz-Bravo et al*.* (2023). En un vaso de precipitado protegido de la luz se colocaron 200 mL de extracto evaporado y fue mezclado con almidón comercial N-Lok (Ingredion, México), con un porcentaje de solidos de 28.5% de sólidos de la mezcla (extracto-material pared) se homogeneizó con un homogeneizador (IKA T25, Ultra Turrax, Alemania) a 10000 rpm por 1 minuto. El proceso de microencapsulación se llevó a cabo utilizando un spray dried marca Buchi B-191 Labortechnik (Flawil, Suiza), se usó una velocidad de entrada de la muestra de 3.5 mL / min con una temperatura de entrada de secado de 115°C ± 4°C con un y una temperatura de 74°C ± 4°C.

Elaboración de queso fresco tipo ranchero adicionado con microcápsulas de extracto de compuestos bioactivos de la testa (MCBT) de frijol común. Se elaboró un queso fresco tipo ranchero a partir de leche de vaca, se colocaron 5 L de leche pasteurizada en una olla de acero inoxidable, se calentó con agitación constante utilizando un espumador hasta llegar a una temperatura de 82 °C, se retiró del fuego y se añadió, lentamente, una solución de ácido acético (grado alimentario) diluido y agua purificada 1:10 en 3 partes iguales, con agitación continua, hasta lograr la coagulación de proteínas. Se dejó reposar durante 30 minutos, hasta que la cuajada presentó una consistencia firme y gelatinosa. Se cortó con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable. Posteriormente, se filtró la cuajada para separar el suero de esta, con ayuda de un cedazo y manta natural cruda. Se colocó la cuajada en un recipiente de acero inoxidable y se procedió a salar a una concentración de 5 g de sal por cada Kg de producto. A continuación, se adicionó el encapsulado a una concentración de 20 g por cada Kg de queso, esto de acuerdo a las normas nacionales actuales para aditivos en productos lácteos. Se colocó el producto en moldes para queso y se prensaron por 24 h. Transcurrido el tiempo, se desmoldaron los quesos y se conservaron en refrigeraron para análisis posteriores.

Cuantificación de ácido fítico. Se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito por Haug & Lantzsch (1983). Se pesaron 0.5 g de muestra y se le adicionaron 10 mL de HCl 0.2 N en tubos protegidos de la luz. Se agitaron durante 24 horas a temperatura ambiente. Se tomaron 0.5 mL del extracto y se le adicionó 1 mL de una solución férrica. Se incubó la mezcla durante 30 minutos en agua hirviendo, posteriormente, se enfrió en agua helada durante 15 minutos hasta alcanzar la temperatura ambiente, se homogenizó la mezcla y se centrifugó a 3000 revoluciones por 30 minutos. El sobrenadante se transfirió a otro tubo protegido de la luz. Se adicionaron 1.5 mL de la solución 2,2'-bipiridina. Se homogenizó la mezcla y se realizó la lectura en espectrofotómetro a 519 nm contra un blanco. Los resultados se interpolaron a una curva de calibración y se expresaron como mg equivalentes de ácido fítico por gramo de muestra. El análisis de todos los datos se realizó por comparación de medias por el ANOVA, así como la prueba *t* de Student para el análisis proximal y la prueba de Tukey ($p< 0.05$) para el perfil fenólico y capacidad antioxidante.

Resultados y discusión

El ácido fítico es considerado un factor antinutricio, ya que es un potente quelante e impide la biodisponibilidad de los minerales (hierro, calcio, zinc, magnesio) y de proteínas de la dieta. Es un inositol combinado con seis grupos fosfatos y es una fuente común de fósforo en las plantas, (Sivakumaran & Kothalawala, 2018). Se distribuye uniformemente en el cotiledón y se asocia a las estructuras proteicas. En los cereales, se encuentra predominantemente en la capa externa de la aleurona.

Para determinar estos factores antinutricios, se cuantificó en términos de mg equivalentes de ácido fítico en las muestras de tallarines elaborados con harina de trigo y harina extruída de cotiledones (HEC) del frijol Negro San Luis (Cuadro 1). Como se puede observar, los tallarines que están elaborados con harina compuesta de trigo y HEC, mostraron mayores niveles de ácido fítico que su contraparte de 100 % harina de trigo, no solamente por la presencia de fitatos en los cereales (trigo), sino también en las semillas de las leguminosas, es decir, en los cotiledones del frijol (Martínez-Domínguez et al., 2002; Sotelo et al., 2002).

Cabe mencionar que, a pesar de que los tallarines fueron deshidratados y elaborados con la harina extruída, no fue suficiente para eliminar por completo estos factores antinutricios. Sin embargo, se ha demostrado que los procesos de cocción del frijol, suelen mitigar estos compuestos a niveles seguros para su consumo (Alvarado-Ramos et al., 2024). Por lo que dicha desventaja nutricional puede solucionarse con la cocción de los tallarines para su consumo.

Por otro lado, es importante mencionar que diversos estudios han demostrado que el ácido fítico en los alimentos ejerce efectos benéficos para la salud, como la prevención de algunos tipos de cáncer y la reducción del estrés oxidativo en las semillas (Kahnman et al., 2020).

Cuadro 1. Contenido de ácido fítico en tallarines elaborados con harina de trigo y HEC.

Muestra	mg Eq. Ácido fítico
Tallarines de trigo	527.95 ± 4.06^{b}
Tallarines adicionados con HEC	740.74 ± 2.20^{a}

HEC: harina extruída de cotiledones de frijol. Los resultados se presentan como la media ± el error estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa α= 0.05. Prueba *t*.

Durante el proceso de decorticación de los granos, algunas trazas de cotiledón quedaron en la harina de la testa, por lo que el ácido fítico podría estar presente en los extractos empleados para obtener la microcápsulas. Con base en lo anterior, se cuantificó y reportó la presencia de ácido fítico en muestras de queso fresco tipo ranchero (Cuadro 2). A diferencia de los tallarines, es interesante observar que el queso comercial presentó mayores niveles de ácido fítico, probablemente, por el uso de aditivos como la goma guar durante la manufactura de dicho queso.

Cuadro 2. Contenido de ácido fítico en quesos frescos tipo ranchero

Muestra	mg Eq. Ácido fítico
Queso fresco ranchero comercial	57.81 ± 3.30^{a}
Queso fresco ranchero adicionado con MCBT	36.21 ± 2.93^{b}

MCBT: microcápsulas de compuestos bioactivos de la testa de frijol. Los resultados se presentan como la media ± el error estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa α= 0.05. Prueba *t*.

Conclusiones

El ácido fítico se detectó en los tallarines adicionados con harina extruída de cotiledones en mayor cantidad que en los tallarines de trigo. Sin embargo, esta desventaja nutricional puede ser mitigada con la cocción de la pasta. Por otra parte, se detectó este factor antinutricio también en los quesos frescos. Respecto a los quesos adicionados con las microcápsulas de compuestos bioactivos de la testa, posiblemente, se encontraron fitatos debido a la presencia de trazas de cotiledón en la harina de la testa. Sin embargo, cabe mencionar que el ácido fítico también es considerado un compuesto bioactivo con efecto quimioprotector en humanos.

Referencias

Alvarado-Ramos, K., Bravo-Nunez, A., Halimi, C., et al. (2024). Improving the antinutritional profiles of common beans (Phaseolus vulgaris L.) moderately impacts carotenoid bioaccessibility but not mineral solubility. Scientific Reports, 14, 11908. https://doi.org/10.1038/s41598-024-61475-8

Cruz-Bravo, R. K., Guajardo-Flores, D., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Navarro-Cortez, R. O., Díaz-Batalla, L., & Falfán-Cortés, R. N. (2023). Spray-dried microencapsulation of bean coat flour (*Phaseolus vulgaris*, L.) bioactive compounds: optimization, functional activity, and storage. CyTA - Journal of Food, 21(1), 493–501. https://doi.org/10.1080/19476337.2023.2226186

Haug, W., & Lantzschb, H.J., (1983). Sensitive Method for the Rapid Determination of Phytate in Cereal and Cereal Products. Journal of the Science of Food and Agriculture, 34, 1423-1426. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740341217

Kahnman, F., Songur, U., Serment, M., Akbulut, S., & Egesel, C. Ö., (2020). Comparison of colorimetric methods for determination of phytic acid content in raw and oil extracted flour samples of maize. Journal of Food Composition and Analysis, vol.86.

Martínez-Domínguez, B., Ibáñez-Gómez, M.V., & Rincón-León, F., (2002). Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 52(3):219-231.

Sivakumaran, K., & Kothalawala, S., (2018). An overview of the analytical methods for food phytates. International Journal of Chemical Studies, 6(1):2016-2020.

Sotelo, A., Mendoza, J., & Argote, R.M., (2002). Contenido de ácido fítico en algunos alimentos crudos y procesados: Validación de un método colorimétrico. Revista de la Sociedad Química de México, 46(4), 301-306.

RENDIMIENTO COMERCIAL DE VARIEDADES Y CLONES DE AJO EN ZACATECAS

José Angel Cid-Ríos, Juan José Figueroa-González y Manuel Reveles-Hernández

Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km. 20.5 Carretera Zacatecas Fresnillo, Calera, V. R., Zacatecas, México. CP 98500. Tel. 018000882222 Ext 82315. *Autor para correspondencia: cid.angel@inifap.gob.mx

Introducción

El ajo es una de las hortalizas más estudiadas por los beneficios que desarrolla en el humano, donde se ha comprobado que puede prevenir enfermedades como el cáncer, colesterol y cardiovasculares (Sepúlveda et al., 2010). Sin embargo, dentro de las limitantes de esta hortaliza en el estado de Zacatecas, es la falta de variedades que permitan la diversidad de materiales y cosechas en diferente tiempo para garantizar un mejor precio al productor a lo largo del año (Reveles-Hernández et al., 2014). Además, para la producción de ajo es importante considerar la adaptabilidad del material, esto para evitar las alteraciones fisiológicas o malformaciones del bulbo (Macías-Duarte et al., 2010). Donde el tamaño del bulbo que se utiliza como semilla influye directamente en la calidad comercial, ya que la preferencia de la ama de casa son cabezas de ajo grandes y con pocos dientes, adicional a este aspecto también se toma en cuenta la apariencia del producto (Pupo-Feria et al., 2016). Otro aspecto que influye considerablemente en la calidad comercial es cuando se utilizan densidades altas de 600 mil plantas por hectárea, sin embargo, los ajos más comerciales, se han obtenido en densidades de 420 mil plantas por hectárea (Castellanos et al., 2004). También es importante señalar que el tamaño del bulbo esta influenciado por el sistema de producción, donde bajo condiciones de riego por goteo se puede alcanzar hasta 25.8 ton, y bajo condiciones de riego superficial solo se producen 21.6 ton (Barrios-Diaz et al., 2006). En la selección de germoplasma de ajo de debe de considerar no solo el rendimiento por hectárea, sino también el número de hojas por planta, la altura, el número de dientes por bulbo, el peso del bulbo y el rendimiento de bulbos frescos (Khan et al., 20018). Es importante señalar que la expresión fenotípica de los diferentes genotipos de ajo, puede ser afectado por las practicas agronómicas aplicadas al cultivo, y las condiciones ambientales que pueden favorecer o afectan las cualidades como el tamaño, número de dientes y el rendimiento por hectárea (Polyzos et al., 2019). El objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento comercial de clones y variedades de ajo en el estado de Zacatecas.

Materiales y métodos

Dentro del Campo Experimental Zacatecas, se estableció un lote comercial de ajo, con coordenadas 22° 54' 31.3" de latitud norte, 102° 39' 34.0" de longitud oeste y 2197 metros de altura sobre el nivel del mar. Donde se evaluaron los siguientes clones de ajo; JASP4, ENC4, Tiguere, Chino Blanco, Don Fermín, JAM12, Manzano y las variedades; Altiplano, Barretero, Platero y Calerense, esta última fue utilizada como testigo. El establecimiento del experimento fue realizado el día 30 de septiembre del 2023, donde se utilizaron dientes procedentes de calibre ocho de cada genotipo, la cama de siembra se constituyó de 1.60 m de ancho colocando seis hileras de plantas a una distancia de 10 cm entre ellos y 20 entre líneas. Para la aplicación de riegos se utilizó cintilla calibre 6,000 de flujo alto, colocando dos cintas en medio de tal forma que la cinta regara las dos hileras de plantas.

Previo al establecimiento se aplicó la dosis de fertilización 70-70-70, expresada en kilogramos de nitrógeno, fosforo y potasio respectivamente, para lo cual se utilizaron como fuentes sulfato de amonio, superfosfato de calcio simple y sulfato de potasio; el resto de la fertilización se realizó usando sulfato de amonio, fosfo-nitrato y sulfato de potasio, aplicados a través del sistema de riego durante el ciclo de cultivo y de acuerdo con la curva de extracción del cultivo, hasta alcanzar la dosis recomendada en el estado para este cultivo 250-100-126-120, expresada en kilogramos de nitrógeno, fosforo, potasio y calcio por hectárea, respectivamente. La cosecha se realizó el día 2 de junio del 2024, tomando cuatro muestras al azar de cada una de los genotipos evaluados, las cuales fueron colectadas en una cama de 1.60 m de ancho por 5.00 m de longitud, una vez colectados los bulbos se procedió a clasificarlos por su tamaño utilizando la norma mexicana NMX-FF-018-SCFI-2006, donde se determinó; el peso por tamaño comercial considerando aquellos bulbos con diámetro igual o superior 45 mm, los bulbos con diámetro menor a 45 mm fueron clasificados como industriales, tomando para evaluar el rendimiento de ajo por su producción de bulbos de tamaño comercial (Reveles-Hernández et al., 2009). Los datos obtenidos se analizaron usando el paquete estadístico SAS 9.0.

Resultados y discusión

Se encontraron diferencias altamente significativas para el rendimiento en los diferentes genotipos de ajo (P=0.001), en la comparación de medias mediante la prueba de rango múltiple Duncan α=0.05 (Cuadro 1), se aprecia que el clon JASP4, fue el de mayor rendimiento con 11,640 kg / ha^{-1}, y en segundo lugar se encuentra la variedad Barretero con 9,524 kg / $ha^{-1,}$ el clon con menor rendimiento fue Manzano con 5,354 kg / ha^{-1}. Es importante señalar que el clon JASP4 supera en producción en 18.03 % y 45.45 % a las variedades Barretero y Calerense, respectivamente.

Cuadro 1. Comparación de medias para evaluación de germoplasma de ajo evaluado bajo condiciones de riego en Calera Zacatecas, ciclo otoño - primavera 2023-2024.

	Rendimiento Kg / ha^{-1}	% de ajos con diámetro superior ≥ 45mm (kg / ha^{-1})	% bulbos con diámetro ≤ 45mm (kg / ha^{-1})
JASP4	11, 640 ^{a}	84.00 ^{ab}	16.00 ^{ab}
Barretero	9,542 ^{ab}	86.18 ^{ab}	13.82 ^{ab}
Altiplano	8,768 ^{abc}	93.98 ^{a}	6.02 ^{b}
Platero	8,609 ^{abc}	79.58 ^{ab}	20.42 ^{ab}
ENC4	8,470 ^{abc}	87.28 ^{ab}	12.72 ^{ab}
Tiguere	7,687 ^{bc}	83.78 ^{ab}	16.22 ^{ab}
Chino Blanco	6,488 ^{bc}	82.98 ^{ab}	17.02 ^{ab}
Calerense	6,292 ^{c}	80.53 ^{ab}	19.47 ^{ab}
Don Fermín	5,661 ^{c}	75.38 ^{b}	24.62 ^{a}
JAM12	5,623 ^{c}	83.53 ^{ab}	16.47 ^{ab}
Manzano	5,354 ^{c}	85.70 ^{ab}	14.3 ^{ab}
C.V.	20.31	7.27	38.04

El ajo de tamaño grande es la preferencia en el mercado, por lo que se considera que los bulbos grandes y con menor número de dientes están relacionados con la productividad (Macias-Duarte et al., 2010).

En el análisis de porcentaje de ajo comercial se encontraron diferencias significativas entre genotipos (P=0.029), donde la variedad Altiplano es la de mayor producción de ajo comercial y esta misma es la que produce el menor ajo industrial. El clon JASP4 fue el de mayor producción, sin embargo, presenta un 16 % de producción de bulbo industrial, por lo anterior se puede confirmar lo señalado por Macías et al. (2010), quienes indican que, mediante la evaluación de clones de ajo mediante ensayos de rendimiento, se puede explorar el potencial de rendimiento, detectando aquellos clones con bulbos con mayor calidad comercial y con menor número de dientes en el diámetro ecuatorial por bulbo.

Conclusiones

Es conveniente seguir evaluando el clon JASP4 y ENC4, en diferentes ambientes y localidades, para verificar su uniformidad y productividad para poder pensar en el registro de una nueva variedad, para poner a disposición de los productores para contribuir al incremento del cultivo en el estado de Zacatecas.

Referencias

Barrios-Díaz J. M., Larios-García M. C., Castellanos J. Z., Alcántar-González G., Tijerina-Chávez L. y de las Nieves Rodríguez-Mendoza M. 2006. Efecto del sistema de riego y tensión de humedad del suelo en rendimiento y calidad del ajo. Terra Latinoamericana. 24(1): 75-81.

Castellanos J. Z., Vargas-Tapia P., Ojodeagua J. L., Hoyos G., Alcantar-Gonzalez G., Mendez F. S., and Gardea A. A. 2004. Garlic productivity and profitability as affected by seed clove size, planting density and planting method. HortScience. 39(6): 1272-1277.

Khan H., Hussain M. M., Jellani G., Tariq S., Naseeb T. and Mahmood S. 2018. Evaluation of garlic genotypes for yield and yield components in Islamabad, Pakistan environment. The Nucleus. 55(1): 22-26.

Sepúlveda R., P., Larraín S. P., Ormeño N. L., Bruna V. A., Guiñez S. A. 2010. Manejo fitosanitario del cultivo de ajos. Boletín INIA. Nº 213. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI La Platina, Santiago, Chile. 78

Macías-Duarte R., Grijalva-Contreras R. L. y Robles-Contreras F. 2010. Productividad y calidad de variedades de ajo (Allium sativium L.) bajo condiciones desérticas en Caborca, Sonora. Biotecnia. 12(1): 44-54.

Macías V., L. M.; Maciel P., L.; Héctor Silos E., H. 2010. “San Maqueño”: una variedad de ajo blanco. Investigación y Ciencia. 18: 4-11

Pupo-Feria C., González-Ramírez G., Carmenate-Figueredo O., Peña-Molina L., Pérez-Lemes V. y Rodríguez-Obrador E. 2016. Respuesta del cultivo del ajo (Allium sativum L.) a la aplicación de dos bioproductos en las condiciones edafoclimáticas del centro este de la provincia Las Tunas, Cuba. Cultivos Tropicales. 37(4): 57-66.

Polyzos N., Papasotiropoulos V., Lamari F. N., Spyridon A. P., and Penelope J. B. 2019. Phenotypic characterization and quality traits of Greek garlic (Allium sativum L.) germplasm cultivated at two different locations. Genet Resour Crop Evol. 66: 1671–1689

Reveles-Hernández M., Velásquez-Valle R. y Cid-Ríos J. A. 2014. Barretero, variedad de ajo jaspeado para Zacatecas. Folleto Técnico No. 61 Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC-INIFAP. Calera, Zacatecas, México. 32 p.

Reveles-Hernández M.; Velásquez-Valle R. y Bravo-Lozano A. G. 2009. Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas. Libro Técnico No. 11. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC-INIFAP. México. 272 p.

IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS SOBRESALIENTES DE FRIJOL FLOR DE MAYO BAJO TEMPORAL Y RIEGO SUPLEMENTARIO EN ZACATECAS

José Angel Cid-Ríos[1], Jorge Alberto Acosta-Gallegos[2], Juan José Figueroa-González[1], Francisco Guadalupe Echavarría-Chairez[1] Alejandro Espinoza-Canales[3] y Nadiezhda Ramírez-Cabral[1].

[1]Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera 24.5 Zacatecas-Fresnillo. [2]Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Celaya-San Miguel de Allende. [3]Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas Francisco García Salinas, Carretera Zacatecas-Fresnillo Km 31.5, Zacatecas CP 98575, México. Autor para correspondencia: cid.angel@inifap.gob.mx.

Introducción

La sequía es uno de los principales problemas que se presentan en la producción de frijol, sin embargo, aún bajo ese esquema se pueden identificar materiales con mayor tolerancia a déficit de humedad (Estrada-Prado et al., 2016). El déficit hídrico y la alta temperatura, son los principales factores que conllevan a la alteración morfología del cultivo de frijol, limitando en gran medida el desarrollo del cultivo (Beebe, 2012). Por lo que la búsqueda de materiales de mayor tolerancia a sequía, es la principal estrategia para evitar el bajo rendimiento de frijol por falta de humedad bajo condiciones de temporal (Domínguez et al.,2009).

En condiciones de sequía la selección de germoplasma de frijol se debe de basar en la capacidad de movilización de fotosintatos de las hojas y tallos hasta la formación de grano, además del índice de cosecha de vainas (Rao et al., 2013). Además, en la actualidad es recomendable generar germoplasma de frijol con mayor tolerancia a calor y sequía mediante cruzamientos interespecíficos entre (frijol tépari y *P. acutifolius A. Gray)* para la generación de materiales con rendimiento aceptable en ambientes con diferente déficit de humedad (Burbano-Erazo et al., 2021).

Se tiene conocimiento que la sequía afecta directamente la producción de frijol, por lo que, en la selección de nuevo germoplasma se debe realizar la evaluación en diferentes localidades y años, donde se recomienda la utilización de la media geometría, la aplicación de riego, sequía y el índice de susceptibilidad a sequía, como criterios de selección (Serna et al., 2000; Domínguez et al., 2019). Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue identificar las líneas de frijol tipo flor de mayo con mayor rendimiento por hectárea bajo condiciones de temporal y riego suplementario en el estado de Zacatecas.

Material y métodos

Dentro de las instalaciones del Campo Experimental Zacatecas (CEZAC), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se realizó la evaluación de 25 líneas de frijol flor de mayo provenientes de un programa de hibridación, las cuales fueron establecidas mediante un diseño látice simple 5 x 5 en donde se incluyó la variedad Flor de Mayo Eugenia, utilizada como testigo regional, las cuales fueron evaluadas bajo condiciones de temporal, con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de cuatro metros lineales con 10 cm entre plantas y 0.76 m entre surcos. La siembra del experimento se realizó en seco el día 2 de agosto del 2023. Debido a la falta de lluvia, se colocó una cinta regante calibre seis mil de alto flujo por surco y se aplicaron diez horas de riego, con un gasto de agua de 65.8 mm para garantizar la germinación.

Asimismo, debido a la falta de lluvias durante el ciclo del cultivo, un par de repeticiones del experimento fue manejado bajo temporal + riego suplementario el cual fue aplicado en la etapa de floración, con duración de seis horas de riego, procurando la aplicación de riego uniforme, con un gasto de 39.48 mm. El resto del ciclo del cultivo se manejó bajo condiciones de temporal. Las otras dos repeticiones fueron bajo condiciones de temporal.

Se realizaron dos escardas; la primera fue realizada a los 15 días después de la siembra, donde al mismo tiempo se aplicó la fertilización inorgánica 30-50-30 nitrógeno, fosforo y potasio, respectivamente. Una segunda escarda se realizó a 25 días después de la primera. En la etapa de floración se realizó un deshierbe manual para mantener el cultivo libre de malezas y evitar la afectación del crecimiento de las líneas.

Resultados y discusión

Durante el desarrollo del cultivo dentro del CEZAC, solo se presentaron 121.4 mm de precipitación, de los cuales 35.6 mm, se presentaron en la etapa vegetativa que contribuyeron al sostenimiento del cultivo, un segundo evento de 58.8 mm en la etapa de floración y el ultimo evento con 27.0 mm en la etapa de llenado de grano.

Al realizar el análisis de varianza para rendimiento bajo condiciones de temporal no se encontraron diferencias significativas entre líneas (P=0.295). Sin embargo, los resultados del análisis combinado temporal y temporal + riego suplementario mostraron diferencias altamente significativas en el análisis de varianza para el rendimiento por hectárea entre tratamientos (P=0.000), de acuerdo con la comparación de medias por el método de Duncan con α=0.05, se puede observar que el tratamiento 20 presenta el mayor rendimiento con 1,011 kg ha^{-1}, seguido del tratamiento 18 con 0.906 kg ha^{-1}, cabe señalar que estas líneas superan al testigo regional en 17.22 y 10.38 % más en producción, en el tratamiento con menor rendimiento fue 7 con 0.352 kg ha^{-1} (Cuadro 1). Los resultados concuerdan con lo señalado por Acosta-Díaz et al*.* (2009), quienes encontraron que al aplicar riego suplementario en la etapa de floración se pueden identificar líneas sobresalientes en rendimiento por hectárea, dado que en esta es considerada como la principal etapa crítica para la producción de grano de frijol, ya que se evidencian las líneas con mayor producción de biomasa y rendimiento de grano. Además, es importante considerar que las líneas sobresalientes deben poseer calidad comercial, como el color del grano, brillo, tolerancia a plagas y enfermedades que se presenten de forma natural el en ambiente de evaluación (Acosta et al., 1999).

Cuadro 1. Comparación de medias para rendimiento por hectárea en el análisis combinado en líneas de frijol flor de mayo bajo temporal y temporal + riego suplementario, dentro del CEZAC, en el ciclo primavera-verano 2023.

Trata	Media (kg ha^{-1})	Trata	Media (kg ha^{-1})	Trata	Media (kg ha^{-1})	Trata	Media (kg ha^{-1})	Trata	Media (kg ha^{-1})
20	1,011.0 ^{a}	9	0.758 ^{abcde}	15	0.643 ^{abcdef}	2	0.551 ^{bcdef}	17	0.460 ^{cdef}
18	0.906 ^{ab}	1	0.756 ^{abcde}	11	0.641 ^{abcdef}	14	0.540 ^{bcdef}	12	0.429 ^{def}
24*	0.837 ^{abc}	6	0.736 ^{abcdef}	16	0.608 ^{bcdef}	19	0.528 ^{bcdef}	21	0.376 ^{ef}
13	0.803 ^{abcd}	3	0.699 ^{abcdef}	8	0.604 ^{bcdef}	23	0.511 ^{cdef}	4	0.364 ^{f}
22	0.768 ^{abcd}	10	0.662 ^{abcdef}	25	0.594 ^{bcdef}	5	0.501 ^{cdef}	7	0.352 ^{f}

C.V.
35.95

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales; Trata. = tratamiento. *Testigo Flor de Mayo Eugenia

El rendimiento mostrado por las líneas coincide a la señalado por Acosta-Diaz et al. (2011), quienes señalan que bajo condiciones de campo se puede observar los genotipos que tienen la rapidez para cambiar de la fase vegetativa a la reproductiva, lo cual es reflejado en un rendimiento alto, por lo que es conveniente utilizar las variables morfológicas de crecimiento, para poder identificar los materiales con mayor tolerancia a sequía.

Conclusiones

Aun cuando las líneas 20 y 18 superan en rendimiento al testigo regional, es pertinente la evaluación en múltiples localidades de influencia del cultivo, para evaluar la estabilidad en rendimiento, y pensar en la liberación de una nueva variedad con alta tolerancia a sequía en altiplano semiárido de México.

Referencias

Acosta J. A.; Acosta E.; Padilla S.; Goytia Ma. A.; Rosales R. y López E. 1999. Mejoramiento de la resistencia a la sequía del frijol común en México. Agronomía Mesoamericana. 10: 83-90

Acosta-Díaz E., Hernández-Torres I., Rodríguez-Guerra R., Pedroza-Flores J., Amador-Ramírez M. D. y Padilla-Ramírez J. S. 2011. Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2(2): 249-263

Acosta-Díaz E., Acosta-Gallegos J. A., Amador-Ramírez M. D. y Padilla-Ramírez J. S. 2009. Efecto del riego suplementario en la producción de biomasa y grano de frijol de temporal en Zacatecas, México. Agricultura técnica en México. 35(2): 157-167

Acosta-Díaz E., Acosta-Gallegos J. A., Amador-Ramírez M. D. y Padilla-Ramírez J. S. 2009. Efecto del riego suplementario en la producción de biomasa y grano de frijol de temporal en Zacatecas, México. Agricultura técnica en México. 35:2. 157-167.

Beebe S. 2012. Common bean breeding in the tropics. Plant breeding reviews. 36:1 357-426.

Burbano-Erazo E., León-Pacheco R. I., Cordero-Cordero C. C., López-Hernández F., Cortés A. J., and Tofiño-Rivera A. P. 2021. Multi-environment yield components in advanced common bean (Phaseolus vulgaris L.) × tepary bean (P. acutifolius A. Gray) interspecific lines for heat and drought tolerance. Agronomy. 11:10. 1978.

Domínguez S. A., Darías R. R., Martínez D. Y. and Alfonso N. E. 2019. Tolerance of common bean varieties (Phaseolus vulgaris) to field drought conditions. Centro Agricola. 43:3.22-29

Estrada-Prado W., Jerez-Mompie E., Nápoles-García M. C., Sosa-Rodríguez A., Maceo-Ramos Y. C. y Cordoví-Domínguez C. 2016. Respuesta de cultivares de frijol (Phaseolus vulgaris L.) a la sequía utilizando diferentes índices de selección. Cultivos Tropicales. 37(3): 79-84.

Serna R. R., Vallejo P. R., Gallegos J. A. A., González F. C. y Kelly, J. D. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. Agrociencia. 34:(2). 153-165.

Rao I., Beebe S., Polonia J., Ricaurte J., Cajiao C., Garcia R. and Rivera M. 2013. Can tepary bean be a model for improvement of drought resistance in common bean. African Crop Science Journal. 24:265-281

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRIJOL FLOR DE JUNIO LEÓN EN DOS ARREGLOS TOPOLÓGICOS EN CONDICIONES DE TEMPORAL CON RIEGO SUPLEMENTARIO

José Angel Cid-Ríos, Juan José Figueroa-González y Nadiezhda Ramírez-Cabral

Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera 24.5 Zacatecas-Fresnillo. Autor para correspondencia: cid.angel@inifap.gob.mx

Introducción

La productividad del cultivo de frijol bajo condiciones de temporal está limitada por varios factores, dentro de ellos, destaca la escasa y mala distribución de la lluvia durante el periodo del cultivo, adherido a esto, la baja densidad de siembra que utilizan los productores contribuye a los bajos rendimientos obtenidos (Cid-Ríos et al., 2022). Otros factores que limitan la productividad son: el limitado uso de semillas mejoradas, aparición de plagas y enfermedades, las altas temperaturas en la noche que provocan la caída de flores, por señalar algunos (Acosta et al., 2018). Estos factores, a los que se enfrentan la mayoría de los productores de frijol en las distintas zonas de temporal con bajo potencial productivo, generan una baja o nula utilidad en el cultivo (Trujillo y González, 2003). Aun cuando se tienen evidencias de tecnologías recomendadas para la producción de frijol de temporal, el productor aún no está convencido de que existen otros métodos de siembra que le permitirán mejorar e incrementar su producción, por lo que es urgente implementar nuevas innovaciones o tecnologías bajo condiciones de temporal para incrementar la productividad del frijol (Cid-Ríos et al., 2022).

Una nueva tecnología es la siembra en camas. Se ha demostrado que la siembra de frijol en altas densidades favorece el incremento del rendimiento en plantaciones de 260 mil plantas por hectárea, considerando a este sistema de siembra como una estrategia a corto plazo para incrementar la rentabilidad de frijol del altiplano semiárido de México (Báez-González et al., 2020). Esto es debido a que la densidad de población, así como la colocación o distribución de las plantas, tiene influencia directa en el desarrollo del cultivo, sin embargo, es importante señalar que no todas las variedades tienen el mismo comportamiento, aun cuando se siembren con la misma densidad y distribución de plantas (sistema de siembra), debido a que la genética de cada material provoca un comportamiento distintivo (Pedroza et al., 2016). Por otro lado, se ha demostrado que la aplicación de riego suplementario en la etapa de floración, favorece el incremento de biomasa y de producción de grano, dado que la floración es considerada como una de las etapas críticas donde es el déficit de humedad puede favorecer o perjudicar considerablemente la producción de grano (Acosta-Díaz et al., 2009). Por lo antes señalado el objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento y calidad comercial de frijol Junio León en dos arreglos topológicos bajo temporal y aplicando riego suplementario.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó dentro del Campo Experimental Zacatecas (CEZAC), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), donde se evaluó el rendimiento de la variedad de frijol Flor de Junio León bajo dos sistemas de producción cultivado en condiciones de temporal. El primer sistema se estableció en surcos de 0.76 m de ancho (siembra tradicional); el segundo en camas de 1.62 m de ancho con tres hileras de plantas con distanciamiento de 30 cm.

La distancia entre plantas para los sistemas de siembra señalados fue de 10 cm, equivalente a 131,000 y 190,000 mil plantas por hectárea, respectivamente, para cada sistema de siembra. En la última decena del mes de julio del 2022, se presentaron 19.5 mm de precipitación, la cual fue provechada para el establecimiento de la parcela experimental, el día 30 del mismo mes.

Previo a la siembra, la semilla fue inoculada con micorriza INIFAP, *Glomus intraradices*, la cual fue aplicada a la sombra, este tratamiento fue para ambos sistemas de producción. Se utilizó un diseño de parcelas apareadas con cinco sub-muestreos, completamente, al azar, donde la unidad experimental para el primer sistema de siembra fue de cinco metros de longitud por 0.76 m de ancho, y para el segundo sistema constó de tres metros de longitud en camas de 1.52 m de ancho.

Para ambos sistemas de producción el control de malezas se realizó con la aplicación de dos escardas, la primera fue realizada a los 15 días después de la siembra, y al mismo tiempo se aplicó la dosis de fertilización inorgánica 30-50-00 nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, la segunda, escarda fue realizada a los 25 días después de la primera. Para la sostenibilidad del cultivo en ambos sistemas, cuando la variedad presentó floración, se aplicó un riego ligero de gravedad solo por las calles, esto para garantizar la producción de grano de frijol. Cuando la variedad mostró madurez fisiológica en ambos sistemas de siembra se obtuvieron cinco muestras, completamente, al azar. Las muestras fueron desgranadas, manualmente, y se determinó el peso de cien semillas y el rendimiento por hectárea. Los datos obtenidos se analizaron usando el programa estadístico SAS 9.0.

Resultados y discusión

En el ciclo de cultivo se tuvo una precipitación de 162 mm, de los cuales 66 % se presentaron en el estado vegetativo, 14 % en la etapa de floración y 20 % en llenado de grano. En el análisis de varianza para el peso de cien semillas no se encontraron diferencias significativas (P=0.107) entre los sistemas de siembra (Cuadro 1). Los resultados pudieron evidenciar que el sistema de alta densidad no afecta la calidad comercial del grano de la variedad, ya que según Acosta-Gallegos et al*.* (2014), el peso de cien semillas de la variedad Flor de Junio León bajo condiciones de temporal es de 34 g.

Cuadro 1. Comparación de medias en dos sistemas de siembra para el peso de cien semillas y rendimiento de frijol Flor de Junio León en el ciclo primavera-verano 2022.

Sistema de siembra	Peso de cien semillas (g)	Rendimiento (kg ha-^{1})
Una hilera	0.036^{a}	1,111 ^{b}
Camas de tres hileras	0.036^{a}	1,773 ^{a}
C.V.	3.19	12.44

En el análisis de varianza para el rendimiento por hectárea se encontraron diferencias significativas (P=0.039), entre sistemas de siembra, se puede apreciar en el cuadro anterior, que el sistema de siembra de tres hileras incrementa un 37.33 % la producción de frijol. Los resultados concuerdan con lo reportado por Osuna-Ceja et al*.* (2012), quienes señalan que con la reducción entre surcos y la alta densidad se puede incrementar la producción entre un 28.6 % y 41 % (Cuadro 1). La siembra en alta densidad no afectó la fisiología, ni el crecimiento de la planta, lo cual concuerda con Kouam y Tsague-Zanfack (2020), quienes señalan que la alta densidad incrementa el rendimiento de frijol conforme se incrementa la densidad.

El incremento del rendimiento también es atribuido a que el área foliar favorece la conservación de humedad, en conjunto con la alta densidad, reduciendo de evotranspiración por la cobertura del cultivo (Osuna et al. 2013).

Conclusiones

La alta densidad de siembra no afectó la calidad comercial de la variedad de frijol Flor de Junio León, y sí incremento, considerablemente, el rendimiento. Es necesario continuar con la evaluación de la siembra en alta densidad en diferentes localidades bajo condiciones de temporal. La siembra a tres hileras puede ser una alternativa tecnológica que contribuya al incremento de la productividad de frijol bajo condiciones de temporal en Zacatecas.

Referencias

Acosta-Gallegos J. A., Jiménez-Hernández Y., Montero-Tavera V., Sánchez-García B. M. y Guzmán-Maldonado S. H. 2014. Junio León, nueva variedad de frijol para riego y temporal el altiplano y la mesa central de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 5(SPE7), 1369-1374.

Acosta-Gallegos J. A., Jiménez H. Y., Anaya L. J. L., Montero T. V. y Guerrero A. B. Z. 2018. Variedades de frijol y producción de semilla en Guanajuato. Folleto Técnico Núm. 2. Campo Experimental Bajío. CIRCINIFAP. 32 p

Acosta-Díaz E., Acosta-Gallegos J. A., Amador-Ramírez M. D. y Padilla-Ramírez J. S. 2009. Efecto del riego suplementario en la producción de biomasa y grano de frijol de temporal en Zacatecas, México. Agricultura Técnica en México. 35 :2. 157-167

Báez-González A. D., Fajardo-Diaz R., Padilla-Ramírez J. S., Osuna-Ceja E. S., Kiniry J. R., Meki M. N. Y Acosta-Díaz E. 2020. Yield performance and response to high plant densities of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under semi-arid conditions. Agronomy. 10(11). 1684.

Cid-Ríos J. Á., Reveles-Hernández M., Sánchez-Gutiérrez R. A. y Ramírez-Cabral N. 2022. Tipificación de productores de frijol del PRODETER para coadyuvar el cambio climático en Zacatecas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 13(4): 741-748

Kouam E. B. y Tsague-Zanfack A. B. 2020. Effect of plant density on growth and yield attributes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. Notulae Scientia Biologicae. 12(2), 399-408.

Osuna-Ceja E. S., Reyes-Muro L., Padilla-Ramírez J. S. y Martínez-Gamiño M. Á. 2012. Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3:7.1389-1400.

Osuna-Ceja E. S., Ramírez J. S. P., Muro L. R., Serna R. R. y Gallegos, J. A. 2013. Efectos del sistema de siembra sobre el rendimiento de10 variedades de frijol de temporal en Aguascalientes. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 12(2), 51-56.

Pedroza-Sandoval A., Trejo-Calzada R., Sánchez-Cohen I., Samaniego-Gaxiola J. A. y Yáñez-Chávez L. G. 2016. Evaluación de tres variedades de frijol pinto bajo riego y sequía en Durango, México. Agronomía Mesoamericana. 27(1).167-176.

Trujillo H. P., y González, G. G. 2003. Situación socioeconómica de los productores de frijol de temporal en Zacatecas. Terra Latinoamericana. 21(1): 137-147.

POTENCIAL FORRAJERO DE LEGUMINOSAS EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN QUIMICA E INOCULACIÓN DE LA SEMILLA

Esmeralda Ochoa Martínez[1*] Juan Isidro Sánchez Duarte[1], David Guadalupe Reta Sánchez[2], Yasmin Ileana Chew Madinaveitia[1], Karla Rodríguez Hernández[1]

[1]INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez 1200. Col. Centro. 27440. Matamoros, Coahuila. [2]INIFAP-Campo Experimental Delicias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000. Delicias, Chihuahua. Autor de correspondencia: ochoa.esmeralda@inifap.gob.mx

Introducción

Los actuales sistemas de producción de ganado lechero se caracterizan por un alto uso del suelo agrícola, fertilizantes químicos y agua para riego. Debido a lo anterior, surge la necesidad de reducir estos impactos mediante el desarrollo de sistemas de producción con leguminosas que diversifiquen el patrón de cultivos forrajeros actuales. Esta diversificación ofrece beneficios como la interrupción del ciclo de plagas, nitrógeno residual fijado, un aumento en la fertilidad y mejor actividad microbiana del suelo (Kebede 2021).

Las leguminosas presentan mejor calidad que las gramíneas por su alto contenido de proteína cruda y bajo contenido de fibras (Reta et al., 2013). Además, las leguminosas podrían garantizar beneficios a la economía por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico que puede ser parcialmente utilizado por el siguiente cultivo minimizando así la fertilización química (Mizanur et al., 2022).

Los géneros de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* han sido utilizados como inoculantes en la agricultura destacando su uso en cultivos como la soya y una amplia variedad de frijoles que son utilizados para la producción de forrajes, grano y abonos verdes (Castro-Barquero et al., 2024). Sin embargo, factores como el estado hídrico, la temperatura, las plagas y enfermedades que limitan el rendimiento de un cultivo también limitan el potencial de fijación de nitrógeno (Ciampitti et al., 2021). Se estima que en promedio la fijación de nitrógeno en leguminosas va de 20 a 200 kg ha^{-1} $año^{-1}$ (Kebede., 2021).

El uso de cultivos de cobertura, de rotación o intercalados a base de leguminosas en la agricultura pueden contribuir a la mejora de la producción agrícola y calidad del suelo (Razafintsalama et al., 2021). El objetivo del presente estudio fue evaluar el potencial forrajero de soya, crotalaria y lablab con fertilización química e inoculación bacteriana de la semilla a la siembra.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en el Campo Experimental La Laguna localizado en Matamoros, Coahuila a 25°32´ latitud norte y 103° 14´longitud oeste. La textura del suelo es arcillosa con un pH de 7.7 y una CE de 1.2 dS m a una profundidad del suelo de 0-30 cm. La preparación del terreno consistió en subsoleo, arado, rastreo y nivelación con escrepa. La siembra se realizó el 15 de mayo de 2023 en hileras a 0.65 m de distanciamiento. Se evaluaron tres especies de leguminosas: soya (*Glycine max* L.) variedad nainari, crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) cv común y Lablab (*Lablab purpureus* L.) cv. Sustain. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y un arreglo factorial de 3 x 2. El factor A fueron las especies y el factor B los tratamientos de fertilización/inoculación de la semilla.

La semilla de soya fue inoculada con *Bradyrhizobium japonicum* (141.8 g para 22.7 kg de semilla) y la crotalaria y el lablab se utilizó una mezcla de *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*, *Bradyrhizobium* sp y *Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli* (340 g para 22.68 kg de semilla. Posterior a la siembra se aplicaron cinco riegos de auxilio a los 17, 37, 57, 73 y 86 días después de la siembra (dds). Los tratamientos con fertilización química recibieron una dosis de 250 kg ha^{-1} de N (Novatec Solub 45) y 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 (ácido fosfórico). El índice de área foliar e intercepción de radiación solar se obtuvo con un Ceptómetro AccuPAR modelo Lp-80 PAR/LAI. En la cosecha de cada cultivo se obtuvo el rendimiento de materia seca (MS) en la parte central de cada parcela experimental. Las muestras de planta se secaron a 60°C en una estufa de aire forzado hasta alcanzar el peso constante para obtener el contenido de MS, estas mismas muestras se utilizaron para el análisis de calidad de forraje.

Las muestras se molieron en un molino Wiley® con una malla de 1 mm. El contenido de N se determinó mediante el método de combustión seca con un analizador elemental Flash 2000 y el resultado se multiplicó por 6.5 para obtener el porcentaje de proteína cruda (PC). La fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se obtuvieron por el método de Goering y van Soest (1970). Los rendimientos de PC, FDN y FDA se determinaron multiplicando los contenidos de PC, FDN y FDA por el rendimiento de MS de cada cultivo. Debido a que la interacción especie × fertilización/inoculación no fue significativa ($P>0.05$) para la mayoría de las variables evaluadas (con excepción de la PC y DFN), los resultados se analizaron separando las especies. La información se analizó en el programa SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2013), utilizando un análisis de varianza para un experimento factorial 3 × 2. Se aplicó la prueba de Tukey a un nivel de significancia $P\leq0.05$.

Resultados y discusión

El crecimiento acelerado de las plantas ocurrió a partir de los 28 dds, la crotalaria superó a la soya y lablab durante todo el ciclo de desarrollo. En general, la altura promedio final a la cosecha de crotalaria, soya y lablab fue de 178, 103 y 60 cm siendo similar entre tratamientos con fertilización química e inoculación en los tres cultivos. La cosecha de crotalaria, la soya y lablab se realizó a los 86,105 y 119 dds, respectivamente. El lablab presentó un crecimiento vegetativo lento hasta los 79 dds en donde aparecieron las primeras guías. A diferencia de la soya y crotalaria, el lablab no presentó formación de vainas

El mayor índice de área foliar (IAF) lo presentó la soya con fertilización química a los 65 dds (Figura 1), con un valor máximo de intercepción de radiación solar de 93% (Figura 2). Esto posiblemente se debe a que la soya morfológicamente tiene hojas más grandes y tiende a ramificar más que la crotalaria y lablab. El IAF es un indicador del follaje y es influenciado por las prácticas de manejo como la densidad de siembra, control de plagas y enfermedades, habito de crecimiento y fecha de siembra (Tagliapietra et al., 2018). La crotalaria y el lablab conservaron su cobertura desde los 65 dds hasta los 79 dds. Los valores máximos en promedio de IAF de la soya, crotalaria y lablab fue de 5.44, 2.66 y 2.56, respectivamente. Por otra parte, el valor máximo en promedio de la capacidad de intercepción solar fue de 64% en crotalaria y 65% en lablab (Figura 2).

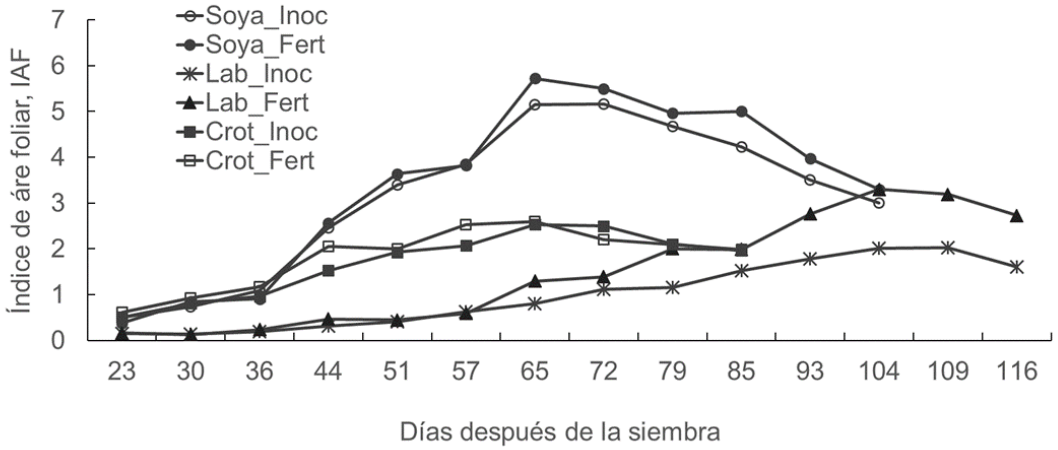


Figura 1. Índice de área foliar de crotalaria, soya y lablab con fertilización química e inoculación de la semilla.

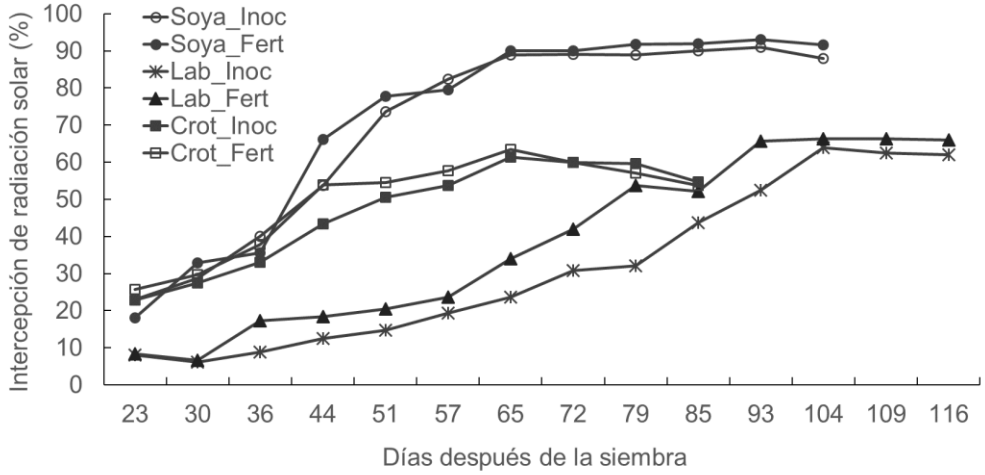


Figura 2. Intercepción de radiación solar de crotalaria, soya y lablab con fertilización química e inoculación de la semilla.

No se encontró interacción especie × fertilización/inoculación para el rendimiento de MS (P=0.6981). El rendimiento de MS en los tratamientos con fertilización química e inoculación de la semilla fueron diferentes entre las especies evaluadas (P=<.0001) Los mayores rendimientos de MS se obtuvieron con soya y crotalaria (Cuadro 1). Ríos-Hilario et al. (2023) reportaron rendimientos de soya de 3,400 a 5,500 kg ha^{-1}. Reta et al., (2013) obtuvieron rendimientos de 7,300 hasta de 9,300 kg ha^{-1}, estos valores son inferiores a los encontrados en este estudio.

La fijación de nitrógeno de las plantas de soya y crotalaria posiblemente fue efectiva ya que hubo presencia de nódulos activos durante la etapa de floración y llenado de vaina (Chew et al., 2024). El rendimiento más bajo de los tres cultivos evaluados fue de lablab (2,640 a 4,060 kg ha^{-1}). Jabessa et al., (2023) reportaron rendimientos de MS de lablab de 6,130 a 4,200 kg ha^{-1}. El menor rendimiento de lablab posiblemente se debió a su lento crecimiento y a que no desarrolló órganos reproductivos; además de que no hubo formación de nódulos en las raíces (Chew et al., 2024).

Hubo interacción especie × fertilización/inoculación para el porcentaje de PC. El lablab con fertilización química (19.24%) superó a todos los forrajes en contenido de PC con fertilización química e inoculación (Cuadro 1). Sin embargo, hubo un mayor rendimiento en promedio de PC para soya (1,407 kg ha^{-1}) (P<.0001) que para crotalaria (1,065kg ha^{-1}) y lablab (578 kg ha^{-1}). Con fertilización química se obtuvo un rendimiento promedio de 1,139 kg ha^{-1} de PC, mientras que los tratamientos con inoculación mostraron un RPC de 894 kg ha^{-1}. Sun et al. (2024) obtuvieron rendimientos de MS de 9.57 t ha^{-1} y rendimientos de PC de 1,070 t ha^{-1}, los cuales son resultados similares a los del presente estudio cosechando a los 105 dds, pero en diferente época de siembra. La crotalaria mostró una mayor concentración de FDN (P<.0001) que soya y lablab. Esto puede deberse a que crotalaria tiene una mayor proporción de tallos y ramas que es la parte donde se concentra la fibra (Zhang y Rocateli 2017). Una mayor concentración de FDN puede afectar negativamente la digestibilidad del forraje, ya que reduce la descomposición del material fibroso por parte del ganado (Sun et al., 2024). No obstante, la soya supero en rendimiento de FDN (P<.0001) a la crotalaria y lablab.

Cuadro 1. Rendimiento y calidad de forraje de soya, crotalaria y lablab con fertilización química e inoculación de la semilla.

Parámetro	Soya		Crotalaria		Lablab			Efectos (P>F)		
	Fert.	Inoc.	Fert.	Inoc.	Fert.	Inoc.	EE	E	FI	E × FI
Rendimiento de MS, (kg ha^{-1})	10,456	9,951	7,578	7,298	4,060	2,640	0.498	<.0001	0.2179	0.6981
PC, %	15.02^{b}	12.88^{b}	14.21^{b}	14.40^{b}	19.24^{a}	14.85^{b}	0.81	0.0021	0.0049	0.0356
FDN, %	39.25	40.75	53.25	49.5	40.75	42.75	1.71	<.0001	0.9503	0.1759
RPC, kg ha^{-1}	1556	1257	1083	1047	777	378	92.03	<.0001	0.0043	0.1449
RFDN, kg ha^{-1}	4120	4070	4040	3610	1671	1192	359.00	<.0001	0.2787	0.7995

MS=materia seca; PC= proteína cruda; FDN=fibra neutro detergente; RPC=rendimiento de proteína cruda; RFDN=rendimiento de FDN EE=error estándar, Fert=fertilización química, Inoc. =inoculación de la semilla. Efectos: E=especie, FI=fertilización/inoculación, E×FI=interacción especie × fertilización/inoculación (P≤0.05).

Conclusiones

La inoculación de la semilla tuvo efectos positivos en las leguminosas evaluadas ya que no hubo diferencia en rendimiento de MS entre tratamientos fertilización/inoculación. La inoculación fue más efectiva en soya y crotalaria que en lablab. El mayor rendimiento de PC y FDN de la soya se debió a su mayor capacidad de desarrollar valores altos de índice de área foliar e intercepción de radiación solar y al mayor rendimiento de MS.

Referencias

Castro-Barquero. 2024. Incremento de la fijación biológica de nitrógeno y el crecimiento de la soya (Glycine max) mediante el uso de hongos solubilizadores de fosforo. Agronomía costarricense 48(1):93-109

Ciampitti, IA., de Borja Reis, A.F., Cordova, S.C., Castellano, M.J., Archontoulis, S.V., Correndo, A.A., Antunes De Almeida, L.F., Moro, R.L.H. 2021. Revisiting biological nitrogen fixation dynamics in soybeans. Front. Plant Science. https://doi:10.3389/fpls.2021.727021

Chew, M.Y.I., Gaytan, M.A., Ochoa, M.E., Reta, S.D.G., y Sánchez, D.J.I. 2024. Formación de nódulos en los cultivos de soya (Glycine max L.) y crotalaria (Crotalaria juncea L.) en respuesta al uso de inoculantes. Agrofaz. Journal of Environmental and Agroecological Sciences. 6(2):69-75.

Jabessa T., Tesfaye G., Bekele K. (2023). Evaluation of genotypes with environmental interactions of lablab (purpureus l.) and it's dry matter yields stability in the midland of guji zone, southern oromia, ethiopia. Bangladesh Journal of Multidisciplinary Scientific Research, 8 (1), 34-43. https://doi.org/10.46281/bjmsr.v8i1.2169

Kebede E (2021) Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems. Front. Sustain. Food Syst. 5:767998. doi: 10.3389/fsufs.2021.767998

Mizanur R.; Mohammad S.A.; Moshiul I. Md.; Mohammed Z. U.K.; Mustafizur R. G.K.M.; Moynul H.M.; Giashuddin M.Md.; Jatish C. B. 2022. Advances in Legumes for sustainable Intensification. Chapter 20 – Potencial of legume-based cropping systems for climate change adaptation and mitigation. Pages 381-402. ISBN 978-0-323-85797-0.

Razafintsalama, H., Sauvadet, M., Trap, J., Autfray, P., Ripoche, A., Becquer, T. Legume Nitrogen Fixation and Symbioses in Low-Inputs Rainfed Rice Rotations. Sustainability 2021, 13, 12349. https://doi.org/10.3390/su132212349

Reta S. D. G., P. C. Castellanos G., J. Olague R., H. M. Quiroga G., J. S. Serrato C. y A. Gaytán M. (2013). Potencial forrajero de cuatro especies leguminosas en el ciclo de verano en la Comarca Lagunera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4(5):659-671. https://doi.org/10.29312/remexca.v4i5.1166

Ríos H.J.J., Maldonado, P.M de los A. Rojas., G.A.R., Hernández, C.E., Sabino, L.J.E., Segura, P.H.R. (2023) Comportamiento productivo del cultivo de soya variedad Salcer a diferentes densidades de población y momentos de cosecha. Revista Fitotecnia Mexicana 46(1):3-10. https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.3

SAS Institute. 2013. The SAS System for Windows, Release 9.4. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC.

Tagliapietra, E.L., Streck, N.A., Marques da Rocha, TS., Richter, G.L., Rocha da Silva, M., Cera, J.C., Guedes, J.V.C., and Zanon, A.J. 2018. Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. Crop ecology and physiology. Agronomy Journal. 110:932–938 https://doi:10.2134/agronj2017.09.0523

Sun B., Yuan S., Naser M., Zhou Y., Jia H., Yu Y., Yao X., Wu T., Song W., Jiang B., Dong H., Zhang C., Sapey E., Wang P., Sun Y., Zhang J., Zhang L., Li Q., Xu C., Jia X., Wu C., Yu L., Sun S., Guo C., Han T. 2024. Evaluation of forage quality in various soybean varieties and high-yield cultivation techniques. Field Crops Research. Vol. 317. 1-13 https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109546

Zhang H., Rocateli A. 2017. Forage quality interpretations. Oklahoma Cooperative Extension Service PSS-2117-6. http://osufacts.okstate.edu

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y NUTRICIONAL DE ECOTIPOS DE PASTO BANDERITA [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.]

Rafael Jiménez-Ocampo[1], María Denisse Montoya-Flores[2], Jorge Alonso Maldonado-Jáquez[3], Lucero Sarabia-Salgado[4], Saúl Santana-Espinoza[3], Pablo Alfredo Domínguez-Martínez[1]*

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Dgo. México. C.P. 34170. [2]INIFAP - Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, Ajuchitlán, Qro. México. C.P. 7280. [3]INIFAP - Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coah., México. C.P. 27440. [4]Universidad Autónoma de Guerrero - Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ciudad Altamirano, Gro. México. C.P. 40660. *dominguez.pablo@inifap.gob.mx

Introducción

El pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) se utiliza como recurso forrajero y de restauración en zonas áridas y semiáridas del norte de México, ya que presenta una amplia adaptación y potencial para la producción de biomasa (Morales-Nieto et al., 2009). Los programas de selección y restauración por lo general centran su atención en la producción total de biomasa y semilla; mientras que, aspectos como la partición de biomasa (hoja vs. tallo/inflorescencia) y la calidad nutricional del forraje bajo condiciones locales reciben menos atención (Álvarez-Holguín et al., 2021).

La cantidad de biomasa total es insuficiente para garantizar buena calidad del forraje, pues la distribución de materia seca en hojas o tallos establece el contenido de proteína y la cantidad de fibra (Ain et al., 2022; Yang et al., 2023). Además, la diversidad genética y adaptación ambiental condicionan la respuesta de genotipos de *B. curtipendula* en distintos escenarios de manejo y clima (Álvarez-Holguín et al., 2021).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la variación entre ecotipos de pasto banderita en caracteres morfológicos (altura, partición de materia seca) y en calidad nutricional (proteína cruda, fibra detergente ácido y detergente neutro), con el fin de identificar ecotipos que ofrezcan la mejor relación cantidad–calidad.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) - Campo Experimental Valle del Guadiana. El sitio se encuentra en las coordenadas 23° 59’ 21” N, 104° 37’ 33” O y a 1 877 m de altitud. El suelo es de tipo franco-arcilloso, con capacidad intermedia para la retención de humedad, profundidad media, pendiente de 0 a 4 %, pH 7.9 y es pobre en nutrientes. El clima predominante es templado semiárido, con régimen de lluvias en verano, variación fuerte de temperatura y un promedio anual para esta variable de 17.4 °C (García, 1998). La lluvia acumulada durante el año alcanza 476 mm en promedio y los eventos de mayor volumen ocurren entre junio y septiembre (Medina et al., 2005). Se utilizaron siete ecotipos de pasto banderita pertenecientes a una colecta hecha en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas. La variedad Diana de pasto banderita (Beltrán et al., 2013) también se incluyó en el estudio como testigo.

Las parcelas experimentales se establecieron durante el ciclo primavera-verano 2020 mediante trasplante. Luego del trasplante se aplicó un riego para garantizar la supervivencia de las plántulas. A partir de entonces, todo el lote permaneció bajo condiciones de temporal. Durante marzo 2024 se cortó el forraje residual del ciclo anterior a una altura de 10 cm sobre el nivel del suelo.

El forraje producido durante 2024 se cosechó una vez que las espiguillas adquirieron una coloración pajiza (octubre), como indicativo de la madurez fisiológica de la semilla. Previo a la cosecha de biomasa, se midió la altura de las plantas en cuatro posiciones distintas de cada corona. El corte del pasto se hizo 15 cm sobre el nivel del suelo y se cosecharon cuatro coronas elegidas al azar del centro de la parcela. El forraje recién cosechado se pesó y se le sustrajo una submuestra para determinar composición morfológica (hoja, tallo, inflorescencia y material senescente). El restante de las muestras originales y la submuestra dividida en componentes morfológicos se colocaron en bolsas de papel etiquetadas. Las muestras se secaron en estufa de aire forzado a 55 °C hasta que alcanzaron peso constante, para después determinar el contenido de materia seca en la planta completa y por componente morfológico. Con la composición morfológica de las plantas se determinó la relación hoja:tallo (RHT) para cada ecotipo. El forraje seco se molió hasta alcanzar un tamaño de partícula de 1 mm, para después establecer su contenido de proteína cruda (PC; AOAC, 2023), fibra detergente ácido (FDA; ANKOM, 2017a) y fibra detergente neutro (FDN; ANKOM, 2017b). El análisis de varianza se realizó bajo un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones por ecotipo. La comparación de medias se hizo mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

Resultados y discusión

La altura promedio de las plantas fue 105 cm. El ecotipo B-689 registró la mayor altura (121 cm), mientras que, 21-C Zac y 592 B alcanzaron 95 y 96 cm. La altura de las plantas es un estimador indirecto del rendimiento de materia seca en gramíneas, ya que las características del dosel se relacionan con la producción de biomasa y pueden incorporarse en modelos de predicción (Nishikawa et al., 2023). Por lo tanto, la diferencia de altura observada entre ecotipos sugiere una variación en el potencial de producción que justifica un análisis posterior utilizando métodos de estimación remota o modelos estadísticos para predecir el rendimiento de materia seca por genotipo.

La acumulación de materia seca total promedio fue de 217 g planta^{-1} para los ocho ecotipos (Cuadro 1); en esta variable no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$). No obstante, la distribución de la materia seca en los componentes morfológicos de la planta mostró variación marcada. La cantidad de materia seca en las hojas de 1-5 Zac fue mayor 20 a 35 g planta^{-1} en comparación con B-689, 508 C-G, 31-C Zac y la variedad Diana. Por otro lado, B-689 acumuló 52 a 54 % más materia seca en tallos e inflorescencia, con respecto a 21-C Zac y 592 B. Este patrón (mayor producción de materia seca total asociada a una mayor fracción de tallo/inflorescencia) concuerda con la literatura que documenta cómo el aumento de la madurez o de la altura del dosel incrementa la proporción de tallo a costa de la fracción foliar, lo que altera la calidad del forraje (Grev et al., 2020; Xu et al., 2023). En otras palabras, la producción de biomasa en B-689 se orientó a tallos e inflorescencias, mientras que 1-5 Zac mantuvo una mayor proporción de hojas.

Cuadro 1. Contenido de materia seca total (MS), materia seca en hojas (MS_hojas), materia seca en tallos (MS_tallos), materia seca en inflorescencias (MS_inf), materia seca en material senescente (MS_sen) y relación hoja:tallo (RHT) en distintos ecotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*).

Ecotipo	MS (g planta^{-1})	MS_hoja (g planta^{-1})	MS_tallo (g planta^{-1})	MS_inf (g planta^{-1})	MS_sen (g planta^{-1})	RHT
21-C Zac	150	26.4^{ab}	79.5^{bc}	29.6^{b}	15.0	0.34^{ab}
B-689	270	10.0^{b}	167.5^{a}	65.4^{a}	27.5	0.06^{c}
Maturana	277	25.6^{ab}	162.8^{ab}	63.2^{ab}	25.9	0.17^{bc}
508 C-G	228	19.4^{b}	116.7^{abc}	59.8^{ab}	31.8	0.16^{abc}
1-5 Zac	226	45.8^{a}	124.5^{abc}	40.6^{ab}	14.9	0.38^{ab}
592 B	154	26.1^{ab}	76.2^{c}	30.8^{b}	20.8	0.40^{a}
31-C Zac	236	25.1^{b}	129.1^{abc}	46.2^{ab}	35.3	0.20^{abc}
Diana	192	25.2^{b}	95.1^{abc}	45.3^{ab}	26.5	0.28^{abc}

^{abc} Literales diferentes dentro de la misma columna denotan diferencias significativas (P <0.05). Los valores que se presentan son el promedio de cuatro observaciones por ecotipo.

El material senescente promedió 24.7 g planta^{-1} entre los ecotipos. La relación hoja:tallo fue mayor en 592 B en comparación con B-689 (P < 0.05). La relación entre hojas y tallos elevada indica mayor proporción de hoja con respecto al tallo, esto es un rasgo que se asocia con mejor digestibilidad y mayor contenido relativo de proteína; mientras que, lo contrario refleja mayor participación de tallo e implica proporciones de fibra poco digestible (FDA/FDN) más grandes y menor concentración de proteína disponible (Grev et al., 2020; Xu et al., 2023).

Los resultados mostraron diferencias significativas en PC y FDA (Cuadro 2); sin embargo, el contenido de FDN fue similar entre ecotipos. Los ecotipos 21-C Zac, B-689 y 592 B presentaron ~20 % más PC que 31-C Zac; el resto exhibió valores intermedios. Es relevante enfatizar que, en pastos, la mayor concentración de proteína suele ubicarse en las hojas y partes superiores del dosel; mientras que, tallos y material senescente contienen menos nitrógeno y, en consecuencia, menor proteína cruda (Núñez et al., 2022). La coincidencia entre RHT y PC en los ecotipos estudiados es coherente con este mecanismo: ecotipos con mayor proporción de hoja tienden a mostrar mayor PC relativa.

Cuadro 2. Contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN) en la materia seca de ocho ecotipos de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*).

Ecotipo	PC	FDA	FDN
21-C Zac	3.8^{a}	56.1^{ab}	75.7
B-689	3.6^{a}	55.7^{ab}	79.8
Maturana	3.2^{ab}	56.5^{ab}	76.7
508 C-G	3.5^{ab}	54.4^{b}	73.1
1-5 Zac	3.4^{ab}	56.0^{ab}	72.6
592 B	3.6^{a}	58.2^{a}	75.5
31-C Zac	2.9^{b}	59.0^{a}	76.0
Diana	3.5^{ab}	55.5^{ab}	73.6

^{a,b} Literales distintas por columna indican diferencias significativas (P <0.05). Los valores que se presentan son el promedio de cuatro observaciones por genotipo.

En cuanto a fibra detergente ácido, 31-C Zac y 592 B mostraron valores en promedio 7 % superiores con respecto a 508 C-G ($P < 0.05$). El aumento de FDA está asociado con menor digestibilidad y con consumo voluntario reducido por parte del rumiante debido a mayor volumen de llenado ruminal por materia fibrosa. Por tanto, diferencias en FDA entre genotipos pueden traducirse en variaciones prácticas en valor nutritivo y rendimiento animal (Foster et al., 2023; Tassone et al., 2022). Además, la mayor acumulación de tallo e inflorescencia en B-689 explica la mayor proporción de fibra estructural observada en algunos materiales y la disminución de calidad en el forraje.

Conclusiones

La evaluación de ocho ecotipos de *Bouteloua curtipendula* reveló diferencias en la producción y en la calidad nutritiva del forraje. Los materiales con mayor acumulación de biomasa, como Maturana y B-689, destinaron más materia seca a tallos e inflorescencias, lo que se asoció con mayor contenido de fibra y menor valor nutritivo. En contraste, ecotipos como 21-C Zac y 592 B combinaron una alta relación hoja:tallo con mayor contenido de proteína cruda. Lo anterior refuerza el potencial de estos materiales como de interés en programas de mejoramiento. Los hallazgos confirman que la selección de ecotipos debe considerar, además de la producción de biomasa, la calidad nutritiva y proporción de hojas, con el fin de optimizar el rendimiento y aporte de nutrientes.

Referencias

Ain, N.-, Haider, F. U., Fatima, M., Habiba, Zhou, Y., & Ming, R. (2022). Genetic Determinants of Biomass in C4 Crops: Molecular and Agronomic Approaches to Increase Biomass for Biofuels. *Frontiers in Plant Science*, 13. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.839588

Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C. R., Corrales-Lerma, R., Prieto-Amparán, J. A., Villarreal-Guerrero, F., & Sánchez-Gutiérrez, R. A. (2021). Genetic structure and temporal environmental niche dynamics of sideoats grama [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] populations in Mexico. *PLOS ONE*, 16(7), e0254566. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254566

ANKOM (2017a). Acid detergent fiber in feeds – filter bag technique (for A2000 and A2000I). Disponible en: https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_5_ADF_A200.pdf?srsltid=AfmBOopKZvbczRwb9WP6XIc1jK5zX0NHfwCj7EOifmIkVf7n-FdnyxHN

ANKOM (2017b). Neutral detergent fiber in feeds - filter bag technique (for A2000 and A2000I). Disponible en: https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_13_NDF_A2000.pdf?form=MG0AV3.

AOAC Official Method 954.01Protein (Crude) in Animal Feed and Pet Food. (2023). En: Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.1394

Beltrán López, S., García Díaz, C. A., Hernández Alatorre, J. A., Loredo Osti, C., Urrutia Morales, J., González Eguiarte, L. A., & Gámez Vázquez, H. G. (2013). "Banderilla Diana" Bouteloua curtipendula (Michx.) Torr., nueva variedad de pasto para zonas áridas y semiáridas. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, *4*(2), 217–221.

Foster, J. L., Smith, W. B., Rouquette, F. M., & Tedeschi, L. O. (2023). Forages and pastures symposium: an update on in vitro and in situ experimental techniques for approximation of ruminal fiber degradation. *Journal of Animal Science*, 101. https://doi.org/10.1093/jas/skad097

García, E. (1998). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Institutito de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México, México. 90p.

Grev, A. M., Wells, M. S., Catalano, D. N., Martinson, K. L., Jungers, J. M., & Sheaffer, C. C. (2020). Stem and leaf forage nutritive value and morphology of reduced lignin alfalfa. *Agronomy Journal*, 112(1), 406–417. https://doi.org/10.1002/agj2.20011

Medina-García, G., Díaz-Padilla, G., López-Hernández, J., Ruíz-Corral, J.A., & Marín-Silva, M. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México. 224 p.

Morales Nieto, C. R., Quero Carrillo, A., Melgoza Castillo, A., Martínez Salvador, M., & Jurado Guerra, P. (2009). Diversidad forrajera del pasto banderita [Bouteloua curtipendula (Michx.) Torr.], en poblaciones de zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, *47*(3), 231 a 244.

Nishikawa, H., Oenema, J., Sijbrandij, F., Jindo, K., Noij, G.-J., Hollewand, F., Meurs, B., Hoving, I., van der Vlugt, P., Bouten, M., & Kempenaar, C. (2023). Dry Matter Yield and Nitrogen Content Estimation in Grassland Using Hyperspectral Sensor. *Remote Sensing*, *15*(2), 419. https://doi.org/10.3390/rs15020419

Núñez, L., Hirigoyen, A., Durante, M., Arroyo, J. M., Cazzuli, F., Bremm, C., & Jaurena, M. (2022). What Factors Control the Crude Protein Content Variation of a Basaltic “Campos” Native Grassland of South America? *Agronomy*, 12(8), 1756. https://doi.org/10.3390/agronomy12081756

Tassone, S., Mabrouki, S., Barbera, S., & Glorio Patrucco, S. (2022). Laboratory Analyses Used to Define the Nutritional Parameters and Quality Indexes of Some Unusual Forages. *Animals*, 12(18), 2320. https://doi.org/10.3390/ani12182320

Yang, L., Zhou, Q., Sheng, X., Chen, X., Hua, Y., Lin, S., Luo, Q., Yu, B., Shao, T., Wu, Y., Chang, J., Li, Y., & Tu, M. (2023). Harnessing the Genetic Basis of Sorghum Biomass-Related Traits to Facilitate Bioenergy Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(19), 14549. https://doi.org/10.3390/ijms241914549

Xu, Z., Heuschele, D. J., Lamb, J. F. S., Jung, H.-J. G., & Samac, D. A. (2023). Improved Forage Quality in Alfalfa (Medicago sativa L.) via Selection for Increased Stem Fiber Digestibility. *Agronomy*, 13(3), 770. https://doi.org/10.3390/agronomy13030770

EVALUACIÓN DE LAS FRACCIONES DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELO ASOCIADO AL CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO (híbrido Matador) EN RESPUESTA A DIFERENTES LÁMINAS DE RIEGO

Eva Aurora Bautista-Calderon[1*], Gerardo Delgado-Ramírez[1], Cristo Omar Puente-Valenzuela[1], Ramón Trucíos Caciano[1], Nuria Aide López-Hernández[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Zona Industrial km 6.5 Canal Sacramento, CP. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. *Autor para correspondencia: bautista.eva@inifap.gob.mx

Introducción

En los ecosistemas terrestres, el suelo constituye uno de los principales reservorios de carbono (C); sin embargo, su capacidad de almacenamiento se ve modificada por los cambios en el uso del suelo, lo que puede inducir dinámicas de emisión o secuestro de dióxido de carbono (CO_2) hacia o desde la atmósfera, influyendo de manera determinante en los procesos de retroalimentación del cambio climático global. Dichas alteraciones suelen estar asociadas a la conversión de ecosistemas naturales hacia sistemas de producción agrícola, con implicaciones directas sobre el balance de carbono a diferentes escalas espaciales y temporales. El suelo desempeña un rol central en el ciclo global del carbono (CC) al actuar como un reservorio dinámico y regulador de flujos (Zahedifard et al., 2024). El carbono orgánico del suelo (COS), predominantemente asociado a la fracción de materia orgánica, regula propiedades edáficas clave de naturaleza física (retención hídrica, agregación y estabilidad estructural), química (capacidad de intercambio catiónico, disponibilidad de nutrientes) y biológica (actividad y diversidad microbiana). No obstante, la cuantificación de las variaciones en el contenido total de COS resulta compleja, particularmente en escalas de tiempo cortas y medias, debido a la heterogeneidad espacial del suelo y a la lentitud de los procesos de estabilización y descomposición de la materia orgánica. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue cuantificar las fracciones de carbono lábil, moderadamente recalcitrante y recalcitrante en un suelo agrícola cultivado con maíz forrajero en respuesta a diferente aplicación de lámina de riego.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental del CENID-RASPA del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en la Comarca Lagunera, en el municipio de Gómez Palacio, Durango, México. El sitio experimental se localiza entre las coordenadas 25°35'14.57" N y 103°26'56.89" O. Antes del establecimiento del cultivo para el experimento, el predio permaneció sin ninguna actividad agrícola alrededor de ocho años. Previo al experimento se procedió a realizar un muestreo de suelos, donde se colectaron nueve muestras simples de suelo a una profundidad de 30 cm y distribuidas completamente al azar, para posteriormente formar una muestra simple. Esta muestra simple fue identificada como muestra inicial de suelo (MIS). El diseño de muestreo fue completamente al azar, formado por 9 sub-parcelas de 10 x 4.5 m (45 m^2), con un diámetro entre surcos de 0.75 m. En estas parcelas se sembró maíz forrajero de la variedad Matador. Cada una de las sub-parcelas se diferenció por la aplicación de láminas de riego distintas.

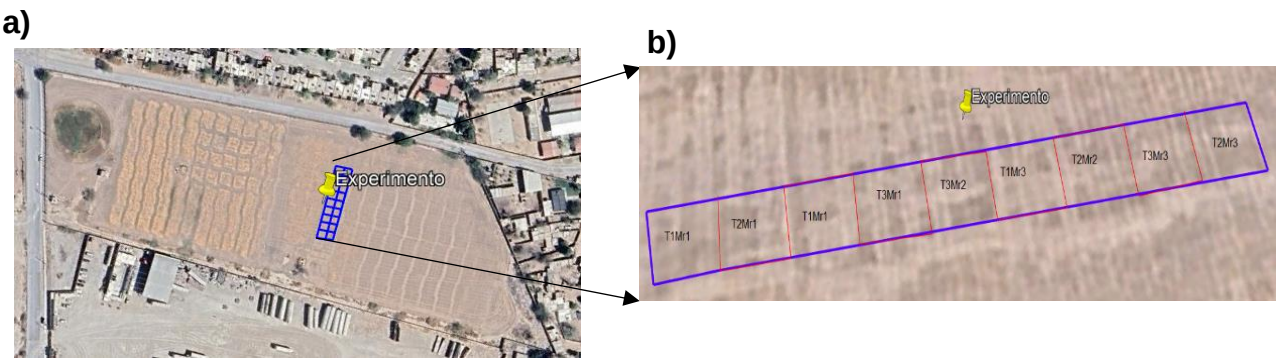


Figura 10. a) Localización de la zona de estudio ubicada en el Campo Experimental del CENID-RASPA y b) distribución de los tratamientos donde M= variedad de maíz forrajero híbrido Matador, T= tratamiento y r= tipo de lámina de riego.

Las muestras de suelo para la cuantificación de carbono orgánico del suelo (COS) se recolectaron en cada sub-parcela, mediante la obtención de tres muestras simples al azar, que posteriormente se homogenizaron para conformar una muestra compuesta a una profundidad de 0–30 cm. En total, se obtuvieron nueve muestras compuestas. Todas las muestras fueron trasladadas al laboratorio para su procesamiento y análisis de propiedades físicas como clase textural y densidad aparente ($g \cdot cm^{-3}$); propiedades químicas como materia orgánica (%), carbono orgánico del suelo (COS, %), carbono orgánico lábil (CL), carbono orgánico de mediana recalcitrancia (CMR) y carbono orgánico recalcitrante (CR). El contenido de COS se determinó mediante el método de combustión húmeda de Walkley y Black (1934), descrito por Van Reeuwijk (2002). La densidad aparente ($Mg \cdot m^{-3}$) se evaluó con el método del terrón parafinado (Anderson e Ingram, 1993), mientras que el fraccionamiento de carbono se realizó utilizando el método de perfil oxidativo. Todos los análisis se llevaron a cabo conforme a lo establecido en la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

El carbono total (CT) se estimó dividiendo el contenido de materia orgánica entre el factor de Van Bemmelen (1.724), que asume que la materia orgánica contiene un 58 % de carbono. Posteriormente, el contenido de C (%) se transformó a concentración ($g \cdot kg^{-1}$) mediante la fórmula: C (g/kg) = (%C) *(1000) /100. El almacén de C (Mg ha^{-1}) se calculó con la fórmula propuesta por Etchevers et al*.,* (2005), COS (Mg/Ha) = %C*P* ρb Donde: COS= contenido de carbono orgánico del suelo ($Mg \cdot ha^{-1}$), %C = porcentaje de C, P = Profundidad de muestreo (cm) y $\rho b =$ Densidad aparente ($g \cdot cm^{-3}$).

El experimento consideró tres tratamientos (T1, T2 yT3) y tres tipos de lámina de riego en suelo agrícola (r1, r2 y r3), conformando un total de tres tratamientos con tres repeticiones cada uno (T1Mr1, T2Mr2, T1Mr3, T2Mr1, T2Mr2, T2Mr3, T3Mr1, T3Mr2, T3Mr3). Adicionalmente, se obtuvo una muestra inicial de suelo (MIS), empleada únicamente con fines comparativos para estimar la reserva basal de COS.

El análisis estadístico se realizó utilizando el software SAS System 9.0, comprobando los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett) e independencia. Posteriormente, los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y a una prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), empleando el software RStudio 4.5.0, con el propósito de determinar diferencias estadísticas en las concentraciones y almacenes de COS.

Resultados y discusión

Los suelos presentaron clases texturales Franco arcillosa, lo que se traduce en suelos con buena capacidad de retención de agua y mayor fertilidad debido a su alto contenido de arcilla, la cual retiene nutrientes de una manera más eficaz que las arenas. Sin embargo, pueden presentar baja permeabilidad lo que limita el drenaje y favorece el encharcamiento. Estas características lo hacen propenso a compactarse si no se realiza un manejo adecuado.

Son suelos fuertemente alcalinos por presentar pH mayores a 8, esto es una característica común de los suelos minerales de zonas áridas. Esta condición puede repercutir en la limitación de la disponibilidad de nutrientes como el Fe, Zn y Mn. En cuanto a la conductividad eléctrica esta indica que para el caso de T1Mr3, T2Mr1 y T3Mr3 los suelos son ligeramente salinos. El contenido de fósforo indica una clasificación medio alta de acuerdo con la NOM 021. La *pb* fue superior a 1.00 en todos los casos, siendo mayor en los suelos previos al establecimiento del cultivo. Finalmente, la MO reportada fue mayor en la MIS y disminuyó al concluir el ciclo agrícola, sin embargo, en todos los casos se encuentran por debajo de la media nacional que es de 2.4% (Cuadro 1) (Ortiz, 2019). De manera general, los suelos evaluados son alcalinos, con fertilidad media a alta en fósforo y potasio, buena disponibilidad de calcio y magnesio, pero con riesgo de salinidad y sodicidad en algunos tratamientos. Además, la materia orgánica es relativamente baja, lo que limita la capacidad de retención de agua y nutrientes, pese al alto contenido de carbono total reportado.

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas bajo el cultivo de maíz forrajero variedad Matador a 30 cm de profundidad, en un suelo de la Comarca Lagunera.

Trat.	Textura	pH	Ce	P-Ols	%MO	N-NO3 (ppm)	K-Ext (ppm)	Ca-Ext (ppm)	Mg - Ex (ppm)	Na - Ext (ppm)
MIS	Franco arcillosa	8.08	2.71	9.58	1.39	55.93	984.26	6560.33	311.85	283.89
T1M	Franco arcillosa	8.26	2.26	13.63	1.30	31.91	862.98	5594.20	268.13	337.67
T2M	Franco arcillosa	8.30	1.79	17.02	1.34	19.22	913.07	7980.68	233.34	328.56
T3M	Franco arcillosa	8.15	2.15	16.92	1.27	33.75	979.31	6826.09	335.38	286.03

Donde: MIS=muestra inicial de suelo, T1M= tratamiento 1, variedad Matador, riego 1, T2M= tratamiento 2, variedad Matador, riego 2, T3M= tratamiento 3, variedad Matador.

La concentración de COS (g/kg) disminuyo después del establecimiento del cultivo de maíz forrajero para los tratamientos T1Mr2 y T1Mr3, por el contrario, el tratamiento TM1r1 presento un aumento de 0.91 g/kg.

Para el caso de los almacenes de COS el mayor reservorio se presentó en la muestra de suelo que se tomó previo al establecimiento del cultivo de maíz forrajero al reportarse 34.8 Mg ha^{-1}, una vez concluido el ciclo agrícola se puede observar una disminución de los almacenes de COS en los primeros 30 cm del suelo, para el caso de T1Mr3 disminuyo 15.29 Mg ha^{-1}, seguido de T1Mr2 con una reducción de 12.05 Mg ha^{-1} y finalmente el tratamiento T1Mr3 reporto una pérdida de 7.90 Mg ha^{-1} (Figura 2). Estos resultados corroboran que el COS disminuye como resultado de prácticas agrícolas donde se remueve y expone el suelo a la superficie ocasionando la ruptura de agregados del suelo y como resultado se libera C a la atmosfera (Six et al. 2000; Lal, 2004).

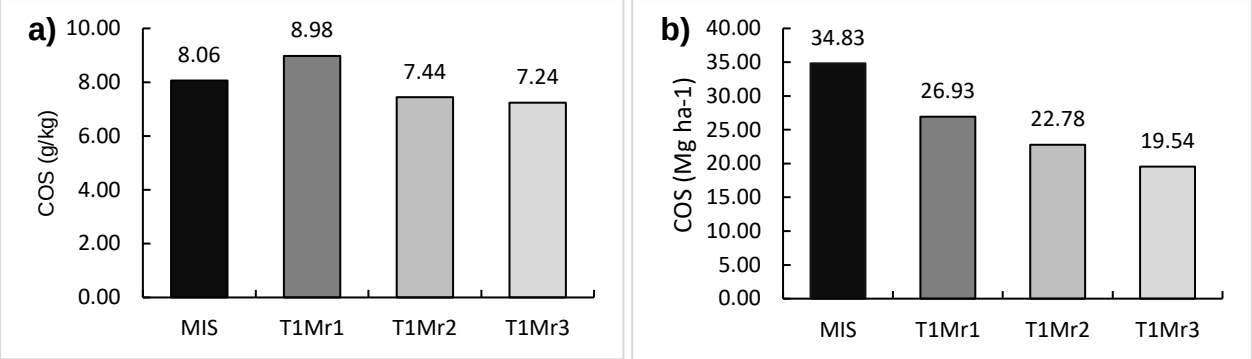


Figura 11. a) Concentración de COS (g/kg) del suelo a una profundidad de 30 cm bajo el cultivo de maíz forrajero y diferente lámina de riego y b) Almacén de COS (Mg ha^{-1}) del suelo a 30 cm de profundidad.

El carbono orgánico del suelo (COS) se clasifica en distintas fracciones según su grado de estabilidad física y química. La proporción de carbono en cada una de ellas depende de su presencia relativa dentro del suelo. La fracción lábil (COL) constituye la parte más activa y de fácil descomposición por la acción microbiana, lo que la hace altamente sensible a cambios en el manejo del suelo. La fracción moderadamente recalcitrante (CMR) corresponde a carbono parcialmente estabilizado, ya sea por su adsorción en superficies minerales o por su protección dentro de microagregados. Finalmente, la fracción recalcitrante (CR) incluye el carbono con mayor grado de estabilización, caracterizado por una dinámica de recambio muy lenta y una elevada persistencia en el tiempo (Lefèvre et al., 2017).

En la Figura 3 se aprecia que la fracción lábil sigue el orden T1Mr1 > T1Mr2 > T1Mr3, lo que indica una mayor disponibilidad de carbono en T1Mr1. Para la fracción moderadamente recalcitrante, el patrón observado fue T1Mr1 > T1Mr2 = T1Mr3. En contraste, la fracción recalcitrante presentó la secuencia T1Mr2 > T1Mr3 > T1Mr1, lo que sugiere una mayor estabilización del carbono en T1Mr2.

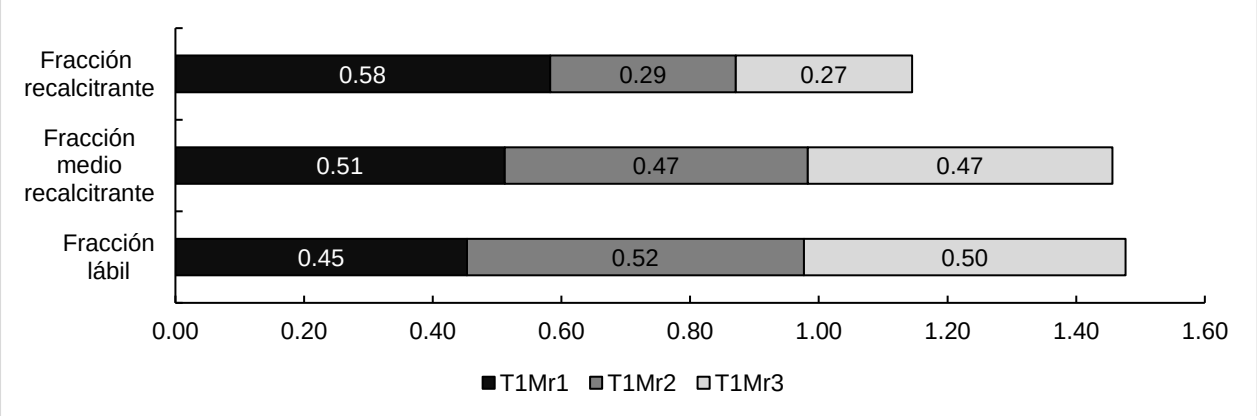


Figura 12. Distribución de la fracción lábil, medio recalcitrante y recalcitrante por cada tipo de lámina de riego aplicada

Para el caso de los almacenes de carbono por fracción no se reportaron diferencias significativas. La mayor reserva de C en la fracción lábil se presentó en el tratamiento T1Mr2. Para el caso de las fracciones de carbono medio recalcitrante y recalcitrante el mayor almacén se reportó en el tratamiento T1Mr1 (Figura 4).

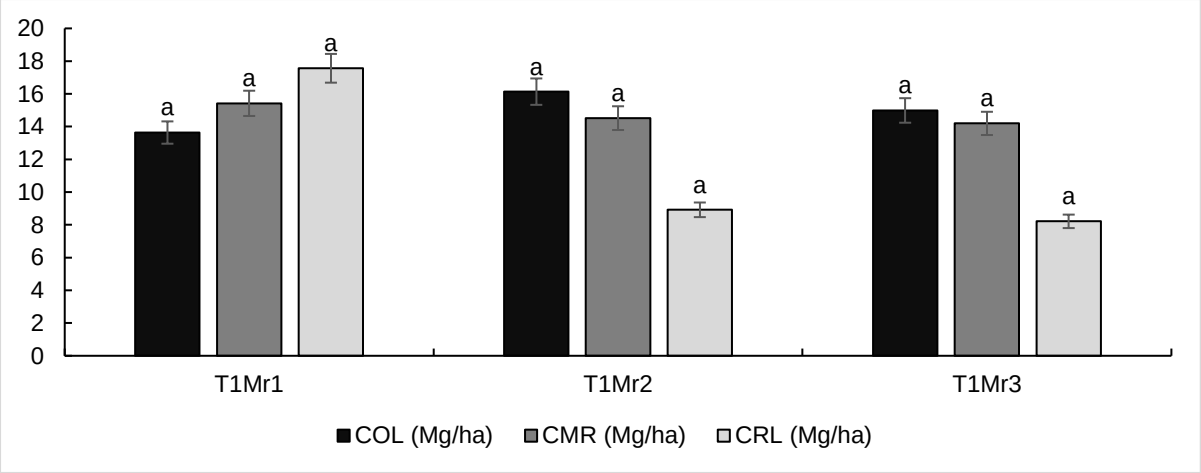


Figura 13. Distribución de los almacenes de carbono para la fracción lábil, medio recalcitrante y recalcitrante.

Conclusiones

El fraccionamiento del carbono orgánico del suelo (COS) en componentes con distintos grados de estabilidad proporciona una visión más detallada sobre los procesos de estabilización y dinámica del carbono en sistemas agrícolas. En conjunto, estos hallazgos destacan la importancia de evaluar no solo el contenido total de carbono, sino también su distribución entre fracciones, como criterio para estimar el potencial de secuestro de carbono del suelo y orientar prácticas de manejo sostenible que contribuyan a la mitigación del cambio climático.

Referencias

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma, 123*(1–2), 1–22. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032

Lefèvre, C., Rekik, F., Alcántara, V., & Wiese, L. (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto.* FAO. http://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf

Ortiz, S. C. A. (2019). *Edafología* (pp. 145–188). Editorial Trillas.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002, 31 de diciembre). NOM-021-RECNAT-2000: Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis [Norma oficial mexicana]. Diario Oficial de la Federación. https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf

Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S., de Moraes Sá, J. C., & Albrecht, A. (2002). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils—Effects of no-tillage. *Agronomie, 22*(7–8), 755–775. https://doi.org/10.1051/agro:2002043

Van Reeuwijk, L. P. (2002). Procedures for soil analysis: Wageningen. International Soil Reference and Information Centre. Technical Paper 9.

Zahedifard, N., Shahbazi, K., Mohammadi, M. H., Golchin, A., Moshiri, F., & Martinez, C. E. (2024). Soil organic carbon fractions in cultivated calcareous soils. *Eurasian Soil Science, 57*(5), 780–793. https://doi.org/10.1134/S1064229324050141

DAÑO CAUSADO POR *Chaetocnema pulicaria* Melsheimer, 1847 EN GENOTIPOS DE SORGO Y MIJO PERLA EN UN CLIMA TROPICAL CÁLIDO-HÚMEDO

Guillermo Guzmán-Ochoa[1], Moisés Felipe-Victoriano[2], Jonathan R. Garay-Martínez[2*], Jesús Emanuel Ochoa-Lechuga[1], Santiago Joaquín-Cancino[1], Jairo J. Quintanilla-Medina[1]

[1]Univerdidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Las Huastecas, Carretera Tampico-Mante km 55, Altamira, Tamaulipas, México. *Autor de correspondencia: garay.jonathan@inifap.gob.mx

Introducción

Chaetocnema pulicaria comúnmente conocida como la pulga del maíz, es un coleóptero de la familia Chrysomelidae. Este insecto es considerado como una plaga de importancia económica en los cultivos debido a su capacidad para causar daños directos al alimentarse; e indirectos al ser vector de la bacteria *Pantoea stewartii* en plantas de maíz (Schattman et al., 2024). Es importante destacar que este insecto es polífago lo que significa que puede alimentarse de varias especies vegetales. El ciclo biológico de *C. pulicaria* es rápido, por lo que puede completar varias generaciones en un ciclo del cultivo, su desarrollo es influenciado por factores climáticos tales como humedad relativa, temperatura y precipitación, estos determinan sus fases de desarrollo y por ende su ritmo de colonización y capacidad de dispersión (Ball et al., 2011). Estudios recientes indican que *C. pulicaria* ha extendido su rango geográfico y su presión sobre los cultivos debido principalmente a los cambios en las condiciones climáticas, por lo que resalta la necesidad de monitorear su comportamiento y desarrollar estrategias de manejo para minimizar pérdidas económicas en la agricultura (Ammar et al., 2014; Schattman et al., 2024). Por lo anterior, el objetivo la presente investigación fue evaluar la infestación y daño de *C. pulicaria* en genotipos de sorgo y Mijo Perla en un clima tropical cálido-húmedo.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en el Sitio Experimental Aldama del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en las coordenadas geográficas 22° 51’ 47.38’’ N y 98° 14’ 14.20’’ O, a 98 msnm (INEGI, 2015). El clima es clasificado como semicálido subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación media anual es de 657 mm y temperatura media anual de 23.4 °C (SMN, 2022). Se evaluaron 12 genotipos de sorgo, además del mijo perla (*Cenchrus americanus*). Cada parcela experimental estuvo conformada por seis surcos de 10 m, a una distancia de 80 cm entre surcos y una densidad aproximada de 287,500 plantas ha^{-1}. La preparación del suelo fue mecanizada, la aplicación de riego fue por goteo, para ello se utilizó cintilla 5/8” de la marca Aqua Traxx Toro®, con un distanciamiento de 20 cm entre emisores. La fertilización se realizó a los 28 días después de la siembra (DDS) con una dosis de 90-40-00 kg ha^{-1} de NPK. Los muestreos para cuantificar la infestación y daño se realizaron durante las etapas vegetativas (V3-V5). Para medir la infestación, a diez plantas seleccionadas al azar se le retiró la primera hoja abierta de la parte de arriba, se tomó como hoja sana aquella que no presentó daños por alimentación en sus hojas. Para medir el daño a las 10 hojas se les tomó una fotografía a las cuales se les cuantifico el porcentaje de daño mediante el programa ImageJ 1.5. Adicionalmente, a 10 plantas al azar de cada parcela experimental se le realizó él conteo de individuos por planta. El diseño experimental que se utilizó fue de bloques completos al azar con trece tratamientos y tres repeticiones, a cada una de las variables se les realizó un análisis de varianza, y la prueba de Tukey para la comparación de medias con (α=0.05) el programa estadístico SAS 9.0.

Resultados y discusión

Durante el periodo de muestreo todos los genotipos de sorgo y mijo perla evaluados se observó la presencia de *C. pulicaria.* Las lesiones observadas fueron raspaduras en la epidermis de la hoja de forma alargada paralelas a las nervaduras de las hojas dando un aspecto a líneas blanquecinas. En los genotipos de sorgo presentó una infestación superior al 87 %, no obstante, en el Mijo Perla se observó el menor porcentaje de infestación (42 %; Figura 1).

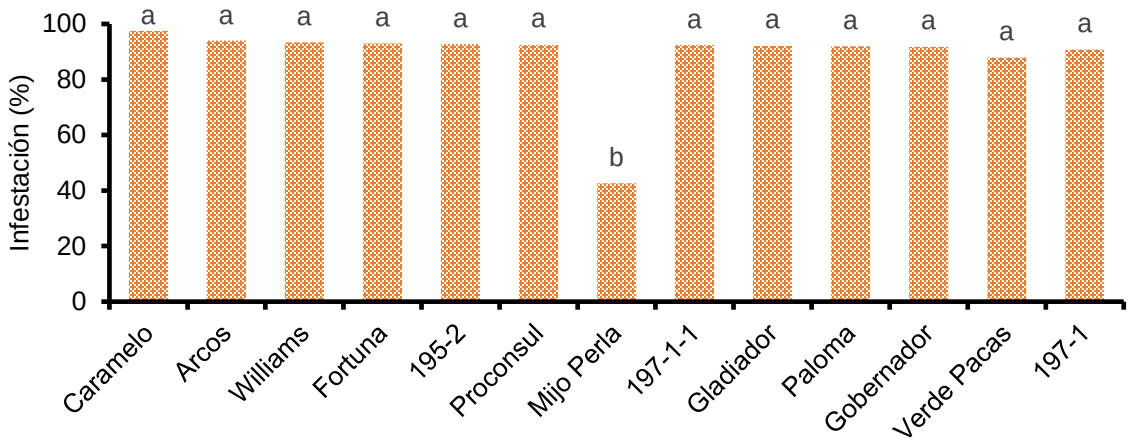


Figura 1. Infestación de *Chaetocnema pulicaria* en etapa vegetativa de sorgo forrajero y mijo perla (*Cenchus americanus*) en un clima tropical Cálido-Húmedo. Literales diferentes indican diferencias entre genotipos.

La variable daño presentó diferencias significativas entre genotipos (Fig.1). El tamaño de las lesiones no fue mayor al 3.5 % del total del área foliar, sin embargo, estas lesiones pueden ser puerta de entrada de enfermedades a otros patógenos y tener efectos negativos en el rendimiento del cultivo (Ammar et al., 2014). Los genotipos Williams, Gladiador, Paloma, Verde Pacas y Mijo Perla presentaron los valores más bajos de daño con valores entre 0.7 y 2.2 %. Aunque esta plaga se a reportado principalmente en el cultivo de maíz, los cambios en los patrones climáticos probablemente tienen un efecto en la presión de los insectos hacia otros cultivos agrícolas, así como pastizales silvestres (Schattman et al., 2024).

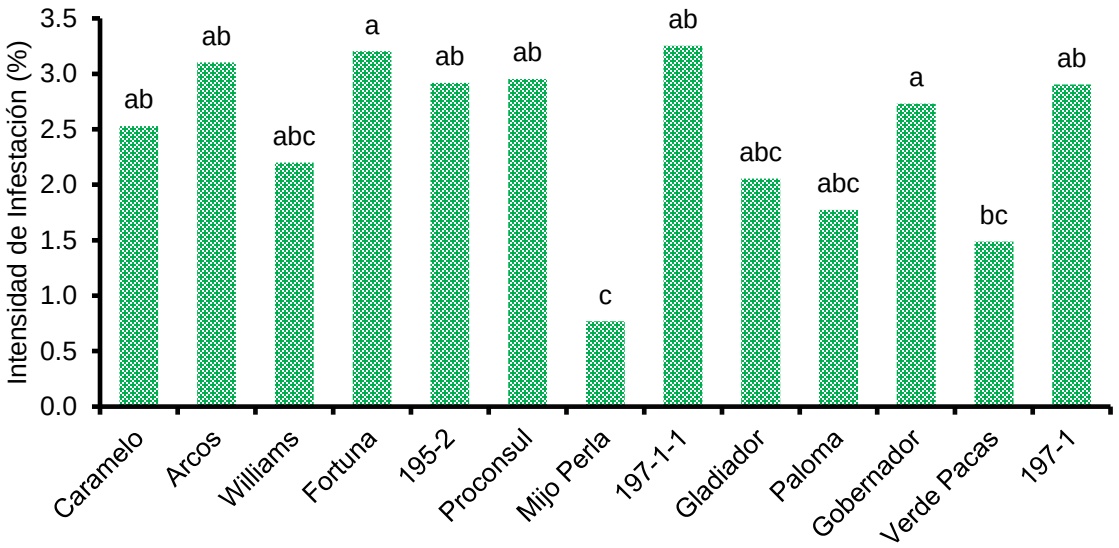


Figura 2. Daño ocasionado por *Chaetocnema pulicaria* en sorgos forrajeros y mijo perla en etapa vegetativa. Literales diferentes indican diferencias entre genotipos.

El número de individuos por planta presentó diferencias significativas entre genotipos (Figura 3), no obstante, no fue mayor a 13 individuos por planta. Los genotipos Arcos, Williams, 195-2, Procónsul, Mijo Perla, 197-1-1, Gladiador, Paloma, Gobernador, 197-1 y Verde Pacas mostraron menor número de individuos por planta con valores entre 1.3 y 9.6. La distribución temporal de *C. pulicaria* en el cultivo se encuentra influenciada principalmente por factores ambientales como la temperatura, las precipitaciones y el viento y se pueden reportar picos poblacionales debido al ciclo biológico corto de la plaga (Esker et al., 2002).

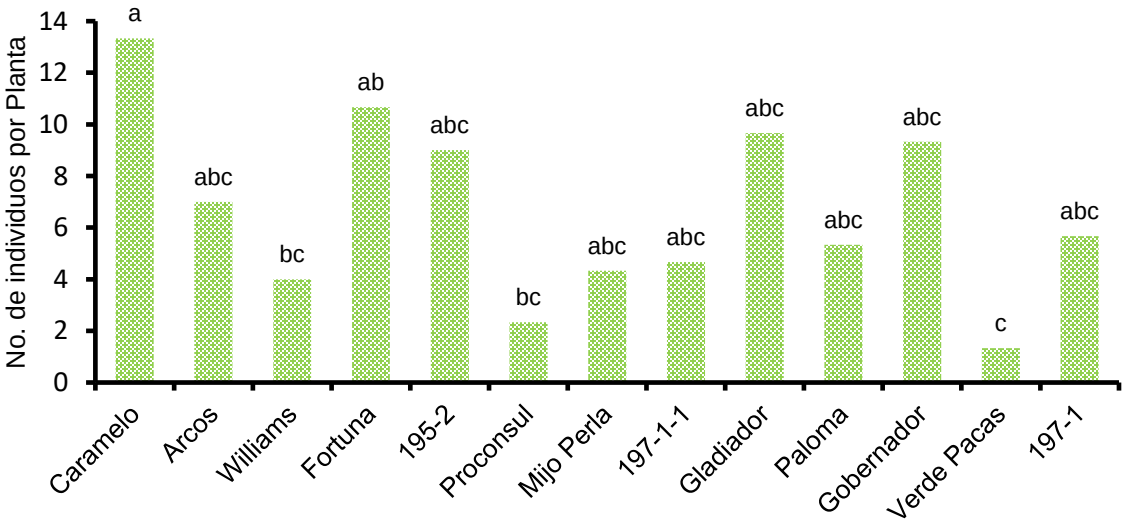


Figura 3. Número de individuos de *Chaetocnema pulicaria* en etapa vegetativa de sorgo forrajero y mijo perla (*Cenchus americanus*) en un clima tropical Cálido-Húmedo. Literales diferentes indican diferencias entre genotipos.

Conclusiones

El daño varió significativamente entre los genotipos evaluados. Aunque el nivel de daño fue bajo (menor al 3.5 % del área foliar), las lesiones generadas pueden ser puerta de entrada de enfermedades, lo cual representa un riesgo para el rendimiento del cultivo.

Referencias

Ammar, E. D., V. R. Correa, S. A. Hogenhout, M. G. Redinbaugh. 2014. Immunofluorescence localization and ultrastructure of Stewart's wilt disease bacterium Pantoea stewartii in maize leaves and in its flea beetle vector Chaetocnema pulicaria (Coleoptera: Chrysomelidae). Journal of Microscopy and Ultrastructure 2:28-33. https://doi.org/10.1016/j.jmau.2014.01.001

Schattman R. E., S. C. Merrill, W. F. Tracy. 2024. Shifts in geographic vulnerability of us corn crops under different climate change scenarios: corn flea beetle (*Chaetocnema pulicaria*) and Stewart's Wilt (*Pantoea stewartii*) bacterium. Environmental Entomology 53:1102–1110. https://doi.org/10.1093/ee/nvae099

Esker P.D., J. Obrycki, F. W. Nutter. 2002 Temporal Distribution of *Chaetocnema* pulicaria (Coleoptera: Chrysomelidae) Populations in Iowa. Journal of Economic Entomology 95: 739–747. https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.4.739

Ball, O. J. P., K. D Gwinn., C. D. Pless, A. J. Popay. 2011. Endophyte isolate and host grass effects on *Chaetocnema pulicaria* (Coleoptera: Chrysomelidae) feeding. Journal of Economic Entomology. 104: 665–672. https://doi.org/10.1603/EC10262

GERMINACIÓN DE ECOTIPOS DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS COLECTADAS EN ZONAS SEMIÁRIDAS

Jesús E. Ochoa-Lechuga[1], Jonathan R. Garay-Martínez[2*], Fernando Lucio-Ruiz[3], Edith Ramírez- Segura[4], Santiago Joaquín-Cancino[1], Benigno Estrada-Drouaillet[1]

[1]Univerdidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Las Huastecas, Ctra. Tampico - Mante km 55, Altamira, Tamaulipas, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental San Luis, Ctra. San Luis Potosí – Matehuala, km 14.5, Palma de la Cruz, San Luis Potosí, México. [4]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID Agricultura Familiar, Ctra. Lagos de Moreno - San Luis Potosí km 8.5, Ojuelos, Jalisco, México. *Autor de correspondencia: garay.jonathan@inifap.gob.mx

Introducción

La ganadería en las zonas áridas y semiáridas de México presenta diferentes desafíos, entre ellos es la alimentación (Osorio-Giraldo et al., 2024), es por ello que se buscan alternativas para mitigar este problema, una de las fuentes para abastecer los requerimientos de las unidades ganaderas es la utilización de las leguminosas debido a su alto contenido de proteína y fibras solubles (Alatorre-Hernández et al., 2018), por lo que se ha encontrado que las leguminosas forrajeras aumentan la ganancia diaria de peso en los animales, sin embargo estas se encuentran distribuidas ampliamente en los matorrales de las zonas semiáridas de México, por lo que muchas de ellas han sufrido cambios debido al sobrepastoreo (Jurado-Guerra et al., 2021). Por otro lado, son de gran importancia en especial en épocas de estiaje, debido a que algunas leguminosas como *Leucaena leucocephala*, la cual expresa una buena producción aun con bajos niveles de precipitación (Pérez et al., 2024), así mismo diferentes especies cuentan con adaptaciones que les permiten sobrevivir en regiones donde las temperaturas y precipitaciones no son favorables condiciones comunes de las regiones semiáridas (Alatorre-Hernández et al., 2018). Además, brindan más beneficios, como la fijación de nitrógeno en el suelo, lo que trae como consecuencia una mayor rapidez durante el ciclo de nutrientes, aumentando la fertilidad del suelo (Kebede et al., 2016). Ante la necesidad de mejorar la producción forrajera en las unidades ganaderas se requiere introducir especies de leguminosas en las zonas de pastoreo (Alatorre-Hernández et al., 2018), por lo anterior, conocer la calidad de las semillas es de gran importancia para asegurar el establecimiento, para ello se debe de conocer las características fisiológicas, entre uno de los parámetros importantes es la germinación, el cual se utiliza para la toma de decisiones durante el establecimiento, ya que la germinación implica un proceso complejo para asegurar el crecimiento de las plantas (Upretee et al., 2024), por lo anterior el objetivo fue evaluar el porcentaje de germinación en ecotipos de leguminosas colectados en el sureste de Tamaulipas.

Materiales y métodos

Se realizó una colecta en el mes de septiembre de 2024, en el sureste de Tamaulipas, México. Donde se colectaron 9 ecotipos de diferentes leguminosas los cuales se consideraron como tratamientos siendo seis de Leucaena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.], dos para Chaparro Prieto (*Acacia constricta* A. Gray) y uno de Vara Dulce [*Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg.; Figura 1].

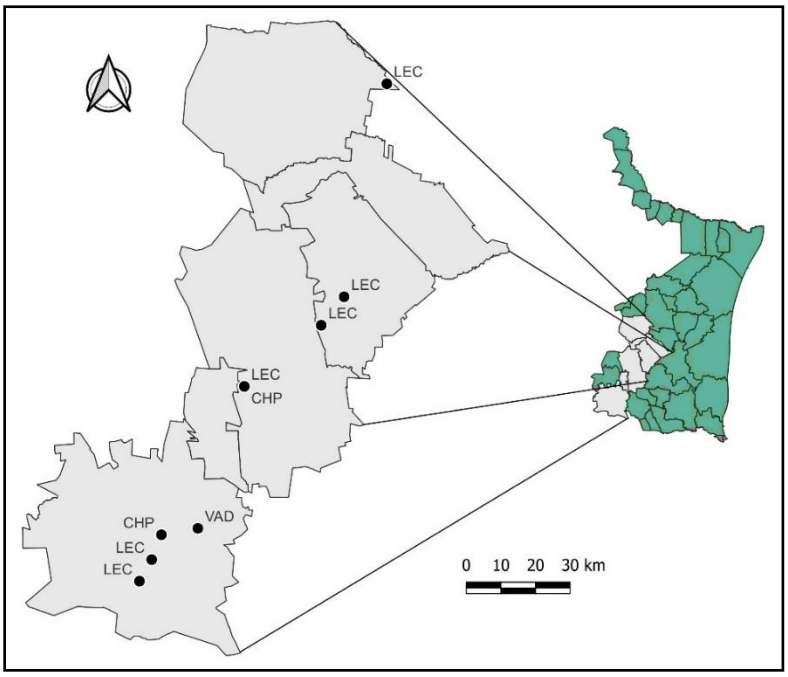


Figura 1. Sitios de colecta de leguminosas en el estado de Tamaulipas, México. LEC: Leucaena; CHP: Chaparro prieto; VAD: Vara dulce.

Se colectaron 500 g de vainas de los diferentes ecotipos de leguminosas; estas se guardaron en bolsas de papel etiquetadas. Posteriormente en laboratorio se realizó la limpieza en donde se separó manualmente la materia inerte de la semilla. Para la prueba de germinación se utilizaron charolas germinadoras, cada una de ellas con 50 cavidades, depositando una semilla por cada cavidad, se utilizaron cuatro repeticiones para cada uno de los ecotipos, posteriormente se aplicaron riegos de auxilio para asegurar la humedad, el conteo se realizó cuando se visualizó la emergencia de las plántulas, por lo cual se realizaron dos conteos a los 7 y 10 días después de la siembra (DDS). Los datos se analizaron con un análisis de varianza completamente al azar, con el paquete estadístico PROC GLM mediante el programa de SAS (SAS-Institute); para diferencias estadísticas se realizó una prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Resultados y discusión

En esta investigación, los porcentajes de germinación de los ecotipos de *Leucaena* fueron bajos, entre 1 y 11 % (Cuadro 1), en comparación con lo reportado por Sánchez-Cárdenas et al. (2023), quienes reportaron porcentajes de germinación de hasta un 100 %. Sin embargo, para lograr que todas las semillas germinaran, estas las sometieron a un tratamiento de escarificación con agua caliente a 80 °C durante diez minutos; mientras que en este estudio no se utilizó ningún tipo de escarificación. Los porcentajes bajos de germinación en las especies de Leucaena y Vara Dulce en este estudio se deben a que no existió ningún método de escarificación, por lo que la testa de la semilla conformada de polisacáridos, galactosa y manosa, no dificultan la imbibición del embrión inhibiendo la entrada de agua y oxígeno, reduciendo considerablemente los porcentajes de germinación (Sánchez-Gómez et al., 2018). La dureza de la testa en la semilla está en función de la respuesta a los cambios de la temperatura del hábitat en el que se encuentre, lo que se conoce como latencia física, utilizada para optimizar el tiempo de germinación, permitiendo su sobrevivencia o la extinción de la planta en sitios con características desfavorables (Smýkal et al., 2014).

Cuadro 1. Porcentaje de germinación de leguminosas colectadas en agostaderos en la región sureste de Tamaulipas, México.

Especie	Nombre científico	Ecotipo	Coordenadas	Germinación (%)			
				7 DDS		10 DDS	
Leucaena	*Leucaena leucocephala*	1	22.8234 -99.7455	3	c	5	de
		2	23.5476 -99.2658	4	c	7	cde
		3	23.6283 -997179	4	c	9	cd
		4	24.2310 -99.0303	3	c	6	cde
		5	23.3745 -99.4833	2	c	11	c
		6	22.8845 -99.7455	1	c	3	e
Chaparro prieto	*Acacia constricta*	7	23.3745 -99.4833	10	b	37	b
		8	22.9548 -99.7179	22	a	53	a
Vara dulce	*Eysenhardtia polystachya*	9	22.9729 -99.6147	2	c	8	cde

DDS: días después de la siembra. Literales diferentes (a, b, c, d, e) indican diferencias significativas (Tukey; α = 0.05).

En un estudio donde se evaluó la velocidad de germinación en Leucaena, se reportó que a los nueve días alcanza la máxima velocidad con 30 % de semillas germinadas, bajo escarificación de agua caliente a 80 °C (Sánchez-Gómez et al., 2018), caso contrario en lo que se encontró en el ecotipo 8 de *Acacia constricta*, la cual alcanzó 53 % a los 10 DDS (Cuadro 1), lo que permite deducir que tiene una mayor velocidad de germinación en comparación a Leucaena. Probablemente esto se debe a que la testa de la semilla es más delgada, permitiendo una rápida respuesta a la humedad, lo que se traduce en una mayor germinación. Respecto a lo anterior, se ha mencionado que existe una correlación negativa entre el grosor de la testa y la velocidad de imbibición, de manera que una cubierta seminal más gruesa limita la permeabilidad al agua y, en consecuencia, retrasa su absorción (Upretee et al., 2024). Sin embargo, menor grosor de testa implica una mayor susceptibilidad a daños físicos y menor protección contra la desecación en estas zonas con temperaturas altas, ya que con porcentajes de humedad de 2-5 % en la semilla se ve afectada la viabilidad (Doria, 2010).

Conclusión

El ecotipo 8 de *Acacia constricta* presentó la mayor germinación de hasta un 50 % a los 10 DDS, teniendo una mayor rapidez característica importante en las zonas semiáridas debido a la escasa precipitación. Asimismo, esto permite deducir que esta leguminosa se puede considerar en planes de rehabilitación en donde se pretenda eficientizar los tiempos y la mano de obra aprovechando de una manera más eficiente las lluvias de temporal.

Referencias

Alatorre-Hernández, A., Guerrero-Rodríguez, J.D., Olvera-Hernández, J.I., Aceves-Ruíz, E., & Vaquera-Huerta, H. (2018). Leguminosas forrajeras herbáceas de enredadera, recursos poco valorados en el trópico seco. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4), 403-411.

Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales,* 31(1), 74-85.

Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R.A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P.A., Gutiérrez-Luna, R., Garza-Cedillo, R.D., Luna-Luna, M., & Chávez-Ruiz, M.G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 12*(3), 261-285. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5528

Kebede, G., Assefa, G., Feyissa, F., & Alemayehu, M. (2016). Forage legumes in crop-livestock mixed farming systems: a review. *International Journal of Livestock Research*, 6(04),1-18. 10.5455/ijlr.20160317124049

Osorio-Giraldo, J.F., Calderón-Bedoya, V., López de Mesa, O., & Restrepo-Berrio, D. (2024). Importancia de la disponibilidad de alternativas forrajeras para la alimentación de ganado bovino. *Revista Politécnica*, 20(39),18-30. https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n39a2

Peréz, N., Mejía, J.R., & Meneses, D.H. (2024). Producción de especies forrajeras leguminosas en diferentes tiempos de corte en Tolima, Colombia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 15(6), e3462. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i6.3462

Sánchez-Cárdenas, S., Vázquez-Martínez, J.L., Domínguez-Ortega, D., Revueltas-Oramas, I., Wencomo-Cárdenas, H.B., Hernández-Mijangos, A.M., & Lascaiba-Espinosa, D. (2023). Efecto de la inoculación de las semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Witt cv. Cunningham con IHPLUS® BF en la etapa de vivero. *Pastos y Forrajes*, 46, e24.

Sánchez-Gómez, A., Rosendo-Ponce, A., Vargas-Romero, J.M., Rosales-Martínez, F., Platas-Rosado, D.E., & Becerril-Pérez, C.M. (2018). Energía germinativa en guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) con diferentes métodos de escarificación de la semilla. *Agrociencia*, 52, 863-874.

Smýkal, P., Vernoud, V., Blair, M.W., Soukup, A., & Thompson, R.D. (2014). The role of the testa during development and in establishment of dormancy of the legume seed. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1-19. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00351

Upretee, P., Bandara, M.S., & Tanino, K.K. (2024). The role of seed characteristics on water uptake preceding germination. *Seeds*, 3(4), 559-574. https://doi.org/10.3390/seeds3040038

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO SOBRE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE *Apis Mellifera* Y MIEL (1975-2025)

Horacio Vega Vega[1*], Blanca Isabel Sánchez Toledano[2], Gonzalo Abelino Torres[1], Marco Andrés López Santiago[1]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio Chihuahua km 40. 35230 Bermejillo, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Ctra. Zacatecas-Fresnillo, Calera de V.R., Zacatecas, México. [*]Autor de correspondencia: horaciovegaxd@gmail.com

Introducción

En los últimos años ha aumentado el interés por estudiar *Apis mellifera* y miel, debido a que estos temas se encuentran relacionados con problemas actuales como el cuidado del medio ambiente, la producción responsable de alimentos y la protección de la biodiversidad (González et al., 2020; Salgado & Beltrán, 2011). La *Apis mellifera*, conocida como abeja melífera, cumple un papel importante en la polinización, la cual es clave para los cultivos y los ecosistemas. Además, se ha empezado a ver como una especie que puede reflejar el estado de salud del ambiente (Evans, 2011; Barr et al., 2011). Por otro lado, la miel ha pasado de ser vista solo como un alimento a ser considerada también por sus beneficios nutricionales, médicos y hasta sociales (Wang et al., 2022; Martínez et al., 2017). Distintos estudios han mostrado que factores como el cambio climático, la pérdida de flores, el uso de pesticidas o una mala alimentación de las abejas pueden afectar su salud y también la calidad de la miel que producen (Choi & Kim, 2021; Sánchez & León, 2021; Rivera & Torres, 2021). Este estudio tiene como objetivo revisar cómo se han usado y entendido los conceptos *Apis Mellifera* y miel en estudios científicos publicados especialmente en bases de datos reconocidas como Scopus, ScienceDirect y Scielo. Con esta revisión se busca responder dos preguntas principales: ¿De qué manera se han definido y relacionado los conceptos *Apis Mellifera* y miel?, y ¿cómo ha cambiado esa relación a lo largo del tiempo?

Materiales y métodos

La cienciometría consiste en "la medición y el análisis cuantitativo de la producción científica, para investigar el desarrollo, estructura, dinámica, tendencias y relaciones de la práctica científica, entre otras oportunidades investigativas" (Cardona-Román y Sánchez-Torres, 2017: 10). El procedimiento metodológico descrito en este apartado consideró cinco fases del análisis cienciométrico propuesto por Michán y Muñoz-Velasco (2013): 1) recuperación, 2) migración, 3) análisis, 4) visualización y 5) interpretación. Se entiende por revisión sistemática una forma de investigación que recopila y proporciona un resumen sobre un tema específico (orientado a responder a una pregunta de investigación realizada de acuerdo con un diseño preestablecido) (Aguilera Eguía, 2014: 359). Durante el proceso de migración, se extrajo la información de los resultados obtenidos en cada una de las bases de datos, es importante aclarar que Scopus, Science Direct y Scielo permitieron exportar los resultados en Excel y en archivo RIS. En la fase de análisis se destacaron las principales tendencias de los resultados cuantitativos del proceso de revisión por base de datos y criterios de búsqueda. La fase de visualización se desarrolló utilizando un software especial de apoyo para mostrar claramente las agrupaciones de interés del estudio, en este caso se utilizó el VOSviewer 2021. Asimismo, la fase de interpretación correspondió al análisis conceptual y/o teórico del contenido de los documentos seleccionados. Ambas fases, visualización e interpretación, centradas en los significados y dimensiones de los conceptos *Apis Mellifera* y Miel, se complementaron con una segunda revisión, más detallada, de una muestra de documentos base seleccionados.

Resultados y discusión

La revisión inicial durante el periodo 1975 a 2025 arrojó un total de 451 documentos, los cuales constituyen el universo de estudio. Posteriormente, se seleccionaron 80 documentos para una revisión más detallada, de los cuales se eligieron 30 artículos para el análisis final, atendiendo a su pertinencia conceptual y científica.

Los resultados globales de la búsqueda dan cuenta de un interés creciente a través de los años por estudiar los conceptos *Apis Mellifera* y Miel. El análisis bibliométrico de las publicaciones reveló una tendencia creciente en la producción académica a partir de la década de 2000, con un repunte notable en Scopus a partir del año 2010 (Figura 1). En Scopus la producción mostró una aceleración significativa entre 2010 y 2015, alcanzando un primer pico en 2011 y en 2023. Por su parte, Scielo mostró un crecimiento moderado pero constante con un punto en 2019, mientras que Science Direct presentó un número muy reducido de publicaciones (Figura 1). En cuanto a la distribución temporal, es evidente que el auge en la producción científica coincide con una mayor visibilidad global de temas como la pérdida de biodiversidad, el colapso de colonias de abejas y el interés creciente por productos apícolas con valor terapéutico.

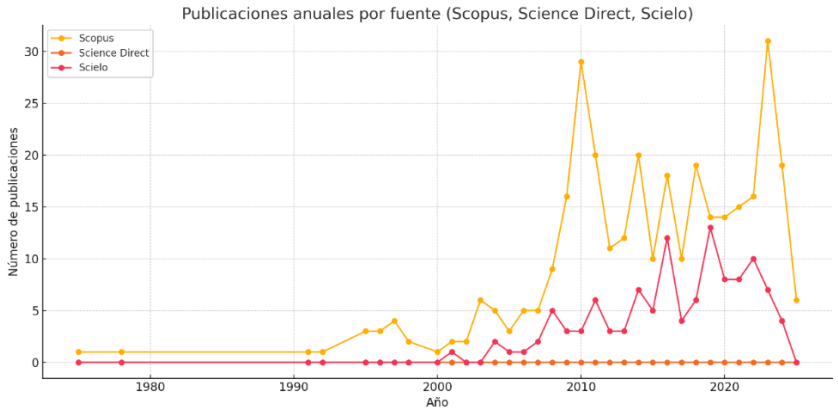


Figura 1. Comparativo de resultados obtenidos en las bases de datos (**Fuente:** elaboración propia).

Una vez concentrada la información de las tres bases de datos, se realizó el análisis de concurrencias de las palabras clave de los documentos. Tal proceso permitió identificar siete clústeres interrelacionados: 1) *Apis Mellifera* y miel, 2) Miel, polen y melisopalinología, 3) Propiedades bioquímicas y medicinales, 4) Enfoque biomédico y toxicológico, 5) Enfermedades fúngicas y microbiología, 6) Control biológico y hongos entomopatógenos y 7) Enfoque bibliográfico y general (Figura 2).

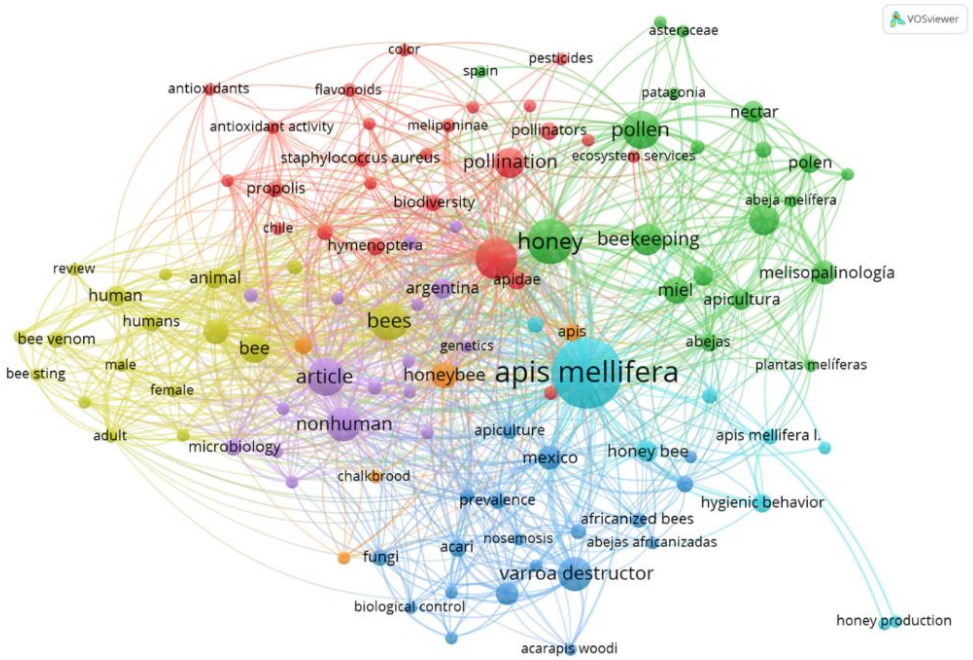


Figura 2. Mapa de Conceptos. (**Fuente:** elaboración propia)

Los documentos que cumplieron con los criterios de selección se publicaron entre 1975 y 2025. El 30.6 % corresponde a documentos publicados a partir del año 2020. En cuanto a la distribución temporal, se observó un pico de publicaciones en 2023, seguido por 2010, 2016 y 2019. A lo largo de la revisión se observó una estrecha relación entre los conceptos, especialmente en estudios que analizaron la salud de las abejas, la calidad de la miel, el impacto ambiental sobre la especie y la influencia de la alimentación en la producción.

En el estudio de Gómez et al. (2018) se planteó la relación directa entre la salud de *Apis Mellifera* y la calidad de la miel producida. Rivera y Torres (2021) analizaron la influencia del estado inmunológico de las abejas sobre la calidad sanitaria de la miel. Martínez et al. (2017) se centraron en la composición nutricional de la miel. Fernández et al. (2019) y Choi & Kim (2021) mostraron cómo los factores ambientales afectaron simultáneamente la salud de *Apis Mellifera* y la calidad de la miel. Navarro et al. (2016) y Sánchez & León (2021) destacaron el papel de la alimentación en la colmena. Finalmente, algunos estudios hicieron un uso más general o no específico de ambos conceptos (Romero, 2022).

El análisis de los conceptos *Apis Mellifera* y miel evidenció una evolución significativa. En los primeros trabajos predominaron enfoques centrados en la biología y la productividad de la miel. Investigaciones más recientes incorporaron nuevas dimensiones relacionadas con la sanidad de las abejas, los efectos del entorno ambiental, la nutrición apícola e incluso las propiedades terapéuticas de la miel. Es notoria una transición en los estudios, que pasó de un enfoque centrado en la producción a uno más complejo que integró sanidad apícola, calidad del producto y condiciones ambientales.

En cuanto al papel de *Apis Mellifera*, se observó una evolución desde un rol técnico-productivo hacia una visión que la consideró como bioindicador y agente clave en la sostenibilidad del ecosistema apícola. Se advierte entonces una concepción de apicultura sustentable que reconoce la interdependencia entre la salud de la abeja, la calidad de la miel y el equilibrio ambiental, lo cual redefine el campo apícola desde una mirada integradora.

Conclusiones

La revisión realizada permitió identificar cómo los conceptos *Apis Mellifera* y miel han sido abordados de forma conjunta en distintos estudios científicos, mostrando una evolución importante en el enfoque de los investigadores. Una de las principales observaciones fue que, si bien la salud de las abejas y la calidad de la miel han sido temas tratados desde hace tiempo, en los últimos años se ha hecho más evidente la necesidad de estudiar ambos aspectos de manera integrada. También se hizo visible que la literatura más reciente tiende a considerar a *Apis Mellifera* no solo como una especie productora, sino como un indicador importante del estado de los ecosistemas. Este tipo de análisis permitió comprender que el campo de la apicultura está atravesando un cambio de paradigma. Finalmente, aunque el análisis presentado ofrece un panorama general, aún queda espacio para explorar más a fondo temas como la apicultura urbana, las políticas públicas en torno al cuidado de los polinizadores o el impacto cultural de la miel en distintas regiones.

Referencias

Barr, C. J., Gilg, I. C., & Shaw, J. S. (2011). The influence of environmental factors on honeybee populations. Journal of Apicultural Research, 50(3), 243–250.

Cardona-Román, J., & Sánchez-Torres, J. A. (2017). Cienciometría y análisis de la producción científica: Una revisión conceptual. Revista Interamericana de Bibliotecología, 40(1), 9–25.

Choi, Y. S., & Kim, J. H. (2021). Climate change effects on Apis mellifera and honey composition: A global review. Environmental Research, 200(4), 111–120.

Delgado, R., & Pérez, M. (2020). Propiedades nutricionales de la miel en zonas rurales de América Latina. Revista Chilena de Nutrición, 47(2), 160–167.

Duarte, L., Gómez, M., & Ramírez, J. (2015). Apicultura en transición: Un estudio descriptivo en el sur de México. Ciencia Apícola, 23(1), 45–53.

Evans, J. D. (2011). A health perspective on honey bee colonies. Current Opinion in Insect Science, 3, 14–20.

Fernández, M., Torres, L., & Ríos, D. (2019). Impactos del cambio climático sobre la apicultura en ecosistemas diversos. Revista de Ciencias Ambientales, 53(4), 255–270.

Gómez, J., Ramírez, P., & Salas, A. (2018). Relación entre salud de las abejas y calidad de la miel en ambientes tropicales. Agroecología y Desarrollo Rural, 15(2), 112–120.

González, L., Morales, C., & Suárez, A. (2020). La miel como alimento funcional: Perspectivas desde la apicultura sustentable. Revista Colombiana de Biotecnología, 22(1), 77–88.

Martínez, A., Rodríguez, S., & Mejía, D. (2017). Composición nutricional de mieles multiflorales en zonas templadas. Revista Española de Nutrición, 32(3), 210–218.

Michán, L., & Muñoz-Velasco, P. (2013). Análisis cienciométrico: Herramientas y fases para evaluar la ciencia. Cuadernos de Información y Comunicación, 18, 91–106.

Navarro, J., Herrera, M., & Lugo, S. (2016). Nutrición artificial en colmenas de Apis mellifera y su efecto en la producción de miel. Investigación Apícola, 19(2), 98–104.

Rivera, P., & Torres, B. (2021). Calidad sanitaria de la miel en función del estado inmunológico de Apis mellifera. Ciencia Apícola, 29(1), 88–97.

Romero, E. (2022). Panorama general de la producción de miel en América del Sur. Revista Apícola Suramericana, 12(3), 70–81.

Salgado, M., & Beltrán, L. (2011). Apicultura sustentable y comunidades rurales: Diagnóstico desde la agroecología. Revista Agricultura y Sociedad, 24(3), 133–149.

Salgado, M., & Beltrán, L. (2023). Hacia una apicultura integradora: Retos y perspectivas. Agroecología Hoy, 9(1), 25–38.

Sánchez, F., & León, C. (2021). Efecto del alimento artificial en la calidad de miel y salud de Apis mellifera. Revista Científica de Apicultura, 16(2), 55–63.

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, 84(2), 523–538.

Wang, Y., Lin, X., & Chen, Z. (2022). Propiedades terapéuticas de la miel: Un análisis desde la perspectiva biomédica. International Journal of Food Properties, 25(1), 131–142.

Zhang, Q., Li, J., & Zhou, M. (2018). Overview of honeybee research in Latin America. Global Apiculture Studies, 10(4), 212–224.

LA HIGUERA (*Ficus carica* L.): CULTIVO ALTERNATIVO PARA LAS ZONAS ÁRIDAS DEL NORTE DE MEXICO, CON ALTO POTENCIAL PARA EL MERCADO NACIONAL Y DE EXPORTACIÓN

Hilario Macías Rodríguez*, José Alberto Urrieta Velázquez, Sergio Iván Jiménez Jiménez

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Margen derecha canal Sacramento Km 6 + 500, Gómez Palacio, Durango. *Autor de correspondencia: macias.hilario@inifap.gob.mx

Introducción

El higo naturalizado en México desde su introducción por los Jesuitas hace 400 años, tiene alta capacidad nutritiva en términos de vitaminas, minerales, carbohidratos, proteínas y fibra dietética, y su calidad nutracéutica está fundamentada en su alto contenido de fenoles, antocianinas y benzaldehído que mejoran la calidad de vida y previenen enfermedades crónico degenerativas como el cáncer (Urrieta., et al, 2022). En este contexto, el cultivo de higuera se está incrementando gracias a que también es una buena alternativa económica para el sector rural y tiene alta demanda en el mercado nacional como en el de exportación, tanto en higo fresco como en pasta y sus derivados. Los mercados norteamericano y de Canadá demandan en conjunto anualmente más de 50 mil toneladas entre higo fresco y pasta de higo. Este cultivo se está incrementando en la Región Lagunera de Coahuila y Durango. A partir del año 2011 se inició su manejo con altas densidades de plantación, de mil a 3 mil plantas por hectárea. En el periodo del 2012 al 2023, el INIFAP ha desarrollado tecnología a través de investigación en las siguientes etapas del cultivo: multiplicación intensiva de planta (Macías., et al 2016; Urrieta., et al 2025), manejo de altas densidades con podas estratégicas (Macías., et al 2018), requerimientos hídricos (Rivera., et al 2016), fertilización y manejo integral de plagas y enfermedades (Urrieta., et al 2022). En el presente artículo se hace una reseña de las tecnologías referidas.

Materiales y métodos

En el año 2011, en la Región Lagunera de Coahuila y Durango se empezaron a establecer las primeras plantaciones de higuera, de higo negro variedad Black mission, con altas densidades y ante los vacíos de conocimiento sobre este cultivo, se solicitó la participación del INIFAP, empezando su acompañamiento técnico con evaluaciones experimentales de todas las etapas de su cultivo, durante el periodo del 2012 hasta el 2023, generando, validando y transfiriendo tecnología a través de productores cooperantes del Ejido 5 de Mayo y P.P. Poanas del Municipio de Gómez Palacio, Dgo., y la P.P La Victoria del municipio de Parras, Coah.

Propagación vegetativa a través de vareta y acodo aéreo. Se realizaron evaluaciones experimentales de propagación vegetativa a través de vareta y acodo aéreo. La propagación de vareta se realizó a yema dormida, en febrero del 2012 y 2013, utilizando varetas de 25 centímetros, se desinfectaron con fungicida y se utilizó un enraizdor comercial, se utilizaron contenedores de polietileno negro de 4 litros y un sustrato a base de arena con perlita en proporciones de 50%. La propagación por acodo aéreo se llevó a cabo en higueras de 5 años de establecidas, se evaluaron siete enraizadores comerciales en las estaciones de primavera y verano, utilizando turba, papel aluminio y cinta canela.

Densidades de plantación y poda. Se evaluaron 3 densidades de plantación: mil, 2 mil y 3 mil plantas por hectárea. Estas densidades de plantación se manejaron con 3 niveles de poda, poda a 2 entrenudos; a 4 entrenudos y a 6 entrenudos.

Poda estratégica para ciclos largos de producción con alto rendimiento en higueras adultas. A partir del cuarto año de plantación la poda de invierno a 2 entrenudos se complementó con una poda subsecuente en crecimiento activo para evaluar rendimiento.

Requerimientos hídricos. Con respecto a esta variable, el manejo del cultivo requiere el uso de riego, especialmente por goteo, para un uso eficiente del agua, y no es recomendable para agricultura de temporal debido a las bajas precipitaciones en la zona de estudio. En este sentido, el lote de producción comercial de higo en el que se realizaron las evaluaciones de requerimientos de riego (RR) cuenta con un sistema de riego por goteo con un emisor por planta, el gasto del emisor es de 4 lph, lo cual equivale a una lámina horaria de 2.60 mm/hr en un diámetro de humedecimiento de 1.4 m. Se obtuvieron valores históricos de evapotranspiración de referencia (ET_0) de una estación meteorológica Davis instalada en el propio lote de producción, en enero del 2021. Los coeficientes de cultivo para los tres primeros años se obtuvieron del paquete tecnológico de higuera desarrollado por el INIFAP (2020–2022). Para higueras con más de tres años, cuando alcanzan su máximo desarrollo, se adoptaron los coeficientes de cultivo recomendados en la FAO-56 (Allen et al., 1998) para especies de la familia de la higuera, con un valor de 1.05.

Fertilización. Se realizaron análisis de fertilidad del suelo para implementar la transferencia de tecnología desarrollada por el INIFAP, considerando la demanda nutrimental del cultivo para cada etapa fenológica.

Manejo integrado de plagas y enfermedades. Se monitoreo el cultivo de higuera en las diferentes etapas del cultivo para evaluar la incidencia de las diferentes plagas y enfermedades.

Resultados y discusión

Propagación. Las evaluaciones experimentales con vareta mostraron que este método de propagación no es viable por la presencia de un complejo de hongos de los géneros Rhizopus, Penicillium, Azospirillum y Phytophthora, teniendo sólo un 15% de brotación y enraizamiento. La propagación experimental a través de acodo aéreo fue la más promisoria para La Región Lagunera, ya que con esta técnica se logró enraizar las ramas acodadas en un periodo de 42 días, se evaluaron 7 enraizadores comerciales en el periodo de primavera y verano (de abril a julio). El enraizador comercial Radix con gel natural de sábila fue el mejor promotor de raíz en cantidad y calidad, tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Acodos con Radix y gel de sábila obtenidos en 42 días.

Densidades de plantación y poda para producción inicial. Para las tres densidades de plantación de mil, 2 mil y 3 mil plantas en los primeros tres años de establecidas, la poda de ramas se implementó en enero, a yema dormida a 4 y 6 entrenudos, dependiendo del vigor de la planta, dejando un total de 4 a 6 ramas para formar un banco de producción en forma de copa. Con este manejo, y estableciendo planta de acodo aéreo, se obtuvieron rendimientos en los primeros 3 años de 5, 10 y 16 toneladas de higo fresco por hectárea, respectivamente.

Poda estratégica para ciclos largos de producción. A partir del cuarto año, a las higueras se les implemento la poda a yema dormida a 2 entrenudos y una poda subsecuente en crecimiento activo, podando los nuevos brotes a 8 entrenudos, con higos ya bien diferenciados, con este manejo se logró tener un ciclo largo de producción, con rendimiento de 20 toneladas de higo fresco por hectárea. Este es el manejo que se le dio a las higueras adultas en los años subsecuentes, dejando un promedio de 14 ramas en el banco de producción. En las figuras 2 y 3 se muestran las podas de higueras de 2 y 5 años de plantación. En este contexto, se han cumplido las demandas de producción por parte de las compañías que distribuyen el higo regional para el mercado nacional y de exportación, como es el caso de FRESHKAMPO, SWEET SEASON y CATANIA.

Figura 2. Poda en higuera de 2 años

Figura 3. Poda de higuera de 4 años

Requerimientos hídricos. De acuerdo a estos valores de ET_0, se pudo conocer que, para los primeros dos años, el cultivo requiere entre 3.9 y 7 l/planta/día, donde el valor de RR depende de la época del año; mientras que, para la Higuera de 3 años requiere entre 6.7 y 11.7 l/planta/día, lo que equivale a un tiempo de riego menor a 3 horas, mostrados en Cuadro 1. Los valores más altos de RR se encuentran en los meses en que mayor precipitación existe en la zona, sin embargo, estas precipitaciones se suelen presentar en muy pocos eventos, lo cual no se considera dentro del balance de riego.

Cuadro 1. Requerimiento de riego de la higuera en el lote de producción comercial.

Mes	ET_0 promedio (mm/día)	Precipitación (mm/mes)	1-2 años				3 Años			
			Kc	ETc (mm/dia)	RR (litros)	RR (hr)	Kc	ETc (mm/dia)	RR (litros)	RR (hr)
Enero	7.10	0								
Febrero	5.53	0	0.44	2.43	3.94	0.99	0.75	4.15	6.72	1.68
Marzo	7.11	0	0.44	3.13	5.07	1.27	0.75	5.33	8.64	2.16
Abril	8.20	1.6	0.44	3.61	5.85	1.46	0.75	6.15	9.97	2.49
Mayo	9.25	31.6	0.44	4.07	6.60	1.65	0.75	6.94	11.24	2.81
Junio	9.65	14.7	0.44	4.25	6.88	1.72	0.75	7.24	11.73	2.93
Julio	9.00	26.9	0.44	3.96	6.42	1.60	0.75	6.75	10.94	2.73
Agosto	8.55	21.4	0.44	3.76	6.10	1.52	0.75	6.41	10.39	2.60
Septiembre	7.20	0	0.44	3.17	5.13	1.28	0.75	5.40	8.75	2.19
Octubre	7.80	15.8	0.44	3.43	5.56	1.39	0.75	5.85	9.48	2.37
Noviembre	6.30	0	0.44	2.77	4.49	1.12	0.75	4.73	7.66	1.91
Diciembre	6.80	0								

En el caso de las higueras con más de tres años, los resultados se presentan en el Cuadro 1, donde se observa que los valores estimados son cercanos a 18 L/planta. Aunque los valores de ETc puedan parecer elevados, al convertirlos a láminas por hectárea se observa que no lo son; al tratarse de un sistema de riego por goteo, no se moja toda la superficie del suelo como en un sistema por inundación, por lo que la lámina bruta sería de 694 mm por ciclo. Estos valores son menores si se comparan con cultivos como el nogal, que pueden presentar valores superiores a 750 mm por ciclo de lámina neta (Sifuentes et al., 2015).

Cuadro 2. Requerimientos hídricos de higueras con más de tres años de edad en el sitio de estudio, estimados con el modelo CropWat (Smith, 1992).

Mes	Decena	Kc	ETc (mm/dia)	RR (litros)	Riego (Hr)	Mes	Decena	Kc	ETc (mm/día)	RR (litros)
Feb	1	1.05				Jul	1	1.13	10.43	16.90
Feb	2	1.05				Jul	2	1.13	10.18	16.50
Feb	3	1.06	6.13	9.93	2.26	Jul	3	1.13	10.01	16.22
Mar	1	1.08	7.09	11.49	2.61	Ago	1	1.13	9.92	16.07
Mar	2	1.1	7.8	12.64	2.87	Ago	2	1.13	9.79	15.86
Mar	3	1.12	8.36	13.55	3.08	Ago	3	1.13	9.24	14.97
Abr	1	1.13	8.87	14.37	3.27	Sep	1	1.13	8.5	13.77
Abr	2	1.13	9.28	15.04	3.42	Sep	2	1.13	7.92	12.83
Abr	3	1.13	9.67	15.67	3.56	Sep	3	1.13	8.22	13.32
May	1	1.13	10.07	16.32	3.71	Octubre	1	1.13	8.75	14.18
May	2	1.13	10.46	16.95	3.85	Octubre	2	1.13	9.05	14.66
May	3	1.13	10.61	17.19	3.91	Octubre	3	1.13	8.41	13.63
Jun	1	1.13	10.84	17.57	3.99	Noviembre	1	1.13	7.54	12.22
Jun	2	1.13	11.03	17.87	4.06	Noviembre				
Jun	3	1.13	10.75	17.42	3.96	Noviembre				

Fertilización. En el Cuadro 3 se muestran las dosis de producto comercial requeridos por etapa de crecimiento del cultivo de higuera.

Cuadro 3. Fertilización de la higuera por hectárea.

Fertilizante	Brotación	Fructificación	Producción
Fosfáto monopotásico	2 kg/semana	3 kg/semana	5 kg/semana
Urea-Amonio-Nitrato (32%)	4 L/mes	3 L/mes	2 L/mes
Sulfato de magnesio	2 kg/ha	4 kg/mes	3 kg/mes
Micronutrimentos quelatados	0.5 Kg/mes	1 Kg/mes	1 kg/mes
Ácidos húmicos y fúlvicos	0.2 kg/semana	0.3 kg/semana	0.3 kg/semana

Manejo integrado de plagas y enfermedades. Dentro de las plagas más importantes destaca la mosca negra (*Silba adipata*), que parasita frutos pequeños con huevecillos y al eclosionar las larvas se alimentan de la pulpa formando galerías en el sicono. Una vez adultas, salen del fruto para pupar en el suelo dejando un orificio en el fruto (Figura 4c). Algunas larvas quedan atrapadas en el intento de salir y mueren, y algunas pupan dentro de los frutos (Figura 4a). Todos estos daños ocasionan que el fruto tome su coloración de maduración y cae prematuramente (Figura 4c), observándose frutos pequeños debajo de las higueras afectadas.

Figura 4. Mosca del higo negro (*Silba adipata*): daño en fruto (c), larva (b), pupa (a) y adulto (d). Este insecto se previene y controla con el hongo benéfico *Beuberia bassiana.*

Es común la pérdida de higueras por *Fusarium*, en cuyo caso es necesario prevenir inoculando las raíces y sustrato o el suelo de la cepa con microorganismos como *Trichoderma* y *Bacillus subtilis*

Conclusiones

El cultivo de higuera es una alternativa viable para los estados de las zonas áridas del norte de México, con alta demanda para el mercado nacional y de exportación.
Es una alternativa atractiva a los cultivos más demandantes de agua, como los forrajes.

Referencias

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO*.

Macías, R. H., J. A. Muñoz V., M. Rivera G., G. Delgado R., Ma. del R. Jacobo S. (2016). Determinación de las mejores épocas para la propagación de higuera a través de acodo aéreo en la Región Lagunera. Revista AGROFAZ. Edición especial. Publicación semestral de investigación científica Vol. 16, Núm. 2 Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Dgo., México. Diciembre 2016. pp 51-62.

Macías R. H., M. Rivera G., J. A. Muñoz V., M. Rivera G., Ma. M. Villa C., L. Rodríguez G. (2018). Secuencia de podas estratégicas en el cultivo de higuera (*Ficus carica* L.) con altas densidades de plantación en la Región Lagunera. Revista AGROFAZ. Edición especial INIFAP CENID RASPA. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Dgo., México. Diciembre 2018. pp 37-45.

Rivera G. M., G. Delgado R., H. Macías R**.,** Muñoz V. J. A. (2016). Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de higuera en riego por goteo y alta población. Revista AGROFAZ. Edición especial. Publicación semestral de investigación científica Vol. 16, Núm. 2 Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Dgo., México. Diciembre 2016. pp 105-112.

Smith, M. (1992). CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage Paper 46*.

Urrieta V. J. A., H. Macías R., S. Iván J. J., J. A. Muñoz V., M. Rivera G. (2022). PAQUETE TECNOLOGICO PARA EL CULTIVO DE HIGUERA EN EL ESTADO DE COAHUILA. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Dgo. Diciembre 2022. 31p.

Urrieta V. J. A., H. Macías R., S. Iván J. J. (2025). Acodo aéreo en higuera: técnica rápida para la propagación. Revista AGROFAZ. Publicación semestral de investigación científica Vol. 7, Núm. 1 Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Dgo., México. Agosto 2025. pp 25-30.

DIVERSIDAD Y RIQUEZA DE ARVENSES EN PLANTACIONES COMERCIALES DE MAGUEY EN EL ESTADO DE DURANGO

Leslie Carnero Avilés[1*], Julio César Ríos Saucedo[1], Saúl Santana Espinoza[2], Rigoberto Rosales Serna[1], Donaji Sierra Zurita[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana, ctra. Durango - El Mezquital, km 4.5, Durango, Dgo., México. C. P. 34170. [2]INIFAP - Campo Experimental La Laguna, Blvd. José Santos Valdéz 1200 Pte. Matamoros, Coah., México. C. P. 27440. *Autora para correspondencia: carnero.lesli@inifap.gob.mx

Introducción

En Durango, el cultivo de maguey se ha convertido en una opción productiva importante en terrenos con degradación físico-química y lotes en descanso, donde es difícil producir otros cultivos agrícolas. El incremento de las plantaciones se ha relacionado con la demanda creciente que han tenido los destilados alcohólicos, denominados mezcal, que se obtienen a partir del maguey cenizo (*Agave duranguensis*), tepemete (*A*. *angustifolia*) e I´gok (*A*. *americana*). Por ello, se iniciaron programas de plantaciones comerciales de diferentes especies de maguey en suelos agrícolas, con la finalidad de avanzar hacia la sostenibilidad productiva. Uno de los problemas agronómicos que enfrenta la producción comercial de maguey, es la dificultad para el control de arvenses (plantas voluntarias) de varias especies, conocidas como maleza. La maleza puede ocasionar daños severos a la planta, debido a la competencia directa por agua, nutrientes, espacio y luz, además de favorecer la incidencia de patógenos e insectos plaga, que retrasan el crecimiento y reducen la calidad de los tallos (piñas) obtenidos en plantaciones comerciales (Woyessa, 2022) de maguey.

Las arvenses, que crecen principalmente durante el verano, muestran agresividad mayor, debido a que coincide con la disponibilidad alta de agua de lluvia y temperaturas favorables para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de las especies vegetales. La maleza de invierno, es menos diversa y abundante debido a las temperaturas bajas y la disponibilidad reducida de agua. Se ha generado la diferenciación de la maleza con base en la morfología foliar, por lo que se tienen las categorías de hoja angosta y hoja ancha. La maleza de hoja delgada, incluye principalmente a los zacates pertenecientes a la familia Poaceae (gramíneas). La maleza de hoja ancha, muestra un nivel alto de diversidad y en maguey se manifiestan como plantas herbáceas y semileñosas, con hojas anchas de diferente forma y tamaño (Salamanca-Camacho y Medina-Ocegueda, 2007). Los pastos muestran predominancia en las plantaciones comerciales de maguey, debido a que una buena parte de los terrenos utilizados para este fin, se encuentran en el ecosistema de pastizal.

Las plantaciones de maguey requieren la optimización del proceso de manejo agronómico, lo que hace necesario aplicar un manejo integrado de la maleza. El control químico requiere la selección específica del producto, con base en el tipo de maleza predominante y condiciones meteorológicas imperantes durante la estación de crecimiento en Durango. Además, se podrán implementar otras acciones de control relacionadas con el manejo agroecológico de la producción agroindustrial de esta entidad (Rubio-Cortez, 2019). El objetivo fue evaluar la diversidad y riqueza de arvenses en las plantaciones comerciales de maguey (*Agave durangensis* y *A*. *americana*) en el estado de Durango.

Materiales y métodos

En septiembre de 2025, se realizó el análisis estructural de la comunidad arvense en las plantaciones comerciales de maguey cenizo (*Agave durangense*) e I´gok (*A. americana*) del municipio de Durango. Se utilizaron plantaciones mixtas, con plantas remanentes de plantaciones anteriores y replantadas en agosto de 2025 (INIFAP-Durango) y una plantación nueva, establecida en 2025 en el CBTa 3 (Centro de Bachilleraro Tecnológico Agropecuario) (Figura 1).

Figura 1. Ubicación de las plantaciones de maguey estudiadas con presencia de arvenses.

La maleza se dejó crecer libremente aprovechando la abundancia de lluvias registradas en el ciclo primavera-verano de 2025. En cada plantación, se realizó un muestreo aleatorio en 22 cuadrantes de 0.25 m^2 cada uno, cubriendo un Área Total Muestreada (ATM) de 5.5 m^2 (Figura 2). Para cada unidad se registró la abundancia (n*i*), presencia (ncuad) y cobertura (C*i*, estimada visualmente), con el fin de calcular la estructura comunitaria mediante el Índice de Valor de Importancia (IVI) (Curtis y McIntosh, 1951). La Densidad Absoluta (DA*i*) se estandarizó al número total de individuos/m^2 al multiplicar n*i* por cuatro y dividir por el número total de cuadrantes (M):

$$\mathbf{DA}_i\ (\mathrm{ind./m^2}) = \frac{\sum(\mathbf{n}_i \times 4)}{\mathbf{M}}$$

Donde: DA*i*= Densidad Absoluta de la especie i , n*i*= Número de individuos de la especie i, M= Número total de cuadrantes muestreados.

Posteriormente, el Índice de Valor de Importancia (IVI) fue calculado mediante la sumatoria de sus tres componentes relativos (Densidad Relativa, Frecuencia Relativa y Dominancia Relativa). Para finalmente cuantificar la Diversidad mediante la Riqueza de Especies (S) y el Índice de Shannon-Wiener (H′), calculado a partir de las proporciones de individuos (pi) (Shannon, 1948):

$$H' = -\sum_{i=1}^{S}(p_i \cdot \ln p_i)$$

Donde: *H′*= Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, *S*= Riqueza de especies (número total de especies), *pi*= Proporción de individuos de la especie i (n*i*/N), ln= Logaritmo natural.

Figura 2. Cuadrantes utilizados para el levantamiento de datos cuantitativos de las especies de arvenses asociadas a las plantaciones de maguey en el Valle del Guadiana, Durango.

Resultados y discusión

Se identificaron 11 especies de arvenses asociadas al cultivo de maguey; las cuales, fueron identificadas como zacate taza (*Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth), pasto pangola (*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler), y zacate agrarista (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) las cuales son especies de maleza ampliamente conocidas en el Valle del Guadiana, en Durango. Se encuentran también el pasto amorseco llorón (*Eragrostis lugens* Nees) y zacate llorón (*Eragrostis mexicana* (Hornem.) Link). Otras malezas comunes incluyeron el quelite (*Amaranthus hybridus* L.), hierba de la golondrina (*Euphorbia prostrata* Aiton), el pasto barbas de indio (*Chloris virgata* Sw.), Zacate pinto (*Eriochloa acuminata* (J. Presl) Kunth), verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y hierba tronadora (*Crotalaria pumila* Ortega).

Se observó la predominancia de las especies gramíneas en la comunidad de arvenses que colonizan las plantaciones comerciales de maguey cenizo e i'gok en Durango. El zacate taza (*Eriochloa villosa*) fue la especie más importante, presentando el valor más alto para el Índice de Valor de Importancia (IVI) de 93.6. Este alto valor se debe principalmente a los valores altos para la Densidad Relativa (42.9%) y Frecuencia Relativa (20.8%), lo que se relacionó con el número alto de especímenes y distribución uniformemente en las dos plantaciones bajo estudio.

La presencia alta de esta especie, se relaciona con la producción de múltiples tallos y espigas, capacidad para desarrollar estolones y capacidad de reiniciar el crecimiento después cortarlo durante el deshierbe en suelos húmedos. El zacate pinto (*Eriochloa acuminata*) siguió en importancia con un IVI de 72.3. Esta especie destacó por la mayor Dominancia Relativa (35.1%), sugiriendo la máxima cobertura vegetal y por registrar la Frecuencia Relativa más alta (24.5%). Lo anterior, se relacionó por la facilidad de dispersión de sus semillas (viento y agua), así como el crecimiento rizomatoso. El zacate agrarista (*Cynodon dactylon*) fue la tercera especie más importante, con un IVI de 62.0.

La prolificidad de las plantas, facilidad de dispersión de las semillas y capacidad de desarrollar crecimiento rizomatoso favoreció a las gramíneas durante la colonización de plantaciones comerciales de maguey.

Cuadro 1. Evaluación de riqueza y diversidad de arvenses asociadas al cultivo de maguey en el Valle del Guadiana. Durango, Dgo.

Especie	Densidad Absoluta	Densidad Relativa (%)	Frecuencia Relativa (%)	Dominancia Relativa (%)	Índice de Valor de Importancia
Zacate taza	0.50	42.9	20.8	29.9	93.6
Zacate pinto	0.59	12.7	24.5	35.1	72.3
Zacate agrarista	0.41	26.4	17.0	18.7	62.0
Zacate pangola	0.23	1.9	9.4	5.3	16.7
Amorseco llorón	0.14	3.7	5.7	5.8	15.1
Golondrina	0.05	5.5	1.9	2.1	9.5
Barbas de indio	0.09	2.5	3.8	1.5	7.7
Verdolaga	0.09	2.9	3.8	0.5	7.1
Zacate llorón	0.14	0.6	5.7	0.8	7.1
Quelite	0.14	0.7	5.7	0.2	6.6
Tronadora	0.05	0.3	1.9	0.1	2.3
TOTAL	8.55	100.0	100.0	100.0	**1.6**

Las especies de hoja ancha mostraron menor nivel de colonización en las plantaciones de maguey en Durango. Entre éstas sobresalió la hierba de la golondrina, verdolaga, quelite y tronadora con valores de IVI entre 2.3 y 9.5. Lo anterior, se relacionó con el control químico realizado en ciclos anteriores (INIFAP-CEVAG-Durango), Dominancia Relativa baja en 2025 y con el porte bajo de las plantas en algunas especies (tronadora).

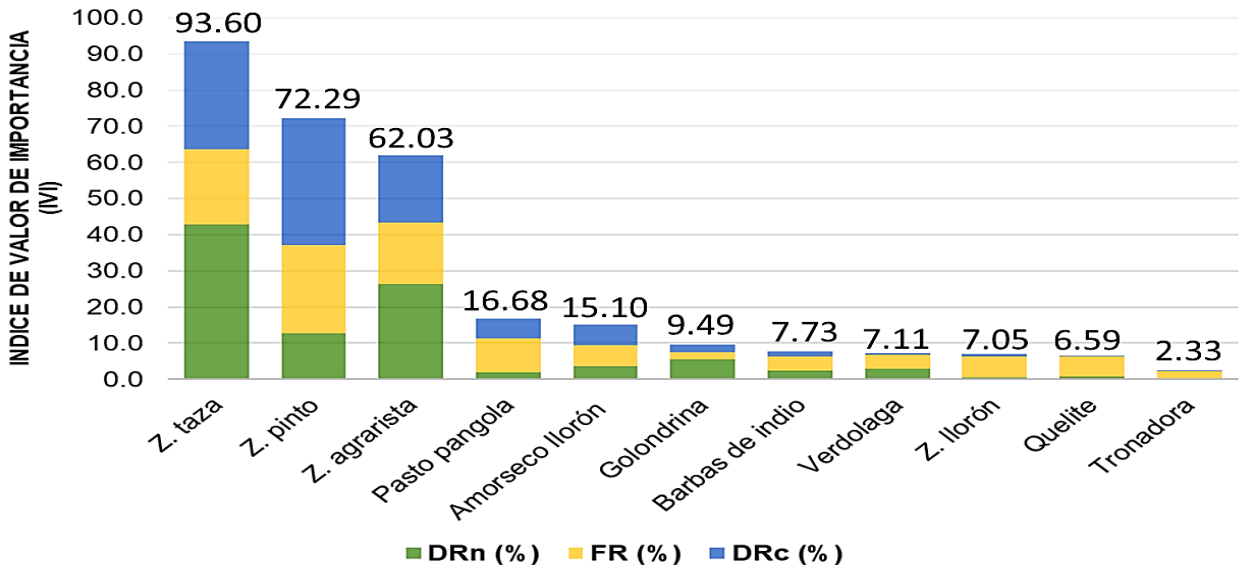


Figura 3. Índice de Valor de Importancia (IVI) por especie y la contribución porcentual de sus tres componentes (Densidad, Frecuencia y Dominancia Relativa) en el agroecosistema de maguey en el Valle de Guadiana, Durango.

Conclusiones

La comunidad de arvenses asociadas al cultivo de maguey (*A*. *durangensis* y *A*. *americana*) está dominada por especies gramíneas, lo que representa el principal desafío de manejo agronómico. Las malezas con presencia alta en las plantaciones comerciales de maguey son *E*. *villosa*, *E*. *acuminata* y *C*. *dactylon*, ya que concentran la proporción más alta del Índice de Valor de Importancia (IVI). *E. villosa* fue la especie más relevante en términos de densidad de individuos, mientras que *E. acuminata* ejerce la mayor competencia por cobertura (dominancia). Ambas especies también registraron las Frecuencias Relativas más altas, confirmando que su impacto es significativo no solo en tamaño y número, sino también por su presencia uniforme en el área. En contraste, *E. prostrata* (tronadora) presentaron amplitud reducida del dosel y los valores de IVI más bajos. Sin embargo, su presencia constante (alta Frecuencia) indica que las semillas están ampliamente distribuidas en el suelo, lo que podría representar un riesgo de incremento poblacional en los ciclos posteriores. Situación similar, puede mencionarse para el quelite y verdolaga.

Referencias

Curtis, J.T., and McIntosh R.P. (1950). The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. Ecology 31(3): 434–455.

Rubio-Cortés, R. (2019). Control de maleza en el cultivo del *Agave*. Disponible en: https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/control-maleza-cultivo-agave. Consultado en línea 29/07/2022.

Salamanca-Camacho, M. y Medina-Ocegueda S. (2007). Manejo de la maleza en plantaciones de *Agave* tequilero. *In*: Pérez D., J.F. y J.I. del Real L. (eds.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Libro Técnico Núm. 4. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal., México. p. 117-134.

Shannon, C. E., and W. Weaver. (1949). The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Urbana, IL, EEUU. 144 p.

Woyessa, D. (2022). Weed control methods used in agriculture. American Journal of Life Science and Innovation 1(1): 19-26.

ÁREA POTENCIAL PARA EL AVANCE DEL PICUDO DEL EJOTE EN ÁREAS PRODUCTORAS DE FRIJOL EN DURANGO

Leslie Carnero Avilés[1*], Rigoberto Rosales Serna[1], Saúl Santana-Espinoza[2], Donaji Sierra Zurita[1], Pablo Alfredo Domínguez-Martínez[1], Jorge Alonso Maldonado Jaquez[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana, ctra. Durango - El Mezquital, km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdéz 1200 Pte. Matamoros, Coah., México. C. P. 27440.*Autora para correspondencia: carnero.lesli@inifap.gob.mx

Introducción

El picudo del ejote (*Trichapion* spp., antes *Apion godmani* y *A*. *aurchalceum*) es una de las plagas con efectos directos sobre la productividad y calidad del grano de frijol (*Phaseolus vulgaris*), que es el producto principal de este cultivo básico en México. En Durango, se han reportado daños superiores a 60% de las vainas, con un número variable de granos dañados en cada una de las vainas (Garza, 1991), lo que reduce significativamente el rendimiento. Las especies de picudo del ejote, *T*. *godmani* y *T*. *aurichalceum*, causaron daños en vainas y semillas de plantas silvestres de diferentes especies del género *Phaseolus* (Acosta y Hernández, 1989). La interrelación observada entre el picudo y las plantas de frijol sugieren co-evolución del insecto, el cual, depende de la presencia de las plantas de diferentes especies del género *Phaseolus* para su supervivencia. El picudo del ejote se encuentra en áreas donde existe frijol silvestre, para diferentes especies, lo que asegura la presencia de hospederos durante el periodo de lluvias, que corresponde al ciclo primavera-verano del frijol cultivado.

En los últimos años se ha incrementado el daño ocasionado por el picudo del ejote en siembras de frijol establecidas en Durango, principalmente en los Valles de Canatlán, Valle del Guadiana y algunas áreas del Valle de Poanas. El área de presencia del insecto plaga se relaciona principalmente con sitios frescos de las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, con altitud superior a 1,800 m. En algunas parcelas sin el control del insecto-plaga, se han detectado daños considerables superiores a 80% de las vainas y granos, que hacen inviable la cosecha desde el punto de vista económico. En la actualidad se utiliza predominantemente el control químico, mediante el uso de los productos spinetoram (baja toxicidad) y dimetoato (moderadamente tóxico), aunque se ha incrementado el número de aplicaciones (5-6) dependiendo del periodo de residualidad del producto (7 a 14 días) y el ciclo biológico de la variedad (88 a 115 días). Se desconoce la utilidad de trampas cromáticas, feromonas y otros métodos para el monitoreo y control agroecológico de este insecto. En el caso de mejoramiento genético se han desarrollado variedades mejoradas y se han identificado variedades criollas con niveles altos de antibiosis y antixenosis para *Trichapion* spp.

El daño ocasionado por picudo del ejote, hace necesario el estudio de la situación actual de las poblaciones del insecto y el nivel de daño que pueden ocasionar en su nivel natural de incidencia; así como, para establecer las bases del manejo agro-ecológico de la plaga. El calentamiento global ha mostrado un efecto significativo en el incremento de las poblaciones naturales de múltiples especies de insectos plaga en cultivos leguminosos (Sharma et al., 2015). En diversas especies del género *Trichapion* se ha demostrado la existencia de una correlación positiva y significativa entre la temperatura, fotoperiodo y la incidencia de las plagas (Selvaraj et al., 2025). Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue establecer el área potencial de expansión de *Trichapion* spp. en el estado de Durango.

Materiales y métodos

Rango de temperaturas ideales. Para identificar las zonas con temperatura favorable para crecimiento, desarrollo y reproducción del picudo del ejote se empleó el modelo ecofisioclimático. Se consideró como temperatura mínima 20 °C y máxima 28 °C, en donde los insectos se desarrollan de manera más eficiente y se favorece su reproducción (Dixon et al., 2009). Posteriormente, en el programa R Project (R Core Team, 2024) a través de la librería rasterVis (Lamigueiro et al. 2025), y la función levelplot, se proyectó la representación espacial para los datos meteorológicos mensuales históricos del periodo 2020-2024. Estos datos fueron obtenidos de la plataforma WorldClim (Cerasoli et al., 2022). Los datos meteorológicos presentados en el presente estudio son las variables temperatura máxima y temperatura mínima a una escala espacial de 30 segundos.

Zonas de idoneidad*.* Se realizó un análisis de estadísticas zonales para cada mes del año, utilizando la función “rasterTheme”, de la paquetería "raster” (Hijmans et al., 2014). Este análisis permitió la agregación zonal de los valores de un ráster, resumiendo estadísticamente la información espectral y temática contenida en los pixeles que intersectan con cada unidad espacial definida. Para ello, se asignó a cada zona un valor sintético derivado de operadores estadísticos, conforme a los principios del procesamiento geoespacial raster-vectorial. Las zonas óptimas identificadas, para cada mes del año, se realizó un consenso con la finalidad de identificar aquellas zonas que mantienen el rango máximo y mínimo de temperatura. Dichas temperaturas, deben mantener la reproducción y desarrollo de manera más eficiente para la especie a través del año, expresado en un gradiente de probabilidad que va de 0 a 100 % (indicado en decimales: 0 a 1).

Representación espacial*.* Se elaboraron mapas con la temperatura media registrada en el estado de Durango para cada uno de los meses del año. También, se obtuvo un mapa para mostrar los rangos óptimos térmicos para la especie *Trichapion godmani* en el estado de Durango. Se incluyó la escala de colores para representar la idoneidad térmica, donde los valores altos (cerca de 1, en rojo/naranja) indicaron condiciones térmicas más favorables, y los valores bajos (cerca de 0, en azul/púrpura) que se relacionaron condiciones menos favorables.

Resultados y discusión

Se observó que, en el estado de Durango, los valores promedio mensuales anuales para las temperaturas mínima (16 °C), media (26 °C) y especialmente la temperatura máxima (35 °C) es alta, en relación con los requerimientos del picudo del ejote. Pudo observarse que los meses de enero, febrero y marzo las temperaturas son poco favorables para el picudo del ejote (Figura 1). A finales de marzo y principios de abril se observan temperaturas favorables para el picudo del ejote en el área semidesértica del noreste de Durango (Comarca Lagunera), donde dejó de sembrarse frijol de riego desde hace años, por lo que la presencia de la plaga es mínima y nula. A pesar de lo anterior, es posible observar incidencia de otros curculiónidos como el picudo del algodón (*Anthonomus grandis* Boheman). Después, a partir de mayo-junio se observan temperaturas favorables para *Trichapion* spp. en las áreas donde es posible encontrar diferentes especies del género *Phaseolus*. Por ello, cuando se establecen siembras comerciales de frijol, en condiciones de riego, se observa también presencia del insecto plaga desde la etapa vegetativa. A pesar de lo anterior, se registra dificultad para determinar la presencia de *Trichapion* spp., por el tamaño pequeño de la plaga.

En los municipios con niveles altos de presencia de éste insecto (Nuevo Ideal, Canatlán, Durango y Nombre de Dios) se observan temperaturas madias anuales de 24 a 26 °C para la máxima, 5.8 a 8.4 °C para la mínima y entre 15 y 17 °C para la temperatura media (Figura 2). El picudo de la vaina evolucionó para hibernar y alimentarse durante el verano de diferentes especies del género *Phaseolus*, que crecen de forma natural en las estribaciones de la Sierra Madre Occidentales y los valles aledaños a esta. Por ello, es posible observarlos en siembras comerciales de frijol que son establecidas desde el mes de junio bajo la condición de riego en Durango.

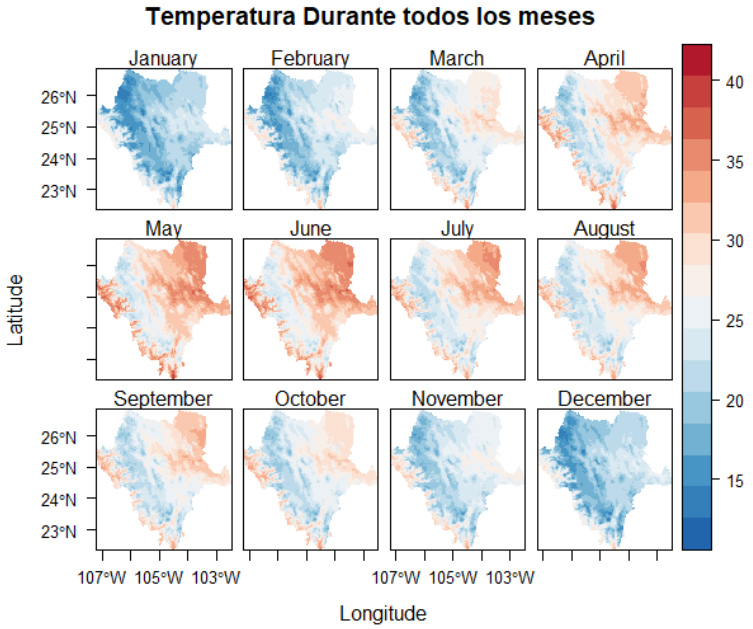


Figura 1. Temperatura media mensual (°C) en Durango.

Con base en los resultados puede decirse que existe potencial alto para el incremento del área afectada por el picudo del ejote, en los municipios aledaños a la Sierra Madre Occidental, como son Tepehuanes, Santiago Papasquiaro, Nuevo Ideal, Canatlán, Durango, San Dimas, Súchil, Vicente Guerrero y El Mezquital. Además, será posible observarlo en el sur de Cuencamé, Guadalupe Victoria y Pánuco de Coronado, que representan el área más importante para la producción de frijol (Región de Los Llanos). Aunque, pueden existir otros factores que evitan la proliferación del picudo del ejote, que se relaciona con la temperatura y radiación solar (fotoperiodo) que muestran influencia sobre el ciclo biológico y supervivencia del insecto (Sharma et al., 2015).

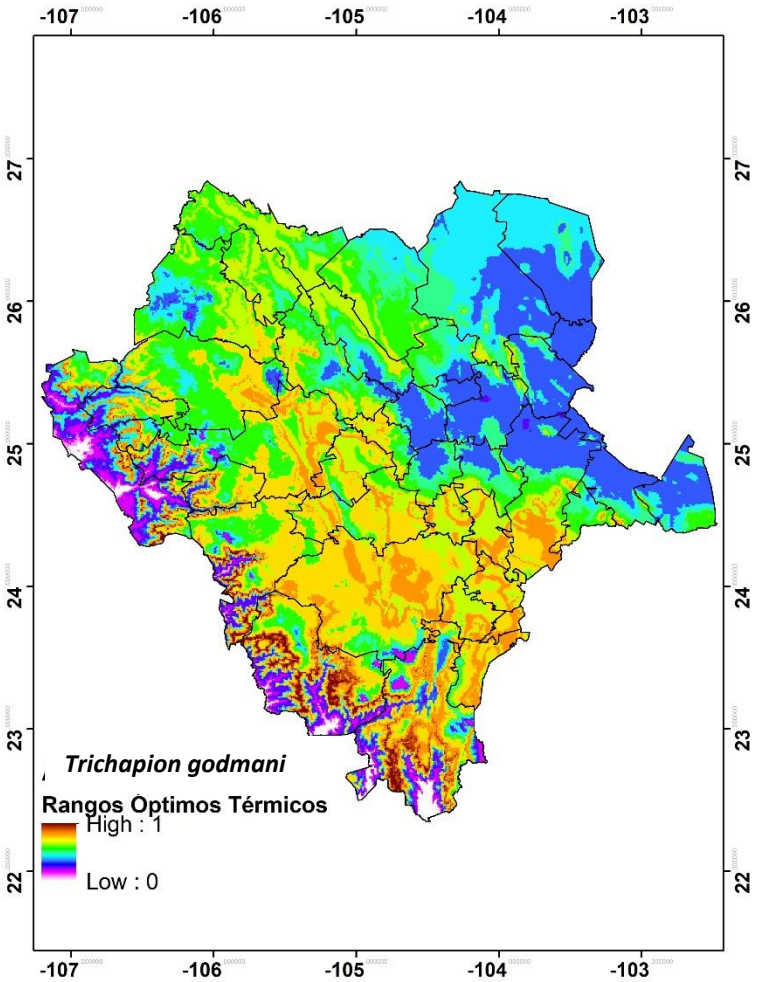


Figura 2. Mapa de los rangos óptimos térmicos para la especie *Trichapion godmani* en el estado de Durango.

Conclusiones

Existe potencial para la ampliación del área de presencia del picudo del ejote en las áreas productoras de frijol en Durango. Es necesario evaluar otras variables agro-meteorológicas y diversidad genética de especies del género *Phaseolus*, que influyen en la supervivencia y proliferación del insecto plaga *Trichapion* spp. El estudio del rango de temperatura entre 20 °C y 28 °C mostró ajuste aceptable para predecir la presencia de *Trichapion godmani* en el estado de Durango. Es necesario avanzar hacia el control agroecológico de este insecto plaga, con la finalidad de reducir el uso de productos químicos para reducir las poblaciones de *Trichapion godmani*. Lo anterior, sin afectar el rendimiento y la calidad del frijol obtenido en Durango.

Referencias

Acosta G., J. A. and J. C. Hernández. 1989. Colección de especies silvestres del género *Phaseolus*. Informe de Investigación 1988. INIFAP-CIFAP-Durango. p. 8.

Cerasoli, F., D'Alessandro, P., and Biondi, M. 2022. Worldclim 2.1 versus Worldclim 1.4: Climatic niche and grid resolution affect between-version mismatches in habitat suitability model predictions across Europe. Ecology and Evolution, 12(2), e8430.

Dixon, A. F., Honěk, A., Keil, P., Kotela, M. A. A., Šizling, A. L., and Jarošík, V. (2009). Relationship between the minimum and maximum temperature thresholds for development in insects. Functional Ecology 23 (2): 257-264.

Garza G., R. 1991. Distribución e importancia del picudo del ejote Apion spp. (Coleóptera: Curculionidae) en los estados de Chihuahua, Durango y Zacatecas. XXVI Congreso Nacional de Entomología. Veracruz, Ver. pp. 212.

Hijmans, R. J., van Etten, J., Mattiuzzi, M., Sumner, M., Greenberg, J. A., Lamigueiro, O. P., ... & Shortridge, A. 2013. raster: Geographic data analysis and modeling (R package version 3.6-20) [Computer software].

Lamigueiro, O. P., & Hijmans, R. (2021). rasterVis: Visualization methods for raster data (R package version 0.52-3) [Computer software].

R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing.

Sharma, H. C., M. Pathania, A. R. War, T. Pavani, and S. Vashisth. 2015. Climate change effects on pest spectrum and incidence in grain legumes*. In*: Dixit, G. P., J. Singh, and N. P. Singh (eds.). Pulses: Challenges & opportunities: Under changing climatic scenario. ICAR-Indian Institute of Pulses Research. Kanpur, UP, India. pp. 124-137.

Selvaraj, C., A. Samanta, S. Ganesh E., and I. Kumar. 2025. Influence of weather parameters on seasonal incidence of pod boring weevil, *Apion clavipes* Gerst (Apionidae: Coleoptera) on Pigieonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] under west Bengal conditions. International journal of Plant & Soil Science 37(5): 197-204.

PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y ABONO VERDE DE LEGUMINOSAS CON FERTILIZACIÓN E INOCULACIÓN CON BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO

Esmeralda Ochoa Martínez[1*], Juan Isidro Sánchez Duarte[1], David Guadalupe Reta Sánchez[2], Yasmin Ileana Chew Madinaveitia[1]

[1]INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez 1200. Col. Centro. 27440. Matamoros, Coahuila. [2]INIFAP-Campo Experimental Delicias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000. Delicias, Chihuahua. *Autor de correspondencia: ochoa.esmeralda@inifap.gob.mx

Introducción

El uso intensivo del suelo y la inadecuada aplicación de fertilizantes químicos ocasionan degradación y pérdida edáfica de nutrientes que limita significativamente la producción de forrajes (Castro-Rincón et al., 2018). En la región Lagunera, se estima un inventario de ganado vacuno lechero superior a los 500,000 animales (SIAP, 2024a). Debido a este número de animales, existe un sistema de producción de forrajes muy intensivo con tres ciclos de producción para satisfacer las necesidades alimenticias de los hatos lecheros. De hecho, se estima que la superficie sembrada de forrajes bajo riego durante el 2023 superó las 76,000 ha; siendo el maíz, el sorgo, alfalfa, avena y triticale los principales cultivos (SIAP, 2024b). Una estrategia para incrementar la fertilidad del suelo y reducir los costos de producción por la aplicación excesiva de fertilizantes químicos mediante el uso de leguminosas como abonos verdes o también como fijadoras de nitrógeno (N) al suelo, que llegarían a beneficiar los cultivos posteriores (Mizanur et al., 2022). Además, las leguminosas aportan materia orgánica al suelo de rápida descomposición que contribuye a mejorar las características físicas del suelo; así como el control de plagas, malezas y nemátodos (Zavala-Sierra et al., 2018). Diversas investigaciones señalan aportaciones de N van desde 100 hasta 240 kg ha^{-1} (Douxchamps, 2010; Zavala-Sierra et al., 2018) cuando las leguminosas han sido incorporadas como abonos verdes. Mureithi et al. (2003) observaron un incremento de más del 60 % en el rendimiento de maíz cuando utilizaron *Crotalaria ochroleuca y Dolichos lablab* como abonos verdes en comparación a cuando no se utilizaron. Se han observado rendimientos de materia seca (MS) de 7,873 a 11,654 kg ha^{-1} en soya (Reta et al., 2024) y en lablab de 6,132 a 15,578 kg ha^{-1} (Reta et al., 2008). La *Crotalaria* es una de las leguminosas que más se utilizan como abono verde por su rápido crecimiento y alta producción de materia seca que oscila de 6,143 a 7,160 kg ha^{-1} (Magaña et al., 2020; Almeida-Santos et al., 2019). Por lo tanto, es importante promover la introducción de leguminosas en un sistema de producción de forrajes con baja fertilidad. El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de forraje o abono verde de soya, crotalaria y lablab con fertilización e inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno.

Materiales y métodos

El trabajo se estableció en el Campo Experimental La Laguna del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Matamoros, Coahuila a 25° 32´ norte y 103° 14´ oeste. El contenido de arena, limo y arcilla del suelo fue de 21, 23 y 56 %, respectivamente, un pH de 8 y una C.E. de 1.2 mS/cm a una profundidad de 0 a 30 cm. La preparación del terreno consistió en subsoleo, arado, rastreo y nivelación con escrepa. Los tratamientos en evaluación fueron tres especies de leguminosas: Soya (*Glycine max* L.) variedad nainari, Crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) cv. común y Lablab (*Lablab purpureus* L.) cv. Sustain. La semilla de Soya fue inoculada con *Bradyrhizobium japonicum* (141.8 g para 22.7 kg de semilla) y la Crotalaria y el Lablab se utilizó una mezcla de *Rhizobium leguminosarum* biovar viceae, *Bradyrhizobium* sp. y *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli (340 g para 22.68 kg de semilla.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y un arreglo factorial de 3 × 2. El factor A fueron las especies y el factor B los tratamientos de fertilización e inoculación de la semilla. La siembra se realizó el 15 de mayo de 2023 en hileras a 0.65 m de distanciamiento. Con una densidad de 90 semillas m^2 para Crotalaria, 50 semillas m^2 para Soya y Lablab.

Posterior a la siembra se aplicaron cinco riegos de auxilio a los 17, 37, 57, 73 y 86 días después de la siembra (dds). Los tratamientos con fertilización nitrogenada recibieron una dosis de 250 kg ha^{-1} de N (Novatec Solub 45) y 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 (ácido fosfórico 50 %). Se realizaron aplicaciones de "Ultraferro 6 %" a una dosis de 10 kg ha^{-1} en todas las parcelas experimentales para las deficiencias de Fe. Para el control de pulgón y trips se aplicó el insecticida "Muralla Max 300" a una dosis de 0.3 L ha^{-1}.

La cosecha de Crotalaria, Soya y Lablab se realizó a los 86, 105 y 119 dds, respectivamente. Se obtuvo el rendimiento de materia seca (MS) en la parte central de cada parcela experimental de cada especie. Las muestras de planta se secaron a 60 °C en una estufa de aire forzado hasta alcanzar el peso constante. La producción de materia seca se determinó multiplicando la producción de forraje fresco por el contenido de MS. Estas mismas muestras se utilizaron para analizar el contenido de nitrógeno en la materia seca. Las muestras se molieron en un molino Wiley® con una malla de 1 mm. El contenido de N se determinó mediante el método de combustión seca con un analizador elemental Flash 2000 y el resultado se multiplicó por 6.5 para obtener el contenido de proteína cruda (PC). La información se analizó en el programa SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2013), utilizando un análisis de varianza para un experimento factorial 3 × 2. Se aplicó la prueba de Tukey a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Resultados y discusión

Producción de forraje. La producción de forraje seco en los tratamientos con fertilización e inoculación fue diferente entre especies ($p < 0.0001$). La Soya produjo 10,203 kg ha^{-1} de forraje seco, superando a Crotalaria (7,438 kg ha^{-1}). El Lablab obtuvo una producción de forraje de 3,350 kg ha^{-1}, posiblemente se debe al lento crecimiento (Cuadro 1). La producción de forraje seco de Soya en este estudio superó al rendimiento observado por Reta et al. (2024) en Delicias, Chihuahua, quienes reportaron 7,932 kg ha^{-1}. La producción de Crotalaria de 7,435 kg ha^{-1} en este trabajo superó ligeramente la producción obtenida por Almeida-Santos et al., (2019) con 7,160 kg ha^{-1}.

Nitrógeno en el suelo y extraído por el forraje. La disponibilidad inicial de nitrógeno en el suelo a una profundidad de 0–30 cm fue de 39 kg ha^{-1}. Hubo diferencia significativa entre especies y entre tratamientos con fertilización e inoculación en el contenido de nitrógeno en el forraje seco con valores promedio de 2.23 % y 2.29 % en soya y Crotalaria, respectivamente. En Lablab se observó un ligero aumento en el contenido de N. Esto posiblemente es porque el Lablab se cosechó en la etapa vegetativa cuando iniciaba el alargamiento de tallos trepadores (guiadores o zarcillos).

La capacidad de fijación de nitrógeno por parte de Soya y Crotalaria se vio reflejada en el nitrógeno extraído respecto al nitrógeno disponible antes de la siembra. En el caso de la soya fue de 165 kg ha^{-1} y en Crotalaria de 128.5 kg ha^{-1} en los tratamientos con inoculación. La fijación de nitrógeno de las plantas de Soya y Crotalaria posiblemente fue efectiva, porque se ha reportado que hay presencia de nódulos activos durante la etapa de floración y llenado de vaina (Chew et al., 2024). A diferencia de Lablab, en donde el nitrógeno extraído fue de solo 4 kg ha^{-1} respecto al disponible en el suelo.

Cuadro 1. Producción de forraje seco, contenido y extracción de nitrógeno de leguminosas con fertilización e inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno

Especie	Tratamiento	Rendimiento de MS (kg ha^{-1})	Contenido N (%)	N extraído (kg ha^{-1})
Soya	Fert	10,456	2.40 b	249.3 a
	Inoc	9,951	2.06 b	201.0 ab
	Media	10,203 A	2.23 B	225.2 A
Crotalaria	Fert	7,578	2.27b	173.5 bc
	Inoc	7,298	2.30c	167.5 bc
	Media	7,438 B	2.29 B	170.5 B
Lablab	Fert	4,060	3.07 a	124.5 cd
	Inoc	2,640	2.37 b	60.3 d
	Media	3,350 C	2.72 A	92.2 C

Medias seguidas con distinta letra son significativamente diferentes (Tukey; α = 0.05). Letras minúsculas comparan todas las combinaciones de especie × tratamiento, mientras que letras mayúsculas comparan los promedios generales entre especies.

Especies como abono verde. Hubo interacción especie × fertilización e inoculación para el contenido de nitrógeno donde el lablab superó a la Crotalaria en un 19 % y a la soya en un 22 %. Hubo diferencia significativa entre especies y tratamientos en la relación C/N y N acumulado y solo diferencia significativa entre especies para el contenido de carbono y C acumulado (Cuadro 2). La Soya generalmente contiene bajas relaciones C/N que van desde 15 a 41 (Adamiˇ y Leskovšek, 2021). La calidad de la biomasa fue diferente entre especies y entre tratamientos con valores que oscilaron entre 15.33 y 19.98, indicando que cualquiera de las tres especies podría ser una alternativa como abono verde. Los materiales que contienen bajas relaciones C/N estimulan una mayor tasa de descomposición, que pueden liberar rápidamente los nutrientes y la disponibilidad de N favorece el incremento del carbono orgánico del suelo (Virk et al., 2022) reduciendo la necesidad de fertilizantes con efectos beneficiosos en el rendimiento del cultivo siguiente. La Soya cosechada a los 102 dds, tendría una producción de 10 t ha^{-1} de materia seca, la cual añadiría de 201 a 249 kg ha^{-1} de N al suelo; mientras que con Lablab añadiría de 60 a 124 kg ha^{-1} de N al suelo, esto debido al bajo rendimiento de materia seca.

Cuadro 2. Contenidos de nitrógeno (N), carbono total (C), relación C/N y acumulación de N y C de leguminosas con fertilización e inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno

Especie	Trat.	N (%)	C (%)	C/N	N (kg ha^{-1})	C (kg ha^{-1})
Soya	Fert	2.40 b	40.46	17.12ab	249.25a	4229.50
	Inoc	2.06 b	40.26	19.98a	201.00ab	4002.00
	Media	2.23 B	40.36 A	18.55 A	225.13 A	4115.75 A
Crotalaria	Fert	2.27 b	38.90	17.14ab	173.50bc	2946.00
	Inoc	2.30 b	38.70	16.84ab	167.50bc	2831.50
	Media	2.29 B	38.80 B	16.99 A	170.50 B	2888.75 B
Lablab	Fert	3.07 a	36.51	11.86c	124.50cd	1479.50
	Inoc	2.37 b	36.15	15.33bc	60.25d	949.50
	Media	2.72 A	36.33 C	13.60 B	92.37 C	1214.50 C

Medias seguidas con distinta letra son significativamente diferentes (Tukey; α = 0.05). Letras minúsculas comparan todas las combinaciones de especie × tratamiento, mientras que letras mayúsculas comparan los promedios generales entre especies.

Conclusiones

La especie que mostró mayor potencial forrajero fue la Soya a diferencia de Crotalaria y Lablab, esto debido a su mayor producción de forraje seco y a su capacidad para fijar nitrógeno convirtiéndose en una opción como abono verde por mayor contenido de N que puede ser incorporado al suelo y por su baja relación C/N.

Referencias

Adamiˇc, S., & Leskovšek, R. (2021). Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Growth, Yield, and Nodulation in the Early Transition Period from Conventional Tillage to Conservation and No-Tillage Systems. *Agronomy*, 11, 2477. https://doi.org/10.3390/agronomy11122477

Almeida, S.L.E., Obrador, O.J.J., García, L.E., Castelán, E.M., & Carrillo, A.E. (2019). Cultivation and incorporation of *Crotalaria juncea* L. in a sugarcane culture soil in the Chontalpa, Tabasco, México. *Agroproductividad*, 12(7), 87-93. https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1475

Castro-Rincón, E., Mojica-Rodríguez, J., Carulla-Fornaguera, J.E., & Lascano-Aguilar, C.E. (2018). Evaluación de leguminosas como abono verde en cultivos forrajeros para ganaderías en el Caribe seco colombiano. *Agronomía Mesoamericana* 29(3), 597-617. https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.32350

Chew, M.Y.I., Gaytan, M.A., Ochoa, M.E., Reta, S.D.G., & Sánchez, D.J.I. (2024). Formación de nódulos en los cultivos de soya (*Glycine max* L.) y crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) en respuesta al uso de inoculantes. *Agrofaz Journal of Environmental and Agroecological Sciences*, 6(2), 69-75.

Douxchamps, S. (2010). Integration of *Canavalia brasiliensis* into the crop-livestock system of the Nicaraguan hillsides: environmental adaptation and nitrogen dynamics. Thesis DrSc., Swiss Federal Institute of Tecnology Zurich, Zürich,SUI.

Magaña, V.W., Obrador, O.J.J., García, L.E., Castelán, E.M., & Carrillo A.E. (2020). Rendimiento comparativo de la yuca bajo fertilización mineral y abono verde. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1259-1271. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2202

Mizanur, R., Mohammad, S.A., Moshiul, I. Md., Mohammed Z.U.K.; Mustafizur, R.G.K.M., Moynul H.M., Giashuddin M.Md., & Jatish, C. B. (2022). Advances in Legumes for sustainable Intensification. Chapter 20 – Potencial of legume-based cropping systems for climate change adaptation and mitigation. Pages 381-402. ISBN 978-0-323-85797-0.

Mureithi, J.G., Gachene C.K.K., & Ojiem J. (2003). The role of green manure legumes in smallholder farming systems in Kenya: the legume research network project. *Tropical and Subtropical Agroecosystems,* 1:57-70.

Reta, S.D.G., Serrato, J.S., Figueroa, R., Cueto, J.A., Berúmen, S., & Santamaría, J. (2008). Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. Libro Técnico Núm. 3. INIFAPCIRNOC-CELALA. 268 p.

Reta-Sánchez, DG., Ochoa-Martínez, E., Chew-Madinaveitia, Y., Sánchez-Duarte, J.I., & Reyes-González, A. (2024). Memoria de XXXVI Semana Internacional de Agronomía. UJED. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Pp. 749-756

SAS Institute. 2013. *The SAS System for Windows, Release 9.4*. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC.

SIAP, 2024a. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción pecuaria. https://nube.agricultura.gob.mx/poblacion_ganadera/

SIAP, 2024b. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Virk, A.L., Lin, B.J., Kan, Z.R., Qi, J.Y., Dang, Y.P., Lal, R., Zhao, X., & Zhang, H.L. (2022). Chapter Two. Simultaneous effects of legume cultivation on carbon and nitrogen accumulation in soil. *Advances in Agronomy*,171, 75-110. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.002

Zavala-Sierra, D., Rodríguez-Ortíz, J.C., Alcalá-Jáuregui, J.A., Ruiz-Espinoza, F.H., González, M.R., Rodríguez-Fuentes, H., & Sanchez, D.P. (2018). Potencial de cinco especies de leguminosas como abonos verdes en la zona altiplano de San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(esp 20), 4323-4330

POTENCIAL FORRAJERO Y ADAPTACIÓN DE MAICES REGIONALES EN EL RANCHO EL CARMEN

Miguel Angel Mata-Espinosa[1]*, Jaime Noe Carrillo-Avila[1], José Ramón Hernández-Salgado[1], Gonzalo Hernández-Ibarra[1], Mauricio Velázquez-Martínez[2], David Hernández-Sánchez[3], José de los Santos Aguilar-Martínez[4], Ana Isabel Maraña-Santacruz[4].

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas; km 40 ctra. Gómez Palacio, Dgo. - Cd. Juárez, Chih.; CP 35230. Bermejillo, Mapimí, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental San Luis, km 14.5 ctra. San Luis Potosí - Matehuala. Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP 78430. [3]Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México - Texcoco. Montecillo, Edo. México. CP 56230. [4]Universidad para el Bienestar Benito Juárez García. Ejido Hidalgo s/n. ctra. Madero - Lequeitio. Municipio de Fco. I. Madero, Coahuila. CP 27911. *Autor de correspondencia: mata@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La recolecta y el estudio de los maíces nativos de México ha tomado gran relevancia en la actualidad, debido principalmente a que pueden considerarse para programas de mejoramiento genético en diferentes regiones del país, y a su contribución a la diversidad genética mundial donde los procesos biológicos y antropocéntricos, además de la selección y adaptación a través de regiones, condiciones socioeconómicas y biotipos ecológicos distintos, han generado diferentes combinaciones que incrementan la diversidad de esta especie (González-Martínez et al., 2020). Se proyecta que, a consecuencia del cambio climático, aumentará la temperatura y cambiarán los patrones de precipitación pluvial que afectará la producción de maíz en muchas regiones de México. Bajo ese escenario, los maíces mejorados podrían ser más afectados; mientras que los nativos y adaptados a diversas regiones agroecológicas que aún conservan sus características genéticas ancestrales podrían ser una alternativa para la producción de maíz como fuente de grano y forraje a mediano plazo (Conceicao-Dos Santos et al., 2019). Por lo anterior, es importante identificar y evaluar materiales vegetales con características agronómicas y fisiológicas que favorezcan el desarrollo de nuevos genotipos mejorados o se puedan utilizar en sustitución de los materiales mejorados usados en la actualidad. De la misma forma, se plantea generar conocimiento de los genotipos regionales mediante una evaluación productiva sobre rendimiento y calidad nutritiva del forraje producido, para determinar su uso posible en sistemas de producción de forrajes bajo condiciones intensivas. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento de biomasa y variables morfológicas (altura y diámetro de tallo) de cinco genotipos regionales de maíz, establecidos en condiciones secas desérticas del rancho “El Carmen”.

Materiales y métodos

Lugar del estudio. El estudio se realizó en el rancho “El Carmen”, perteneciente a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México. La región se ubica entre las coordenadas geográficas 25° 53’ 54.02’’ N y -103° 35’ 59.7’ O y una altitud media de 1,100 m. El área presenta una superficie plana donde se localiza el área agrícola, la cual tiene un clima seco desértico. El clima es tipo árido caliente desértico, seco, con régimen de lluvias en verano e inviernos fríos, clasificado como BW (h) HW (e). La precipitación pluvial media anual de 258 mm y la evaporación media anual de 2,000 mm, la temperatura media anual de 21 °C con máxima de 33.7 °C y mínima 7.5 °C (García, 1973).

Establecimiento del experimento. El estudio se estableció en el ciclo otoño 2024. La siembra se realizó en seco el día 14 de agosto de 2024 de forma manual, a una profundidad de 5 cm, con una densidad de 8 plantas por metro lineal y fertilización base de 150 kg de fertilizante MAP por hectárea (12-52-00). Los genotipos que se establecieron se indican en el Cuadro 1. El riego de aniego se realizó el 10 de agosto de 2024, con una duración de 3.3 horas por tendida lo que representó una lámina de 25.69 cm. Posteriormente, se realizaron 3 riegos de auxilio; el primer riego se realizó el día 4 de septiembre de 2024, aplicándose una lámina de 18.35 cm, también se aplicaron 50 kg de fertilizante sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$, por tendida (1,667 m^2). El segundo riego de auxilio fue de 18.35 cm el día 10 de octubre de 2024 y el tercer riego de auxilio de 18.35 cm el 12 de noviembre de 2024. La cosecha se realizó el 25 de noviembre a los 100 dds.

Cuadro 1. Genotipos de maíz y procedencia, utilizados en la evaluación forrajera.

No.	Nombre común	Procedencia
1	Aventurero[£]	Poanas, Durango
2	Pepitilla[£]	Poanas, Durango
3	Exclusivo 23[£]	Poanas, Durango
4	Chireto 1[€]	Ejido Emiliano Zapata, Cuencamé, Durango
5	Chireto 2[€]	Ejido Emiliano Zapata, Cuencamé, Durango

[£]Recolectado por el MC. Gonzalo Hernández Ibarra.
[€]Recolectado por el Ing. José de los Santos Aguilar Martínez.

Diseño experimental y de tratamientos. El diseño experimental fue Bloques Completos al Azar. Se establecieron 4 bloques (parcelas) con 5 tratamientos (genotipos de maíz), cada tratamiento consistió en parcelas de 4 hileras (surcos) de plantas con una longitud de 20 m y 80 cm entre hileras (surcos). La parcela útil (unidad experimental) consistió en los dos surcos centrales y 5 m de longitud. A los 100 dds, de cada parcela útil (genotipo) se realizó un muestreo que consistió en cortar a una altura de 4 cm del suelo las plantas que se encontraran en los dos surcos centrales. Después, las plantas cortadas se pesaron en una báscula digital Torrey® para registrar su peso en fresco o materia verde (MV). Para determinar el contenido de materia seca (MS), se tomaron submuestras de 150-200 g de materia verde (MV) previamente picada a 2 cm con ayuda de una picadora de forraje y luego se deshidrató el forraje en una estufa de aire circulante (BINDER®), por 48 horas a 65 °C, hasta obtener peso constante. Posteriormente, las muestras fueron pesadas en una báscula granataria OHAUS® y por diferencia de peso, se obtuvo la cantidad de MS. Las muestras deshidratadas fueron molidas en un molino Thomas Willey® utilizando un tamaño de criba de 2 mm. Luego se colocaron en bolsas de papel previamente identificadas para su análisis en el laboratorio de la Unidad Regional. De las plantas obtenidas en cada muestra, se les midió la altura con la ayuda de una cinta métrica, desde la base hasta la inflorescencia masculina (panícula) y el diámetro del tallo a la altura de la mazorca con un vernier.

Análisis estadístico. La información obtenida se analizó considerando un modelo en Bloques Completos al Azar (SAS, 2014), donde hubo 5 tratamientos (material genético) y 4 repeticiones bloques) para cada uno (2 surcos de 5 m lineales por 0.80 m de ancho). La comparación de medias para los diferentes tratamientos se realizó mediante la prueba de Tukey con un α=0.05 (Steel y Torrie, 1980).

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los resultados para el contenido de MS al momento del corte para los diferentes maíces evaluados. El intervalo encontrado fue de 24.14 % para el genotipo Chireto 2 y 32.95 % para Chireto 1, los cuales mostraron diferencias significativas entre ellos ($p \leq 0.05$). El genotipo Chireto 2 fue el que tuvo la cantidad de MS más alta; los demás genotipos, tuvieron un comportamiento intermedio entre estos dos valores, siendo similares entre ellas mismas ($p > 0.05$).

Cuadro 2. Variables productivas de maíces regionales evaluados.

	Variables de estudio		
Tratamiento	MV, kg ha^{-1}± EE	MS, kg ha^{-1} ± EE	MS al corte, %
Aventurero	37.78±3.21^{a}	9.74±0.77 ^{ab}	26.03±1.03^{b}
Pepitilla	40.57±3.21^{a}	10.45±0.77 ^{ab}	25.73±1.03^{b}
Exclusivo 23	42.78±3.21^{a}	11.16±0.77 ^{a}	26.13±1.03^{b}
Chireto 1	22.11±3.21^{b}	7.26±0.77 ^{b}	32.95±1.03^{a}
Chireto 2	48.04±3.21^{a}	11.60±0.77 ^{a}	24.14±1.03^{b}
CV (%)	16.76	15.38	7.62

^{a,b,c}Valores promedio por columna que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey; α = 0.05).

Considerando que el maíz forrajero para ensilar debe contener de un 30 a 35 % de MS al momento del corte y picado, solamente Chireto 1 cumplió con esta condición; esto fue debido a que este material es de ciclo corto (precoz) y al momento del corte ya estaba en un estado de madurez avanzada. Los demás materiales estuvieron en un intervalo de 24.14 a 26.13 % de MS al momento del corte; si estos materiales se sometieran a un proceso de ensilaje, es posible que presentaran pérdidas considerables por lixiviación. En un estudio realizado por Espíritu (2023) en el rancho “El Carmen” con un híbrido de maíz comercial, se informó un 19.78 % de MS, valor inferior a los obtenidos en el presente estudio.

El rendimiento de MS está relacionado con el contenido de humedad de las plantas de maíz al momento del corte y el peso total de la biomasa producida. Los resultados para esta variable indican que hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) al comparar el rendimiento para los genotipos evaluados (Cuadro 2). En este sentido, se pueden identificar 3 grupos: uno de ellos que incluye a Aventurero y Pepitilla (9.74 y 10.45 t ha^{-1} de MS); Exclusivo 23 y Chireto 2 (11.16 y 11.60 t ha^{-1} de MS) y Chireto 1 con 7.26 t ha^{-1} de MS. En general, el genotipo con el mejor rendimiento de MS fue Chireto 2 con 11.60 t ha^{-1} de MS.

Aun con el rendimiento mayor (Chireto 2; 11.60 t ha^{-1} de MS), este valor está muy por debajo de los que se obtienen en la Comarca Lagunera, que son del orden de 19 t ha^{-1} de MS (De La Torre, 2014). Sin embargo, los resultados del presente estudio resultan ser mayores a los que se han registrado en el rancho “El Carmen” (promedio de 7.8 t ha^{-1} de MS) en el ciclo primavera-verano 2024) con maíces comerciales (Alvarado, 2024). En este mismo rancho, Espíritu (2023) obtuvo un rendimiento de 5.61 t ha^{-1} de MS, también menor a los encontrados en el presente estudio (Cuadro 2). Recientemente, Granados-Niño et al. (2022), informaron de un rendimiento de MS de 20.58 t ha^{-1} en el ciclo de primavera y 16.85 t ha^{-1} en verano.

El rendimiento de biomasa (MV) tiene gran trascendencia si el forraje producido se va a conservar mediante la elaboración de ensilados. Para el presente estudio, esta variable tuvo un intervalo de 22.11 t ha^{-1} de MV (Chireto 1) a 48.04 t ha^{-1} de MV (Chireto 2), siendo diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$). Considerando los rendimientos mayores y que son estadísticamente similares, fueron para Aventurero (37.78 t ha^{-1} de MV), Pepitilla (40.57 t ha^{-1} de MV), Exclusivo 23 (42.78 t ha^{-1} de MV) y Chireto 2 con 48.04 t ha^{-1} de MV. La producción de MV obtenida en el rancho "El Carmen", en el ciclo primavera-verano, fue de 26 t ha^{-1} de M, valor que se encuentra por debajo de estos genotipos (Alvarado, 2024). En un estudio realizado en el 2022, Granados-Niño y colaboradores, obtuvieron 55.52 t ha^{-1} de MV en primavera y en verano 46.76 t ha^{-1} de MV, valores superiores a los obtenidos en el presente estudio.

Los valores encontrados para la altura de planta (Cuadro 3) fueron diferentes ($p \leq 0.05$) entre los maíces evaluados; los valores registrados estuvieron en un intervalo de 1.31 m (Chireto 1) a 1.95 m en Exclusivo 23 (Cuadro 3). Chireto 1 y Chireto 2 mostraron diferencia estadística significativa, mientras que los demás genotipos fueron similares entre sí ($p > 0.05$). Con relación al grosor del tallo, los que tuvieron el diámetro menor fueron Chireto 1 (11.74 mm^{c}), Aventurero (12.13 mm) y Exclusivo 23 (14.63 mm), diámetro intermedio (Pepitilla, 12.76 mm) y Chireto 2 con el tallo más grueso (17.56). La altura de la planta y el diámetro del tallo estuvieron relacionados con el rendimiento de MV y MS (Cuadro 2). En este sentido, aunque Chireto 2 no fue el maíz más alto, sí tuvo el diámetro de tallo más grande, lo cual estuvo relacionado con el rendimiento más alto para MS y MV.

Cuadro 3. Altura y diámetro de tallo de maíces regionales evaluados.

	Variables de estudio	
Tratamiento	Altura, m± EE	Ø Tallo, mm± EE
Aventurero	1.81±0.05^{a}	12.13±0.57^{bc}
Pepitilla	1.85±0.05 ^{a}	12.76±0.57 ^{b}
Exclusivo 23	1.95±0.05^{a}	14.63±0.57^{bc}
Chireto 1	1.31±0.05 ^{c}	11.74±0.57^{c}
Chireto 2	1.55±0.05 ^{b}	17.56±0.57 ^{a}
CV	5.52	8.27

^{a,b,c}Valores promedio por columna que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey; α = 0.05).

En estudios realizados con maíz forrajero, De La Torre (2014) informa de una altura promedio de plantas de 2.50 m y una producción de MV de 84.5 t ha^{-1} y MS de 19.0 t ha^{-1}, valores superiores a los encontrados en el presente estudio. También Granados-Niño y colaboradores (2022) encontraron resultados mayores en altura de planta, siendo de 2.42 m en verano y 2.74 m para verano; lo que representa una diferencia de 19.42 % en primavera y 28.83 % para el ciclo de verano.

Conclusiones

Chireto 2 y Exclusivo 23 tuvieron el mejor comportamiento productivo tanto para MV como para MS. Los maíces con mayor altura fueron Aventurero, Pepitilla y Exclusivo 23. La altura y el diámetro del tallo estuvieron relacionados con un comportamiento productivo mayor. Chireto 1 tuvo el comportamiento menor atribuido a que es un maíz de ciclo corto. Se requiere hacer un análisis de contenido de nutrientes en los maíces evaluados, así como la digestibilidad de la materia seca de los mismos. Es recomendable continuar haciendo evaluaciones con Chireto 1 y Exclusivo 23 para producción de biomas y Chireto 1 para tener forraje disponible en un periodo de tiempo más corto.

Referencias

Alvarado, R. N. M. (2024). Comunicación personal. Encargado del área de la producción de forrajes del Rancho “El Carmen”.

Conceicao-Dos Santos, L. F., Garruña, R., Andueza-Noh, R. H., Latournerie-Moreno, L., Mijangos-Cortés, J., & Pineda-Deporto, A. (2019). *Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 10(6): 1247-1258. doi.org/10.29312/remexca.v10i6.908

De La Torre, L. G. (2014). *Rendimiento de maíz forrajero (Zea mays* L.*) y valor nutritivo de ensilados en el Rancho El Carmen.* Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México.

Espíritu, R. J. C. (2023). *Rendimiento y valor nutritivo de Girasol* (*Helianthus annuus*) *y Maíz (Zea mays* L.*) bajo condiciones similares de manejo en el Rancho El Carmen*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México.

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república mexicana). Universidad Autónoma de México. Obtenido de https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf

González-Martínez, J., Rocandio-Rodríguez, M., Contreras-Toledo, A. R., Joaquín-Cancino, S., Vanoye-Eligio, V., Chacón-Hernández, J. C., & Hernández-Bautista, A. (2020). Diversidad morfológica y agronómica de maíces nativos del altiplano de Tamaulipas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana,* 43(4), 361-370. doi.org/10.35196/rfm.2020.4.361

Granados-Niño, J. A., Sánchez-Duarte, J. I., Ochoa-Martínez, E., Rodríguez-Hernández, K., Reta-Sánchez, D. G., & López-Calderón, M. J. (2022). Efecto del ciclo de producción sobre el potencial de rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero en la Comarca Lagunera*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 28, 207-217.

SAS Institute Inc. (2014). *SAS/STAT, Ver 9.3 User Guide*. Cary, NC.

Steel, R., & Torrie, J. (1980). *Principles and procedures of statistics a biometrical approach*. Michigan, E.U.A.: McGraw-Hill.

EVALUACIÓN NUTRICIONAL COMPARATIVA DE ENSILADOS MIXTOS DE GIRASOL (*Helianthus annuus*) Y MAÍZ (*Zea mays*) EN DIFERENTES PROPORCIONES

Marisabel Castro-Acosta[1], Miguel Angel Mata-Espinosa[1]*, José Ramón Hernández-Salgado[1], Gonzalo Hernández-Ibarra[1], Mauricio Velázquez-Martínez[2], David Hernández-Sánchez[3].

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas; km 40 Ctra. Gómez Palacio, Dgo.-Cd. Juárez, Chih.; CP 35230. Bermejillo, Mapimí, Durango, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Luis, km 14.5 Ctra. San Luis Potosí-Matehuala. Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP 78430. [3]Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Ctra. México-Texcoco. Montecillo, Edo. México. CP 56230. *Autor de correspondencia: mata@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

La Comarca Lagunera es una de las regiones más importantes del país en cuanto a actividades agrícolas y ganaderas se refiere (López et al., 2006). Es una región principalmente productora de leche; en el año 2023 se reportaron más de 2.89 millones de litros (SIAP, 2025). Sin embargo, en años recientes también la producción de carne ha tomado un auge, ya que según el SIAP (2025) para ese mismo año la producción en pie de ganado bovino de carne llegó a las 201,922 t. En la Comarca Lagunera, el maíz y el sorgo, después de la alfalfa, constituyen la base de la producción forrajera, por lo que el girasol (*Helianthus annuus* L.) se considera un cultivo alternativo para esta región. Esta especie ha presentado una muy buena adaptación a los cambios de temperatura y es un cultivo que no requiere cantidades grandes de agua (Aguilera et al., 2009).

El girasol se cultiva poco en la región Laguna-Durango ya que se informa solo de 57 ha establecidas para forraje en el año de 2015, siendo este año donde se tiene el registro más reciente (SIAP, 2025). Entre las bondades más sobresalientes del girasol forrajero destacan el contenido de nutrientes (Saín-Ramírez et al., 2020), el rendimiento de materia verde, adaptación a suelos de calidad media a pobre y requerimientos de agua menores a otros cultivos tradicionales forrajeros como el maíz, sorgo y la alfalfa (Escalante- Estrada et al., 2008; Penichet et al., 2010). Debido a estas características sobresalientes, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la inclusión de girasol con maíz forrajero en diferentes proporciones para la elaboración de ensilados y la calidad nutritiva de estos.

Materiales y métodos

Lugar del estudio. El estudio se realizó en el Rancho ¨El Carmen¨, perteneciente a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México. La región se ubica entre las coordenadas geográficas 25° 53’ 54.02’’ N y -103° 35’ 59.7’ O y una altitud media de 1,100 m. El área presenta una superficie plana donde se localiza el área agrícola, la cual tiene un clima seco desértico (Medina et al., 2005). El clima es tipo árido caliente desértico, seco, con régimen de lluvias en verano e inviernos fríos, clasificado como BW (h) HW (e); la precipitación pluvial media anual es de 258 mm y la evaporación media anual de 2,000 mm; la temperatura media anual de 21 °C con máxima de 33.7 °C y mínima de 7.5 °C (García, 1973).

Manejo agronómico. Para la preparación del área experimental (2,000 m^2) se realizó un rastreo doble y nivelación para posteriormente realizar la siembra, tanto del girasol como de maíz, en tierra venida el 12 de septiembre de 2024, con una sembradora mecánica de cuatro hileras y utilizando semilla de girasol forrajero variedad Hornet y maíz variedad ASH 1045, a una densidad de siembra de 8 plantas m^{-1}; lo que corresponde a una población de 94,117 plantas ha^{-1}. No se realizó ningún control de plagas dado que no se presentaron y las malezas se controlaron de forma manual. La cosecha se realizó el 13 de diciembre a los 90 días después de la siembra (dds). Se aplicaron 3 riegos de auxilio con una duración de 3 horas cada uno, el 23 de septiembre, 17 de octubre y 21 de noviembre. Se aplicó una fertilización base de 150 kg de fertilizante MAP por hectárea (12-52-00) al momento de la siembra y 50 kg de sulfato de amonio al primer riego de auxilio.

Elaboración de los mini-ensilados. Del material cortado y picado que se obtuvo de la cosecha de maíz y girasol, se tomaron muestras directamente para elaborar 15 mini ensilados. Estos mini silos fueron hechos de material plástico PVC con las siguientes dimensiones: 10.16 cm de diámetro y 18 cm de altura. Los mini-silos fueron llenados con el material cortado y picado y se compactaron de forma manual. Una vez que se llenaron, los contenedores fueron cerrados a presión e identificados; posteriormente, se colocaron en un lugar fresco y seco para que se llevara a cabo la fermentación de forma natural.

Tratamientos. Se diseñaron 5 tratamientos (mezclas Maíz:Girasol) con 3 repeticiones (mini-ensilados) con diferente inclusión de maíz forrajero (Cuadro 1). La Unidad Experimental correspondió a cada mini-ensilado elaborado.

Cuadro 1. Tratamientos para evaluar la calidad del forraje conservado en mini-ensilados elaborados con diferentes proporciones de girasol y maíz forrajero.

	Inclusión de forraje, % base húmeda		
Tratamiento	**Girasol**	**Maíz**	**Total**
1	100	0	100
2	75	25	100
3	50	50	100
4	25	75	100
5	0	100	100

Procesamiento de los ensilados. A los 60 días después de haber sido elaborados los mini-ensilados, fueron abiertos. De cada contenedor se pesó la materia húmeda total; asimismo, se les determinó el pH con ayuda de un potenciómetro Conductronic pH 120®. Del material fermentado de cada contenedor, se tomó una submuestra de 300 g aproximadamente para determinar el contenido de materia seca (MS) en una estufa de circulación forzada de aire Thermo Scientific® a una temperatura de 65 °C, durante un lapso de 24 a 72 horas; por diferencia de peso se obtuvo el contenido de MS. La MS obtenida se molió en un molino Thomas Wiley® con un diámetro de criba de 2 mm. Los análisis bromatológicos se realizaron en el laboratorio de planta, agua y suelo de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA). Empleando para su determinación de nutrientes el análisis proximal de Weende, la composición de los forrajes en cuanto a Cenizas Totales (Ce) y Materia Orgánica (MO) se refiere. La determinación de la proteína cruda (PC) se llevó a cabo en el laboratorio SIAGRO DRL S.C. empleando la metodología de AOAC 2001.11.

La Digestibilidad de Materia Orgánica (DMO) fue determinada utilizando la ecuación recomendada por Vicente et al. (2015):

DMO = 53.37 + 0.17* PC (Tatli y Çerç, 2006)

El cálculo de Energía Bruta (EB), Energía Metabolizable (EM) y Energía Neta (EN) se realizó mediante las ecuaciones recomendadas por Vicente et al. (2015).
Las ecuaciones se enlistan a continuación:

EM= 3.75*PC + 8.09* EE – 6.95*FC + 3.94* NIFEX t al. (1980)
R^2=94.4 NIFEX= ELN
ELN= 100 – (EE+ PC+ FC+CT) Moir et al. (1980)
CT=Ce
EN = 3.677 – 0.05021*EM + 0.00029*EM^2 ume (1980)
Nota: Se ajusta al % de MS
R^2 = 94.7
ENm = 1.37 x EM – 0.14EM^2 + 0.01EM^3 – 1.12 1985; EM en Mcal kg^{-1} MS
ENg = 1.42 x EM – 0.17EM^2 + 0.012EM^3 – 1.65 1985; EM en Mcal kg^{-1} MS

En consecuencia la falta de datos en la determinación de Extracto Etéreo (EE), Fibra Cruda (FC) y Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) se emplearon ecuaciones propuestas por Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay, para la determinación de Energía Neta de lactancia (ENl) en donde se sustituye el valor de Nutrientes Digestibles Totales (NDT), que resulta de la suma de las distintas fracciones que componen a los alimentos, multiplicados por su coeficiente de digestibilidad, por la Digestibilidad de Materia Orgánica (DMO) obtenida con la ecuación de Tatli y Çerç (2006) y así mismo asumiendo que la eficiencia en la utilización de EM para lactancia es de 60%, entonces EM*0.60= ENl y por lo tanto EM= ENl / 0.60. ENl (Mcal/kg MS) = - 0.12 + 0.0245 * (% DMO * % MO /100).

Análisis estadístico. Los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico con el uso del paquete estadístico SAS® (2014), utilizando un diseño completamente al azar con 5 tratamientos y 3 repeticiones, los tratamientos fueron la proporción de forraje ensilado y las unidades experimentales fueron los mini-ensilados elaborados. Para determinar la diferencia entre la media de los tratamientos evaluados, se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de α=0.05 (Steel y Torrie, 1980).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan los valores encontrados para las variables MS, Densidad (MV y MS) y pH en los ensilados evaluados. El contenido de MS de los ensilados fue diferente entre los tratamientos evaluados, a medida que fue aumentando la inclusión de girasol, disminuyó la concentración de MS, siendo mayor en el tratamiento que consideró solo maíz. El intervalo encontrado para esta variable fue de 37.33 % (T1) a 60.56 % (T5); estos valores se consideran inferiores a los que se recomiendan para llevar a cabo una buena fermentación durante el proceso general en los ensilajes donde se indica un contenido de materia seca promedio de 30 a 35 % (Améndola-Massioti et al., 2018), o cercanos a un 30 % (Ribeiro, 2007). En el presente estudio, solo el T2 y T3 se aproximan a esta condición y fueron lo que contenían una proporción mayor de girasol. Para el caso de T3 a T5, el contenido de MS fue mayor, lo que estuvo relacionado con una inclusión mayor de maíz, estos resultados no coinciden con otros estudios hechos con este mismo forraje, donde esta variable está por debajo del 30 % (Ribeiro, 2007; Jiménez y Medina, 2016; Pérez, 2018).

La cantidad de materia seca contenida en un ensilado es un reflejo de la densidad (peso/volumen) de los mismos, tanto en materia verde (MV) como seca (MS). Según Udina (2018), en ensilados el objetivo es siempre estar por encima de 210 kg m^{-3} de MS, si los valores son inferiores será propenso a la entrada de oxígeno y a la inestabilidad anaerobia. En este sentido, la densidad de MV encontrada en el presente estudio fue similar entre tratamientos; sin embargo, el resultado para densidad de MS fue diferente ($p \leq 0.05$), siendo mayor en los T4 y T5 lo cual estuvo relacionado con un contenido de MS también mayor. Todos los tratamientos estuvieron por encima de 210 kg m^{-3} de MS, que indica Udina (2018) para un buen ensilado.

Cuadro 2. Variables físicas y químicas en ensilados de girasol y maíz forrajero con proporciones diferentes de inclusión.

	Tratamientos*					
Variable	**T1±EE**	**T2±EE**	**T3±EE**	**T4±EE**	**T5±EE**	**CV**
MS ensilados, %	37.33±1.47^{c}	37.66±1.47^{c}	41.82±1.47^{c}	52.99±1.47^{b}	60.56±1.47^{a}	5.55
Densidad MV, kg m^{-3}	759.61±18.16^{a}	779.71±18.16^{a}	786.56±18.16^{a}	766.46±18.16^{a}	839.09±18.16^{a}	4.00
Densidad MS, kg m^{-3}	283.37±13.20^{c}	293.63±13.20^{c}	328.92±13.20^{c}	405.96±13.20^{b}	508.19±13.20^{a}	6.28
pH	3.69±0.04^{bc}	3.77±0.04^{b}	3.71±0.04^{bc}	3.60±0.04^{c}	3.94±0.04^{a}	1.62

*T1:100 % Girasol; T2: 75 % Girasol:25 % Maíz; T3: 50% Girasol:50 % Maíz; T4: 25 % Girasol:75 % Maíz; T5: 100 % Maíz; MS: Materia Seca; MV: Materia Verde; CV: Coeficiente de Variación (%); EE: Error Estándar. Diferente literal por línea, indican diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos evaluados (Tukey; α = 0.05).

Para ensilados bien conservados, se considera un pH entre 3.8 y 4.2 como adecuado (Ribeiro et al., 2007). En el presente estudio, el intervalo encontrado fue de 3.69 a 3.94 que corresponde a lo recomendado, y el tratamiento que presentó el valor más alto fue el que incluyo solo maíz.

Los tratamientos evaluados en el presente estudio tuvieron un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre la cantidad de proteína en el material ensilado (Cuadro 2). Los valores obtenidos estuvieron en un intervalo de 8.51 a 11.74 %. La concentración de este nutriente es similar a la reportada por Jiménez y Medina (2016) con 11.15 % cuando ensilaron girasol forrajero de la misma variedad. Considerando esta información, se puede afirmar que el valor de esta variable puede estar contenido en un intervalo que va de 10.1 a 12.7 % (Fassio et al., 2001). El tratamiento que resultó con concentración mayor para PC fue el que incluyó solo girasol y el que tuvo la concentración menor fue el que contenía solo maíz.

Cuadro 3. Variables químicas y digestibilidad de la materia orgánica en ensilados de girasol y maíz forrajero con proporciones diferentes de inclusión.

	Tratamientos*					
Variable	**T1±EE**	**T2±EE**	**T3±EE**	**T4±EE**	**T5±EE**	**CV**
PC, %	8.51±0.29^{a}	8.73±0.29^{b}	9.28±0.29^{bc}	9.98 ±0.29^{bc}	11.74±0.29^{c}	5.16
MO, %	91.63±0.46^{a}	91.55±0.46^{a}	90.30±0.46^{ab}	88.66±0.46^{b}	84.83±0.46^{c}	0.90
Digest. MO, %	55.37±0.05^{a}	55.06±0.05^{b}	54.95±0.05^{bc}	54.86±0.05^{bc}	54.81±0.05^{c}	0.15
Cenizas, %	8.37±0.46^{c}	8.45±0.46^{c}	9.70±0.46^{bc}	11.34±0.46^{b}	15.17±0.46^{a}	7.57

*T1:100% Maíz; T2: 75 % Maíz:25 % Girasol; T3: 50 % Maíz:50 % Girasol; T4: 25% Maíz:75 % Girasol; T5: 100 % Girasol; MS: Materia Seca; MV: Materia Verde; CV: Coeficiente de Variación (%); EE: Error Estándar. Diferente literal por línea, indica diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos evaluados (Tukey; α = 0.05).

La cantidad de MO encontrada fue diferente entre los tratamientos evaluados ($p \leq 0.05$), los valores estuvieron en un intervalo de 84.83 % (T5) a 91.63 % (T1), a medida que los ensilados contenían una proporción mayor de maíz, la proporción de MO se incrementó (Cuadro 2). Esta variable tuvo relación directa con la cantidad de cenizas encontrada; a mayor cantidad de inclusión de maíz en los ensilados, la cantidad de cenizas fue menor, y viceversa. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Jiménez y Medina (2016) con ensilados de girasol (15.64 %) y Pérez (2018) con un intervalo de 12.83 a 13.99 %. La digestibilidad de MO encontrada fue diferente entre los tratamientos evaluados ($p \leq 0.05$), la cual fue mayor para los ensilados de los tratamientos que incluyeron una cantidad mayor de maíz.

El contenido energético de los ensilados se muestra en el Cuadro 3. Se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados; la tendencia general fue que, a mayor cantidad de maíz incluido en los ensilados, la cantidad de energía encontrada fue mayor. El NRC (2001) considera que el ensilado de maíz, con un contenido de MS menor al 25 %, presenta valores de EM, ENm, ENl y ENg de 2.21, 1.48, 1.36 y 0.89 Mcal kg^{-1} MS respectivamente. Considerando los resultados obtenidos en el presente estudio, solamente el contenido de ENg cumple con lo propuesto por el NRC. Con estos resultados, se puede afirmar que la ENg obtenida en todos los tratamientos es comparable con aquella obtenida de forrajes de buena calidad.

Cuadro 4. Variables energéticas en ensilados de girasol y maíz forrajero con proporciones diferentes de inclusión.

	Tratamientos*					
Variable	**T1±EE**	**T2±EE**	**T3±EE**	**T4±EE**	**T5±EE**	**CV**
EM, Mcal kg^{-1} MS	1.87±0.01^{a}	1.86±0.01^{ab}	1.82±0.01^{bc}	1.79±0.01^{c}	1.70±0.01^{d}	0.93
ENm, Mcal kg^{-1} MS	1.02±0.01^{a}	1.01±0.01^{ab}	0.97±0.01^{bc}	0.94±0.01^{bc}	0.85±0.01^{d}	1.73
Eng, Mcal kg^{-1} MS	1.20±0.02^{a}	1.17±0.02^{a}	1.11±0.02^{ab}	1.03±0.02^{b}	0.86±0.02^{d}	3.25
ENl, Mcal kg^{-1} MS	1.13±0.01^{a}	1.12±0.01^{a}	1.10±0.01^{ab}	1.07±0.01^{b}	1.02±0.01^{c}	1.09

*T1: 100 % Maíz; T2: 75 % Maíz:25 % Girasol; T3: 50 % Maíz:50 % Girasol; T4: 25 % Maíz:75 % Girasol; T5: 100 % Girasol; MS: Materia Seca; MV: Materia Verde; CV: Coeficiente de Variación, %); EE: Error Estándar. Diferente literal por línea, indica diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos evaluados (Tukey; α = 0.05).

Estudios similares realizados con ensilados con girasol (Jiménez y Medina, 2016) indican un contenido de energía metabolizable de 2.20 Mcal kg^{-1} MS); ENl (1.36 Mcal kg^{-1} MS); ENm (1.35 Mcal kg^{-1} MS) y ENg (0.77 Mcal kg^{-1} MS). Todos estos valores fueron mayores a los que se encontraron en la presente investigación. Este mismo comportamiento lo informa De la Torre (2014) para el contenido energético en ensilados a base de maíz forrajero donde se indican valores de 2.20 Mcal kg^{-1} MS para EM; ENl, 1.36 Mcal kg^{-1} MS; ENm, 1.38 Mcal kg^{-1} MS y para ENg, 0.80 Mcal kg^{-1} MS. En general, el contenido energético para la materia seca de los tratamientos evaluados fue menor al compararse con otras investigaciones relacionadas.

Conclusiones

Es factible elaborar ensilados mezclando maíz y girasol en diferentes proporciones; la densidad de la MS en los silos fue adecuada y el pH fue consistente, lo que refleja un proceso de fermentación adecuado. La proteína cruda aumentó a medida que el girasol estuvo en proporción mayor; la digestibilidad de la materia orgánica aumentó conforme disminuyó la proporción de girasol en las mezclas y el contenido de cenizas fue menor. El contenido energético de las diferentes mezclas evaluadas fue mayor cuando la cantidad de maíz estuvo en proporción mayor.

Referencias

Aguilera V. J. E., Espinoza B. A., Palomo G. A., Gutiérrez de R. E., Lozano G. J. J. (2009). Efecto del patrón de siembra en la producción de materia seca (*Helliantus annuus* L.) para forraje. Revista Agraria - Nueva época. México.

Améndola-Massiotti R.D., González-Ortiz R., Topete-Pelayo P. (2018). Bases del ensilaje de maíz y alfalfa. *Avances de la Investigación sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México.* 117-131. https://www.researchgate.net/profile/Luis-Cruz-Bacab/publication/326679463_Efecto_del_uso_de_castana_Artocarpus_camansi_como_suplemento_preiniciador_en_lechones/links/5ba51626a6fdccd3cb69c885/Efecto-del-uso-de-castana-Artocarpus-camansi-como-suplemento-preiniciador-en-lechones.pdf#page=125

Escalante- Estrada L., Escalante-Estrada Y. & Linaza- Elizalde C. (2008). Densidad de siembra del girasol forrajero. *Agronomía Costarricense*. 32 (2): 177 – 178

Fassio, A., Cozzolino, D. y Fernández, E. (2001). Girasol alternativa forrajera. Unidad de agronegocios y difusión del INIA. Montevideo, Uruguay.

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república mexicana). Universidad Autónoma de México. Recuperado de: https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf

Jiménez, A.C.S. y Medina, S.O.K. (2016). *Evaluación productiva de girasol (Helianthus anuus L.) Fam. Asteraceae de medio riego y calidad nutritiva de ensilados en La Loma, Lerdo, Durango.* Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

López, J., Avalos, A., Martínez, E., Valdez R., y Salazar, E. (2006). Características físicas del suelo y rendimiento de maíz forrajero evaluado con labranza y fertilización organica-inorganica. Recuperado el 16 de agosto de 2017, http://www.redalyc.org/pdf/573/57311103014.pdf

Moir, K. W., Yule, W. J. & Connor, J. K. 1980. Energy losses in the excreta of poultry: a model for predicting dietary metabolizable energy. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 20:151.

Noguera R, Gonclaves L. & Perreira L. (2006). Calidad de los ensilados de cuatro genotipos de girasol (Helianthus annus) ensilados con diferentes proporciones de la planta: materia seca, fracción nitrogenada, pH y extracto etéreo. *Livestock Research for rural development.* 18 (7) https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd18/7/nogu18096.htm

NRC. 2001. Nutrient Requirement of Dairy Cattle (7º Ed). Washington D.C., U.S.A.: National Academy Press.

Panciera M., Kunkle W. & Fransen M. (2003). Ciencia y tecnología del silo. *Sociedad agrónoma americana Inc. Wisconsin.*

Penichet M., Pérez R. & García P. (2010) El cultivo del girasol como alternativa forrajera viable para la alimentación del ganado. *Centro Agrícola*. 37 (2) 69 – 73

Pérez Pérez, J. E. (2018). *Rendimiento y valor nutritivo de girasol (Helianthus anuus L.) bajo diferentes sistemas de riego y densidades.* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas]. Repositorio institucional.

Ribeiro, L. G. P., Gonçalves, L. C., Rodriguez, N. M., & Tomich, T. R. (2007). Ensilaje de girasol como opción forrajera. In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: JORNADA SOBRE PRODUCCIÒN Y UTILIZACIÒN DE ENSILAJES, Bahía Blanca, Argentina. Conferencias. Bahía Blanca: Universidad Nacional Del Sur.

Sainz-Ramírez A., Botana A., Pereira-Crespo S., Veiga M., Resh C., Valladares J., Arriaga-Jordán C. & Flores - Calvete G. (2020) Efecto de la fecha de corte y del uso de aditivos en la composición química y calidad fermentativa de ensilado de girasol. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 11 (3) https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5092

Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2023). Anuario Estadístico de la producción Agrícola. Consultado el 28 de octubre del 2024. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). Anuario estadístico de la producción ganadera. SADER. Recuperado el 28 de enero de 2025. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Steel, R.G.D., Torrie, J.H. (1980). Principles and procedures of statistics. 2ª edición. McGraw-Hill. New York.

Tatli, P.S y Çerç, I. (2006). Relationship between nutrient composition and feed digestibility determined with enzyme and nylon bag (in situ) techniques in feed sources. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*. 9(9). 107-113.

Udina Bonet, A. (2018). Control de la fermentación en los ensilados de hierba. *Vaca Pinta*. Vol 2. (03). 54 - 60. https://vacapinta.com/media/files/fichero/vacapinta002_agricultura_fermentacion_ensilados_castelan.pdf

Vicente-Pérez, R., Avendaño-Reyes, L., Álvarez, F. D., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C. A., Mellado, M., Quintero-Elisea, J. A. y Macias-Cruz, U. (2015). Productive performance, nutrient intake and productivity at lambing of hair breed ewes supplemented with energy in the pre-partum during summer and winter. Arch. Med. Vet. 47(3). 301-309.

PRODUCCIÓN DE CHILE (*Capsicum annuum* L.) FUERA DE TEMPORADO EN FECHA TEMPRANA CON USO DE MICROTUNELES EN LA REGIÓN LAGUNERA

Yasmin Ileana Chew Madinaveitia[1*], Arturo Gaytán Mascorro[2], Francisco Retana López[3]

[1]INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte. Col. Centro. C.P. 27440. Matamoros, Coah. [2]UAA Antonio Narro-Unidad Laguna. Departamento de Fitomejoramiento. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fé. Torreón, Coah. [3]Junta Local de Sanidad Vegetal de la Región Lagunera de Durango. Calle Chihuahua 14 Pte. Col. Centro. C.P. 35100. Ciudad Lerdo, Dgo.
*Autora de correspondencia: chew.yazmin@inifap.gob.mx

Introducción

En la Región Lagunera, la superficie dedicada a la producción de chile (*Capsicum annum* L.) es de 795 hectáreas; es la tercera hortaliza en cuanto a superficie, después de melón y de sandía (SIAP, 2025). En esta región, el establecimiento del cultivo del chile es en los meses de marzo y abril para cosechar a partir del mes de junio. En este periodo se tiene competencia con los estados de Chihuahua, Zacatecas y San Luis Potosí, que inician sus cosechas en junio-julio, lo que afecta el precio del fruto. La estrategia para que el cultivo sea redituable en esta región, es cosechar en un período en donde no se concentren las cosechas de los principales estados productores de chile; ocurriendo esto durante los meses de abril y mayo (Chew et al., 2024).En México, en el ciclo otoño-invierno (O-I), las plantaciones de chile son durante los meses de octubre a diciembre y la cosecha es a partir del mes de enero y hasta el mes de julio; en éste ciclo destacan los estados de Sonora y Sinaloa (SIAP, 2025). En el ciclo primavera-verano (P-V), se establece la mayor superficie destinada al cultivo de chile verde y chile para secado, principalmente en los estados de Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato. Las plantaciones en este ciclo son durante los meses de abril a julio y la cosecha en el periodo de junio a diciembre (SIAP, 2024; SIAP, 2025). La diferencia entre poder dedicarse o no, a la producción de chile fuera de temporada en la Región Lagunera, se fundamenta en el uso de microtuneles de polipropileno (agribón), tecnología de éxito generada por INIFAP para producir hortalizas fuera de temporada en fecha temprana. Esta tecnología, dentro de los sistemas de protección considerados en agricultura protegida es una de las de menor inversión y ha demostrado ser rentable en otros cultivos, ya que el material se puede utilizar en varios ciclos de producción, amortizando el costo de esta tecnología. Se tienen estimaciones realizadas con precios del fruto en las primeras cosechas del cultivo (mes de abril), que el costo del agribón puede pagarse con 2 t/ha de melón; 4 t/ha de sandía y de 0.685 t/ha hasta 1.2 t/ha en chile (primer día de cosecha en cada cultivo). La utilidad del uso de microtuneles en la Región Lagunera ha sido consignado en otros estudios en los cultivos de melón y de sandía (Gaytán et al., 2012; Gaytán et al., 2015; Chew et al., 2018a; Chew et al., 2018b), los cuales indican que protegen los cultivos de condiciones de bajas temperaturas (heladas), viento, roedores que se alimentan de las semillas, y actúan también, como barrera contra insectos y evitan problemas de virosis. En el cultivo de melón, el uso de micortuneles de polipropileno ha incrementado su productividad y rentabilidad (Gaytán et al., 2020). En base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue comparar el sistema de producción tradicional de chile jalapeño y el sistema de producción alternativo con uso de microtuneles de polipropileno para producir fuera de temporada en fecha temprana bajo las condiciones de la Región Lagunera.

Materiales y métodos

Se dio seguimiento a plantaciones de chile jalapeño (híbrido Mixteco) con el sistema de producción con microtuneles, establecidas en fechas tempranas en dos localidades del municipio de Gómez Palacio, Durango y una del municipio de Lerdo, Durango. El trasplante fue realizado en el mes de diciembre en el ciclo otoño-invierno 2024-2025. Se usaron microtúneles de polipropileno (agribón) con el propósito de proteger al cultivo de bajas temperaturas y cosechar en fecha temprana. En el sistema de producción tradicional (sin uso de microtúneles), el establecimiento del cultivo (híbrido Mixteco) fue en el mes de marzo de 2025 en una localidad del municipio de Lerdo, Durango. Los datos registrados en ambos sistemas de producción fueron: días después del trasplante (ddt) del retiro de microtúneles, ddt a primera cosecha y producción. El manejo del cultivo con el uso de microtuneles fue riego por cintilla, el agua proviene del almacenamiento en estanques que se realiza durante el periodo de apertura de las presas para riego de cultivos (agua de río) a nivel regional; no se tuvieron restricciones en aplicación de fertilizante, ni para el control de plagas y enfermedades. En la plantación con el sistema tradicional el riego fue por gravedad.

Resultados y discusión

Las huertas de chile con uso de microtúneles fueron establecidas entre el 15 al 24 de diciembre de 2024 y la del sistema tradicional (sin microtunel) el 14 de marzo de 2025. Los microtuneles fueron retirados a los 108 días después del trasplante (ddt). El periodo desde el establecimiento hasta inicio de cosecha en el sistema con microtuneles fue 113 días (primera quincena de abril) y en el sistema tradicional fue de 83 días (primera quincena de junio). Sin embargo, la diferencia entre el inicio de cosecha con el uso de microtuneles y el sistema tradicional fue de 55 días; período en donde se realizaron en promedio tres cosechas en el sistema con los microtuneles.

En las huertas de chile con la tecnología de los microtúneles, la dinámica de las cosechas y precio del fruto por mes fue de la siguiente: cosecha promedio del mes de abril, 30.5 t/ha y un precio de $19.5 /kg; el rango de producción en abril fue de 24 a 33 t/ha, y de precio desde $18.0 hasta $22.0 /kg de fruto; cosecha promedio del mes de mayo, 25.5 t/ha y un precio de $17.0/kg de fruto, el rango de producción en mayo fue de 18 a 34 t/ha, y precio de $16.0 a $18.0 kg de fruto; cosecha promedio durante el mes de junio de 14.3 t/ha y $9.0 kg de fruto; el rango de producción de junio fue de 9 a 20 t/ha y precio de $9.0 kilo de fruto (Figura 1) . En las huertas de chile en el sistema convencional (sin microtúneles), la producción y precio del fruto fue la siguiente: cosecha promedio del mes de junio 14 t/ha y precio de $12.5 kg, el rango de producción fue de 13 a 15 t/ha y precio de $9.0 a $16.0 kg; cosecha promedio del mes de julio 13.5 t/ha y $5.0 /kg de fruto; el rango de producción de las cosechas fue de 12 a 15 t/ha y el precio de $4.0 a $6.0 /kg de fruto (Figura 1).

En la Figura 1, solamente se presentan el promedio de la producción y precio de primeros tres cortes de las plantaciones de otoño-invierno, y dos de las de primavera, pero el productor continúa cosechando hasta que el cultivo es rentable. La variación del precio en el mercado está sujeta a la oferta y demanda. En el año 2024 se registraron precios extraordinarios de hasta $35.0 /kg en el primer corte del chile, primera semana de abril, de las plantaciones del ciclo otoño-invierno (2023-2024) (Chew et al., 2024).

La tecnología de los micotúneles para adelantar la fecha de trasplante del cultivo de chile en la Región Lagunera, es una opción viable, porque se cosecha en un periodo con menor competencia de otros estados productores, y es una oportunidad de obtener un mejor precio del producto (abril-mayo).

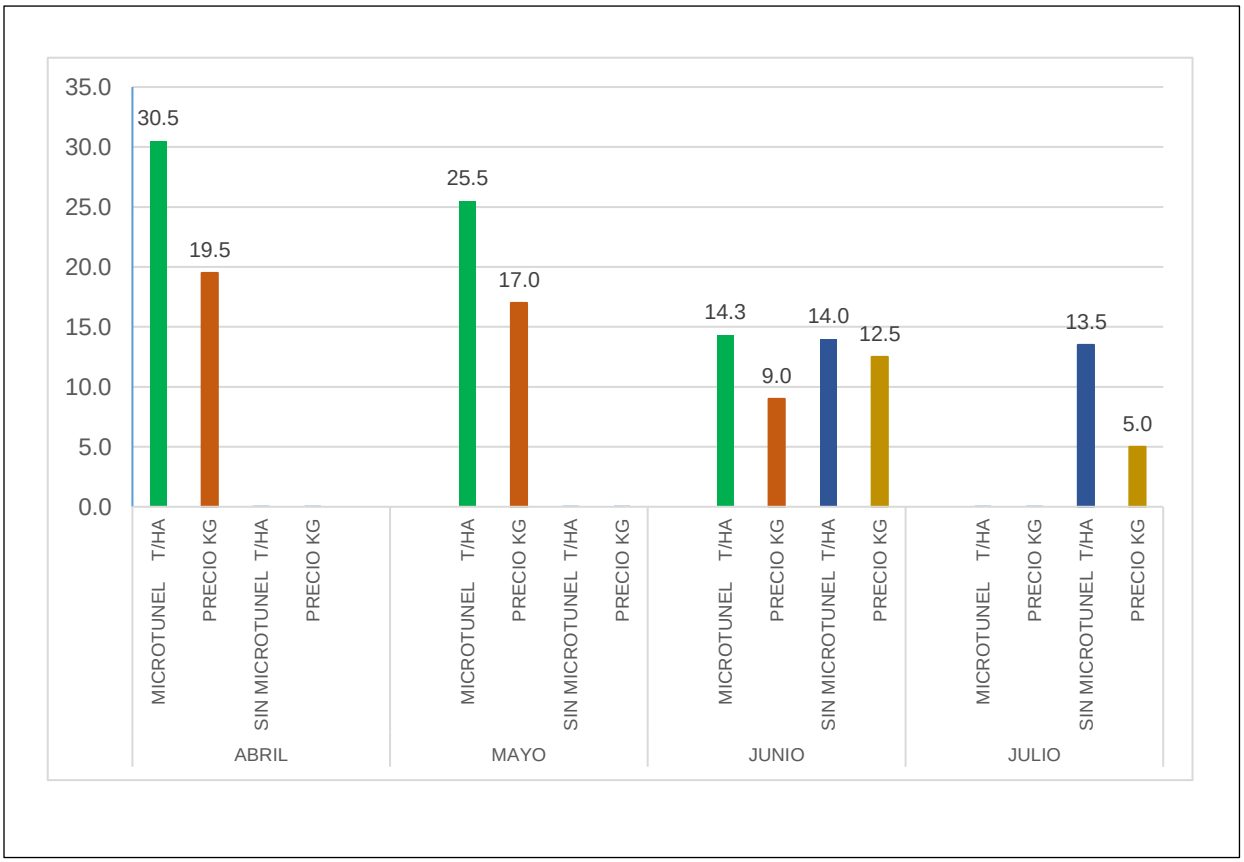


Figura 1. Rendimiento y precio promedio de chile tipo jalapeño, establecido en dos sistemas de producción, con uso de microtúneles de agribón en fecha temprana (diciembre 2024); y sin microtúneles en fecha convencional (marzo 2025) en la Región Lagunera.

El costo de la tecnología de microtúnel de polipropileno es de $32,000 por hectárea, incluye el polipropileno (agribón), alambre, mano de obra para instalar y retirar los microtúneles. El agribón se recicla varios años y el alambre de manera indefinida, lo que reduce el costo por implementar la tecnología. Además, la inversión se amortiza por el precio del fruto en fecha temprana.

Conclusiones

Con la tecnología de los microtúneles, es factible ampliar la fecha de establecimiento del cultivo de chile verde a partir del mes de diciembre y adelantar la cosecha a partir del mes de abril, mejorando la productividad y rentabilidad del cultivo en la RegiónLagunera.

Referencias

Chew-Madinaveitia, Y.I., Gaytán-Mascorro, A., Samaniego-Gaxiola, J.A., & Reta-Sánchez, D.G. (2018a). Uso de sistemas de protección para el manejo del virus del amarillamiento y achaparramiento de las cucurbitáceas en melón en fecha tardía. Agrofaz 18(1):71-79.

Chew-Madinaveitia, Y.I., Gaytán-Mascorro, A., Samaniego-Gaxiola, J.A., & Reta-Sánchez, D.G. (2018b). Uso de microtuneles de agribón en fechas de siembra tardías de melón para el manejo del virus del amarillamiento y achaparramiento de las cucurbitáceas en la Comarca Lagunera. Desplegable para Productores Núm. 33. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coah.

Chew-Madinaveitia, Y.I., Gaytán-Mascorro, A., Retana-López, F., Espinoza-Arellano, J.J., & Velásquez-Valle, R. 2024. Microtuneles en chile para producir fuera de temporada en fecha temprana en la Comarca Lagunera. Brazilian Journal of Animal and Environmental Reserach, Curitiba 7(3):1-12

Gaytán-Mascorro, A., Chew-Madinaveitia, Y.I., Espinoza-Arellano, J.J., Reta-Sánchez, D.G. & Reyes-Juárez, I. (2012). Efecto del injerto y uso de microtúneles mas ambiente natural en el rendimiento de sandía en la Región Lagunera. Agrofaz 12(4):73-78.

Gaytán-Mascorro, A., Chew-Madinaveitia, Y.I., Reta-Sánchez, D.G., & Espinoza-Arellano, J.J. (2015). Microtúneles para producción de melón y sandía fuera de temporada en la Comarca Lagunera. Desplegable para productores Núm. 19. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila.

Gaytán-Mascorro, A., Chew-Madinaveitia, Y.I., Espinoza-Arellano, J.J., Reta-Sánchez, D.G., Samaniego-Gaxiola, J.A., & Martínez-Agüero, H. (2020). Use of micro tunnels to produce cantaloupe melon out of season in the comarca lagunera region, northern Mexico. Horticult Int J. 4(4):122–123.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). Producción mensual agrícola. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. Acceso 2 de septiembre de 2025.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2025). Producción mensual agrícola. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. Acceso 2 de septiembre de 2025.

INOCULANTES EN LOS CULTIVO DE TRÉBOL ALEJANDRINO (*Trifolium alexandrinum* L.), CHÍCHARO (*Pisum sativum* L.) Y GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) Y SU EFECTO EN LA FORMACIÓN DE NÓDULOS

Yasmin Ileana Chew Madinaveitia[1*], Arturo Gaytán Mascorro[2], Esmeralda Ochoa Martínez[1], David Guadalupe Reta Sánchez[3], Juan isidro Sánchez Duarte[1].

[1]INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte. Col. Centro. C.P. 27440, Matamoros, Coah. INIFAP. [2]UAA Antonio Narro-Unidad Laguna. Departamento de Fitomejoramiento. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fé. Torreón, Coah. [3]INIFAP-Campo Experimental Delicias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Delicias, Chih. *Autora de correspondencia: chew.yazmin@inifap.gob.mx

Introducción

Las leguminosas, que incluyen a los cultivos de chícharo y garbanzo, son de interés por su aporte proteico en la dieta de los humanos y animales. Su importancia radica, por su interacción con bacterias (rizobios) que fijan biológicamente al nitrógeno (FBN); convierten el nitrógeno atmosférico en amonio aprovechable por las plantas; incrementan la biomasa bacteriana asociada a un suelo con mejor estructura y nutrientes más accesibles (Isidra-Arellano & Valdés-López, 2022; Vargas-Blandino & Cárdenas-Travieso, 2021). La asociación leguminosas-bacterias, permite su establecimiento en regiones con bajo contenido de materia orgánica y nutrientes o con problemas de contaminación con elementos potencialmente tóxicos (EPT), al restaurar y rehabilitar los suelos (Bianco, 2020; López-Alcocer et al., 2020; Noguez-Inesta et al., 2021).

En la simbiosis leguminosas-bacterias, se forman nódulos en las raíces, donde se realiza la fijación de nitrógeno que varía de 24 a 584 kg N ha^{-1} y en algunos casos, abastecer hasta el 90% de los requerimientos de las plantas (Ángeles-Núñez & Cruz-Acosta, 2015; López-Alcocer et al., 2020). Otra característica de las leguminosas es como abono verde, el garbanzo aporta hasta 300 kg ha^{-1} de nitrógeno (Vargas-Blandino & Cárdenas-Travieso, 2021). Los inoculantes a base de bacterias fijadoras de nitrógeno, conocidos también como biofertilizantes, son una opción para reducir o prescindir de fertilizantes nitrogenados y se utilizan cuando la población nativa de rizobios en el suelo no es la adecuada, o no fija la cantidad suficiente de nitrógeno, o no es específica para la leguminosa a sembrar. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de inoculantes en la formación de nódulos en los cultivos de trébol, chícharo y garbanzo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el INIFAP-Campo Experimental Delicias, en Delicias, Chihuahua (28° 11’ latitud norte y 105° 30’ longitud oeste y 1,178 m de altitud). Para evaluar el efecto de los inoculantes a base de bacterias fijadoras de nitrógeno en los cultivos de trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum* L.), chícharo (*Pisum sativum* L.) y garbanzo (*Cicer arietinum* L.), se realizó un ensayo con semilla inoculada y semilla sin inocular (con fertilización nitrogenada).

Inoculación de las semillas: Previo a la siembra, las semillas fueron tratadas con inoculantes específicos para cada cultivo; para trébol una mezcla de *Sinorhizobium meliloti* y *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* (Clover); para garbanzo, *Mesorhizobium ciceri*; para chícharo, *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae.*

Siembra: La siembra fue en seco el 29 de septiembre de 2023; la textura del suelo es franco arenosa en estrato 0-30 cm y franco arcilloso arenoso en el de 30-60 cm. El lote experimental se fertilizó con 80 kg ha^{-1} de P_2O_5, utilizando fosfato monopotásico. En las parcelas con la semilla sin inocular, se aplicaron 250 kg ha^{-1} de nitrógeno con Novatec 45. Se aplicaron dos riegos de auxilio.

Muestreo de raíces: Fueron realizados tres muestreos: etapas vegetativa, floración e inicio de llenado de vaina. Para el muestreo, con una pala se hicieron zanjas alrededor de las plantas, teniendo cuidado de extraer la mayor cantidad de raíces; para retirar el exceso de tierra de las raíces, fueron lavadas con agua.

Evaluación de nódulos*:* Los nódulos de las raíces, se observaron con un microscopio estereoscópico. Se realizaron cortes transversales para determinar su coloración interna. La coloración rosa/roja de los nódulos, es por la proteína leghemoglobina, un indicativo de que los nódulos están activos (Pommeresche. & Hansen, 2017)

Resultados y discusión.

Trébol alejandrino. No se detectaron nódulos en las raíces de la semilla inoculada en los tres muestreos o etapas fenológicas; aunque el inoculante era el específico para trébol, probablemente no se presentaron las condiciones para la simbiosis cultivo-bacteria. En las raíces de las plantas con fertilización nitrogenada, tampoco se observaron nódulos.

Chícharo. Se detectaron nódulos en las raíces de las plantas de semillas inoculadas. El porcentaje de nódulos activos, en la etapa vegetativa fue de 23.4%; en la etapa de floración se registró el mayor porcentaje de nódulos activos con un 69.5%; en la etapa de inicio de llenado de vaina, el porcentaje decreció a 52.6% (Cuadro 1).

En el tratamiento de fertilización nitrogenada, se observaron nódulos en las etapas de floración e inicio de llenado de vaina con valores de 37.2% y 30.4%, respectivamente. Porcentajes menores que en el tratamiento de inoculación a la semilla con bacterias fijadoras de N (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de nódulos activos en las raíces de plantas de chícharo con semilla inoculada con bacterias fijadoras de N y fertilización nitrogenada. Campo Experimental Delicias. Otoño-invierno 2023-2024.

Muestreo / etapa	Tratamiento	Nódulos activo
Vegetativa	Inoculación	23.4
	Fertilización nitrogenada	0.0
Floración	Inoculación	69.5
	Fertilización nitrogenada	37.2
Inicio llenado vaina	Inoculación	52.6
	Fertilización nitrogenada	30.4

Garbanzo. En este cultivo, se formaron nódulos en el tratamiento de inoculación de las semillas con bacterias fijadoras de N y en el tratamiento de fertilización nitrogenada (semilla sin inocular). El mayor porcentaje de nódulos activos en las tres etapas fenológicas fue a favor de la inoculación a la semilla; y entre las etapas, en la de floración se tuvieron más nódulos activos (70%) (Cuadro 2).

En el tratamiento de fertilización nitrogenada, el porcentaje de nódulos activos, fue similar en las tres etapas fenológicas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de nódulos en las raíces de plantas de garbanzo con semillas inoculada con bacterias fijadoras de N y fertilización nitrogenada. Campo Experimental Delicias. Otoño-invierno 2023-2024.

Muestreo / etapa	Tratamiento	Nódulos activos
Vegetativa	Inoculación	54.3
	Fertilización nitrogenada	21.4
Floración	Inoculación	70.0
	Fertilización nitrogenada	27.4
Inicio llenado vaina	Inoculación	61.6
	Fertilización nitrogenada	24.3

En este ensayo, en los cultivos de chícharo y garbanzo, el mayor porcentaje de nódulos activos fue en la etapa de floración; Pommeresche y Hansen (2017), mencionan que, en leguminosas, los nódulos se aprecian a las cuatro a seis semanas después de la siembra y tienen su máxima actividad en la floración. Posteriormente, el número de nódulos activos decrece, determinado por su ciclo de vida determinado, y pasar a una etapa de senescencia nodular con menor actividad de fijación de nitrógeno (Fernández-Luqueño y Espinoza-Victoria, 2008).

La formación de nódulos activos, indica que hubo un reconocimiento entre las bacterias fijadoras de nitrógeno de los inoculantes utilizados y los cultivos de chícharo y garbanzo. En el tratamiento de fertilización nitrogenada, sin inoculación a la semilla, también se detectaron nódulos activos, pero en menor porcentaje que en el tratamiento de inoculación (Cuadros 1 y 2), lo que sugiere que los cultivos fueron colonizados por bacterias nativas específicas a cada especie. En chícharo y garbanzo se han aislado bacterias nativas, que pueden ser potenciales para utilizarse como inoculantes (Moreno-Chirinos et al., 2016; Ortega-García et al., 2024).

Conclusiones

Los inoculantes de bacterias fijadoras de nitrógeno fueron efectivos en la formación de nódulos activos en los cultivos de chícharo y garbanzo. Los inoculantes en estas especies, se pueden considerar como una opción a la fertilización nitrogenada.

Referencias

Ángeles-Núñez, J.C. & T. Cruz-Acosta. (2015). Aislamiento, caracterización molecular y evaluación de cepas fijadoras de nitrógeno en la promoción del crecimiento de frijol. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6:929-942.

Bianco, L. (2020). Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. IDESIA. 389(2):21-29.

Fernández-Luqueño, F., y Espinoza-Victoria, D. (2008). Bioquímica, fisiología y morfología de la senescencia nodular: una revisión crítica. Terra Latinoamericano 26:133-144

Isidra-Arellano, M., & O. Valdés-López. (2022). ¿Cómo controlan las leguminosas el número de nódulos para evitar comprometer su crecimiento y desarrollo? Revista de Educación Bioquímica 41(2):51-65.

López-Alcocer, J.J., R. Lépiz-Idelfonso, D.R. González-Eguiarte, R. Rodríguez-Macías & E. López-Alcocer. (2020). Eficiencia en fijación biológica de nitrógeno de cepas de *Rhizobium* spp. recolectadas en frijol cultivado y silvestre. Terra Latinoamericana 38:841-852.

Moreno-Chirinos, Z.E., Valdez-Núñez, R.A., Soriano-Bernilla, B.S. & Ruesta-Campoverde, N.A. (2016). Eficiencia en la nodulación por rizobios nativos, procedentes de nódulos de *Pisum sativum* "arveja" colectados en diferentes Departamentos de Perú. Scientia Agropecuaria 7(3):165-172. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.02

Noguez-Inesta, A., A.S. López-Sánchez, R. Carrillo-González & M.C.A. González-Chávez. (2021). Uso de leguminosas (Fabaceae) en fitorremediación. Agroproductividad 10(4):57-62.

Ortega-García, M.S., Ríos-Rocafull, Y., Zelaya-Molina, L., Lara-Aguirre, J., Arteaga-Garibay, R. & Nápoles-García, M.C. (2024). *Rhizobium pusense* asociado al garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en Cuba. Agronomía Mesoamericana 35: Artículo 55876. https://soi.org/10.15517/am.2024.55876

Pommeresche, R. & S. Hansen. (2017). Examinando la actividad de los nódulos en raíces de leguminosas. FertilCrop. Documento técnico. 5 p. http//www.fertilcrop.net

Vargas-Blandino, D., & Cárdenas-Travieso, R. (2021). Cultivo del garbanzo, una posible solución frente al cambio climático. Cultivos Tropicales, *42*(1):e09. https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1583

EVALUACIÓN MORFO-FISIOLÓGICA DEL FRIJOL CAUPÍ (*Vigna unguiculata* L. WALP.) SOMETIDO A ESTRÉS HÍDRICO

Luis Gerardo Yáñez-Chávez[1*], Michell Alejandra Montañez-Carrillo[1], Aurelio Pedroza-Sandoval[1], Ricardo Trejo-Calzada[1], Miguel Ángel Mata-Espinosa[1], Mayela Rodríguez-González[2]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 40 Ctra. Gómez Palacio - Chihuahua. CP. 35230 Bermejillo, Durango. [2]Universidad Abierta y a Distancia de México - UnADM. CP 03330 CDMX. *Autor de correspondencia: yachgl@chapingo.uruza.edu.mx

Introducción

El problema de la disponibilidad y calidad de agua para la agricultura se debe a que otros sectores como la población, industria y ganadería se han incrementado generando una mayor demanda de agua y reduciendo el volumen destinado para la agricultura. Asimismo, la baja eficiencia en el uso del agua, al aplicar volúmenes mayores a los que requiere el cultivo, agrava el problema. La dinámica de estudios sobre el agua ha sido direccionada también hacia el sistema pecuario (Zavala-Borrego et al., 2022).

Dentro del sector ganadero, la baja precipitación representa un problema de gran impacto, en México la sequía ha dejado cultivos forrajeros en un estado catastrófico, especialmente en estados como son Sonora, Tamaulipas, Chihuahua, Jalisco, Aguascalientes, Veracruz y Durango, además, aproximadamente 156 mil cabezas de ganado han muerto o han tenido que ser sacrificadas, ante la falta de agua y alimento para su mantenimiento, por ende, causando problemas dentro del sector industrial ganadero con más problemas para satisfacer la demanda poblacional de carne y leche, lo que provoca pérdidas económicas para los productores (Acevedo-Peralta et al., 2017).

La calidad y disponibilidad del forraje son factores que se ven amenazados y afectados por sequías, la calidad del agua, el cambio climático, entre otros. Por ello, surge la importancia de explorar especies alternativas que se logren adaptar a las diferentes condiciones negativas que se presentan con mayor frecuencia y provocan una gran cantidad de problemas en todo lo que involucra al sector ganadero. Lo anterior, genera la necesidad de evaluar y adoptar nuevas tecnologías, así como un cambio en el patrón de cultivos, estos deben ser menos consumidores de agua y resistentes a cambios del clima (Perales et al., 2020). Particularmente, el frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) es una especie de leguminosa originaria de África central, considerada una leguminosa con una fuente potencialmente prometedora de proteína vegetal y nutricional (Conceição-dos Santos et al., 2022). Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar la composición morfo-fisiológica para identificar su adaptabilidad bajo condiciones de estrés hídrico, y ampliar las alternativas factibles de utilizar en la producción de forrajes en zonas con escaso régimen pluvial.

Materiales y métodos

Sitio experimental. El estudio se llevó a cabo en primavera-verano del 2025 en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, en Bermejillo, Durango. Las coordenadas del área experimental son 26º 00’ y 26º 10’ L N y 104º 10’ y 103º 20’ L O; la altitud es 1,190 m. El clima del área es seco desértico, con régimen de lluvias en verano e invierno fresco. Con una precipitación promedio anual de 260 mm y temperatura media anual de 19 a 21 °C (SMN, 2010).

Material vegetal. Se utilizaron semillas de la especie frijol caupí (*Vigna unguiculata*), con dos genotipos reconocidos en México (vaquita y carita), proveniente de la región centro-sur del estado de Durango. La siembra se realizó el 11 de mayo del 2025 en macetas de polipropileno con capacidad de 4 kg bajo condiciones de malla sombra con sombreo del 50%; se utilizó suelo de la región como sustrato, con textura franco-arcillosa y densidad aparente de 1.2 g·cm-3 (Ortíz-Cano et al., 2009).

Diseño experimental. Se efectuó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cinco repeticiones en un arreglo factorial 3 x 2, donde cada maceta fue una unidad experimental. Los tratamientos evaluados fueron las condiciones de humedad del suelo: a) Nivel óptimo (en capacidad de campo; entre 25 y 30%); b) Nivel subóptimo (cercano a capacidad de campo; entre 20 y 24%) y; c) Estrés hídrico (cercano a PMP; entre 15 y 19%). Para verificar el nivel de humedad en el suelo se instalaron tensiómetros (marca Irrometer, modelo ST 12″) en algunas macetas.
Para determinar los parámetros de cada nivel de humedad se realizó un análisis previo del suelo. Las constantes de humedad del suelo de punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (CC) fueron determinadas por el método de la olla de membrana de presión marca Soil Moisture Equipment® modelo 1500F1 (Sta. Barbara, Cal., USA).

Muestreo de variables. Se realizaron muestreos simples a todas las plantas durante tres etapas fenológicas del frijol (germinación, crecimiento y floración), determinando 5 fechas de evaluación a los 15, 30, 45, 50 y 65 días después de la germinación de las semillas. Las variables que se cuantificaron fueron: altura de planta (con flexómetro en cm), número de hojas (conteo directo) e índice de clorofila (con medidor de clorofila Fieldscout CM 1000 Plainfield IL, USA). Igualmente, se realizó una prueba de germinación a la semilla en condiciones de laboratorio para conocer el porcentaje de viabilidad, usando 200 embriones de cada genotipo en cajas petri.

Análisis de datos. Las variables de estudio fueron sometidas a un análisis estadístico en el programa SAS (Statistical Analysis System, para Windows Versión 9.1). Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS de Tukey, P≤0.05) para la comparación de medias.

Resultados y discusión

En la determinación de germinación bajo condiciones de laboratorio, el genotipo 1 (vaquita) tuvo la mayor viabilidad con un 98.5% respecto al genotipo 2 (carita) con un 82%; el comportamiento de germinación durante los 10 días de evaluación fue logarítmico; el genotipo 1 registró la mayor tasa de semillas germinadas por día (Figura 1).

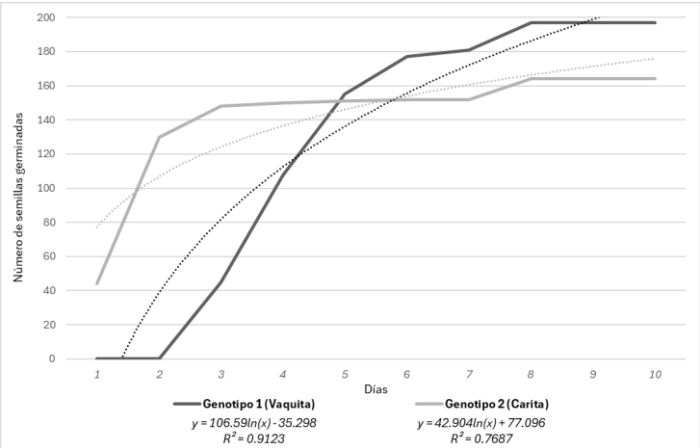


Figura 1. Comportamiento germinativo de semillas de *V. unguiculata*.

Respecto a la variable altura de planta, no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las cinco fechas de evaluación para los tres tratamientos, sin embargo, el genotipo 1, fue superior ($p \leq 0.05$) en todas las fechas de evaluación en referencia al genotipo 2 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Altura de planta de dos genotipos de *V. unguiculata* en diferentes tratamientos sobre humedad del suelo.

Tratamiento / Fecha de Evaluación	E1 *15 DDG*	E2 *30 DDG*	E3 *45 DDG*	E4 *60 DDG*	E5 *75 DDG*
OPT	10.9 a	15.6 a	20.4 a	34.9 a	42.1 a
SO	10.2 a	15.3 a	19.3 a	30.2 a	39.3 a
ES	9.8 a	15.1 a	18.7 a	29.3 a	35.4 a
Genotipo					
1 (vaquita)	12.9 a	18.8 a	24.1 a	41.3 a	53.0 a
2 (carita)	7.8 b	11.9 b	14.9 b	217 b	24.9 b

OPT= Nivel de humedad óptimo (en capacidad de campo; entre 25 y 30%); SO= Nivel de humedad subóptimo (cercano a capacidad de campo; entre 20 y 24%); ES= Estrés hídrico (cercano a PMP; entre 15 y 19%). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DDG= Días después de la germinación.

Para el número de hojas por planta, no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en cuatro fechas de evaluación para los tres tratamientos, únicamente en la última fecha de evaluación el tratamiento de humedad óptima fue superior ($p \leq 0.05$) respecto al tratamiento de nivel de humedad subóptimo y estrés hídrico. También se destaca que el genotipo 1, fue superior ($p \leq 0.05$) en cuatro fechas de evaluación en referencia al genotipo 2 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de hojas de dos genotipos de *V. unguiculata* en diferentes tratamientos sobre humedad del suelo.

Tratamiento / Fecha de Evaluación	E1 *15 DDG*	E2 *30 DDG*	E3 *45 DDG*	E4 *60 DDG*	E5 *75 DDG*
OPT	7.2 a	10.5 a	15.2 a	33.6 a	39.0 a
SO	7.0 a	9.9 a	14.9 a	30.8 a	36.5 ab
ES	6.8 a	9.2 a	14.6 a	29.1 a	32.7 b
Genotipo					
1 (vaquita)	7.1 a	11.1 a	19.7 a	38.5 a	46.7 a
2 (carita)	6.9 a	8.6 b	10.1 b	23.9 b	25.4 b

OPT= Nivel de humedad óptimo (en capacidad de campo; entre 25 y 30%); SO= Nivel de humedad subóptimo (cercano a capacidad de campo; entre 20 y 24%); ES= Estrés hídrico (cercano a PMP; entre 15 y 19%). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DDG= Días después de la germinación.

Finalmente, el índice de clorofila registró valores superiores ($p \leq 0.05$) en los tratamientos con el nivel óptimo y subóptimo respecto al estrés hídrico en todas las fechas de evaluación. Se destaca el tratamiento con los niveles subóptimos de humedad, ya que la actividad fisiológica es similar a cuando existe disponibilidad de agua en el suelo, comprobando la adaptación de la especie a condiciones de estrés ambiental. Respecto al tipo de genotipo, no se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para esta variable en las fechas evaluadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índice de clorofila de dos genotipos de *V. unguiculata* en diferentes tratamientos sobre humedad del suelo.

Tratamiento / Fecha de Evaluación	E1 *15 DDG*	E2 *30 DDG*	E3 *45 DDG*	E4 *60 DDG*	E5 *75 DDG*
OPT	193.5 a	152.5 a	126.8 ab	155.7 a	166.5 a
SO	153.0 b	147.6 a	138.6 a	147.8 a	157.8 a
ES	139.0 b	134.5 a	114.5 b	129.1 b	139.2 b
Genotipo					
1 (vaquita)	162.1 a	146.5 a	127.1 a	145.0 a	155.0 a
2 (carita)	161.5 a	143.2 a	126.2 a	143.4 a	153.3 a

OPT= Nivel de humedad óptimo (en capacidad de campo; entre 25 y 30%); SO= Nivel de humedad subóptimo (cercano a capacidad de campo; entre 20 y 24%); ES= Estrés hídrico (cercano a PMP; entre 15 y 19%). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DDG= Días después de la germinación.

Burbano-Erazo et al. (2019), menciona que diversos estudios han demostrado que las leguminosas brindan un suplemento de interés confiable en la ganadería, durante periodos de sequías. No obstante, es importante seguir evaluando este tipo de alternativas a condiciones de déficit hídrico y potencial nutricional como forraje. Al respecto, bajo condiciones de humedad óptimos, el frijol *V. unguiculata* presenta mayor adaptación (Rao y Northum, 2009), sin embargo, un estudio realizado por Reta-Sánchez et al. (2013), en la Región de la Comarca Lagunera reportaron una menor adaptabilidad a las condiciones climáticas y edáficas.

También, un estudio realizado en 2013, donde las condiciones ambientales son similares al área de estudio, se analizó la respuesta de *V. unguiculata* evaluando el rendimiento de la planta mediante la cuantificación de variables productivas; al trabajar con varios tipos de genotipos dos de ellos mostraron resistencia a condiciones de estrés hídrico (Cardona-Ayala et al., 2014).

En otro estudio realizado con una problemática equivalente, se obtuvieron resultados similares en variables morfológicas del caupí a condiciones de déficit hídrico. Adicionalmente, este experimento mostró que el frijol caupí presenta mejor respuesta en época de lluvia y calor en comparación con el frijol común, el cual no sobrevive a estas condiciones sin aplicación de riego (Báez y Hernández, 2016).

Conclusiones

El genotipo del frijol caupí “vaquita”, mostró la adaptabilidad a condiciones de estrés hídrico en el suelo, con valores superiores en porcentaje de germinación, altura de plantas, número de hojas e índice de clorofila. Esta especie sometida a niveles subóptimos de humedad mostró un comportamiento idóneo para su crecimiento y desarrollo. El genotipo “carita”, no registró resultados prometedores para las variables estudiadas.

Referencias

Acevedo-Peralta, A. I., Leos-Rodríguez, J. A., Figueroa-Viramontes, U., & Romo-Lozano, J. L. (2017). Política ambiental: uso y manejo del estiércol en la Comarca Lagunera. *Acta universitaria*, *27*(4), 3-12. https://doi.org/10.15174/au.2017.1270

Báez, A., & Hernández, C.A. (2016). Estudio del rendimiento de cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en diferentes épocas de siembra en Camajuaní, Cuba. *Revista de ciencia y tecnología*, *26* (1). https://www.scielo.org.ar/pdf/recyt/n26s1/n26s1a02.pdf

Burbano-Erazo, E., Mojica-Rodríguez, J.E., Brochero-Aldana, G.A., Cardona-Iglesias, J.C., & Castro-Rincón, E. (2019). Producción de forraje en leguminosas tropicales, en el Caribe seco colombiano. *Pastos y forrajes*, *42* (2). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269161217007

Cardona-Ayala, C., Jarma-Orozco, A., Aramendiz-Tatis, H., Peña Agresott, M., Vergara-Cordoba, C. (2014). Respuestas fisiológicas y bioquímicas del fríjol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) bajo déficit hídrico. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, *8*(2), 250-261. http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3218

Conceição-dos Santos, L. F. D., Ruiz-Sánchez, E., & Jiménez-Osornio, J. J. (2022). Caracterización agro-morfológica de 20 cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) en Yucatán, México. *Acta universitaria*, *32*. https://doi.org/10.15174/au.2022.3216

Ortíz-Cano, H. G., Trejo-Calzada, R., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., Flores-Hernández, A. & López-Ariza, B. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (Amaranthus hybridus L.) y micorrizas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *15*(2), 161-168. https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v15n2/v15n2a9.pdf

Perales, M.V., Alvarado, L.F., Hermosillo, L.J. (2020). Impacto de la agricultura de conservación y la aplicación de Zinc en la rentabilidad sostenible de forraje de maíz-triticale en la comarca lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios*, *42* (1). https://www.redalyc.org/articulox.oa?id=14165939008

Rao, S. C., & Northup, B. K. (2009). Capabilities of four novel warm-season legumes in the southern Great Plains: Biomass and forage quality. *Crop science*, *49*(3), 1096-1102. https://doi.org/10.2135/cropsci2008.08.0499

Reta-Sánchez, D. G., Castellanos-Galván, P. C., Olague-Ramírez, J., Quiroga-Garza, H. M., Serrato-Corona, J. S., & Gaytán-Mascorro, A. (2013). Potencial forrajero de cuatro especies leguminosas en el ciclo de verano en la Comarca Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *4*(5), 659-671. https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n5/v4n5a1.pdf

Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. (2020). Normales climatológicas, periodo 1991-2020. Información Climatológica del estado de Durango. Conagua. Méx. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado

Zavala-Borrego, F., Reyes-González, A., Álvarez-Reyna, V. D. P., Cano-Ríos, P., & Rodríguez-Moreno, V. M. (2022). Efecto de la tasa de evapotranspiración en área foliar, potencial hídrico y rendimiento de maíz forrajero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *13*(3), 407-420. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2294

INDICADORES MORFOLOGICOS Y ESTRUCTURA RADICAL DE *Neltuma glandulosa* (Torr.) PRODUCIDO EN SUSTRATOS CON HIDROGEL, EN VIVERO

José Luis García Pérez[1*], Gabriel Sosa Pérez[1], José Ángel Sigala Rodríguez, Erickson Basave Villalobos, Ana Luisa Gómez Espejo[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Campana. Km 33.3 Ctra. Chihuahua-Ojinaga, Aldama, Chihuahua. México. [2]INIFAP, Campo Experimental Valle del Guadiana. Km 4.5.Ctra. Durango-Mezquital, Durango México. [3]Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Fitomejoramiento. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. *Autor de correspondencia: garciap.luis@inifap.gob.mx

Introducción

Los polímeros retenedores de humedad o hidrogeles son materiales capaces de absorber y mantener grandes volúmenes de agua disponible para los cultivos en zonas con baja precipitación y sequías recurrentes. Además, estos productos reducen la pérdida de agua por evaporación, percolación e infiltración, lo que reduce la frecuencia de riegos para los cultivos (Duarte et al., 2019). En la producción de planta forestal de calidad, la elección del sustrato es crucial, debido a que su composición física y química modula el crecimiento, vigor y producción de materia seca durante el cultivo (Ansorena, 1998). La retención de humedad en el sustrato propicia que las plantas mantengan el funcionamiento sus procesos vitales, y en consecuencia su óptimo desarrollo, lo que es aún más crítico en condiciones ambientales de aridez. Sin embargo, la deshidratación del hidrogel puede aumentar la generación de macroporos y en consecuencia cambios el desarrollo de la morfología de las plantas, especialmente de sus sistema radical (Sosa-Pérez et al., 2021). Diversos estudios han demostrado los beneficios del uso de polímeros sintéticos en la capacidad de retención de agua en el sustrato, lo que en condiciones de aridez disminuye la frecuencia de irrigación y las pérdidas de productos químicos por lixiviación y lavado (López-Elías et al., 2016). En el ámbito forestal es estudio de la morfología de plantas es de suma relevancia debido a que permite conocer parámetros que reflejan el potencial de establecimiento de las plantas en campo ante condiciones climáticas adversas (Grossnickle, 2012; Piñeiro et al., 2013), sin embargo, el conocimiento sobre la estructura y desarrollo del sistema radical en la producción de plantas para la restauración de especies nativas aún es escaso. El mezquite *(Neltuma glandulosa)* es una especie distribuida ampliamente en los ecosistemas semiáridos de la región norte centro de México, sin embargo, sus poblaciones han sido severamente fragmentadas, por lo que es prioritario emprender acciones para su recuperación. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de aplicaciones de retenedores de humedad en el desarrollo morfológico y características del sistema radical en planta de *Neltuma glandulosa* cultivado en vivero.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el vivero forestal del Campo Experimental La Campana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Aldama, Chihuahua (28° 51' 4.29" N y 105° 52' 0.38" O), a una altitud de 1252 m. El clima es semidesértico con lluvias en verano [BS1kw (w) (e)], la temperatura media anual varía entre 18 y 22 °C, mientras que precipitación media anual oscila entre 250 y 300 mm. El cultivo de planta se hizo en una estructura con malla sombra al 60 %. Se utilizaron contenedores de poliestireno tipo Cooper Block® de 77 cavidades y 170 cm^3 de volumen.

El sustrato consistió en una mezcla base (MB) compuesta de 70 % de corteza de pino composteada y 20% de tuba turba y 10 % de vermiculita, a la cual se le agregaron diferentes proporciones de hidrogel previamente hidratado (tratamientos). A cada mezcla de sustrato se añadieron 7 g L de fertilizante de lenta liberación Basacote® Plus 9M 16-8-12. La siembra se hizo en mayo de 2023. Durante el cultivo se registró la temperatura (ºC) y la humedad relativa del aire (%) con un dispositivo dattaloger HOBOU12 (Onset, Co.) en intervalos de 10 minutos (Figura 1).

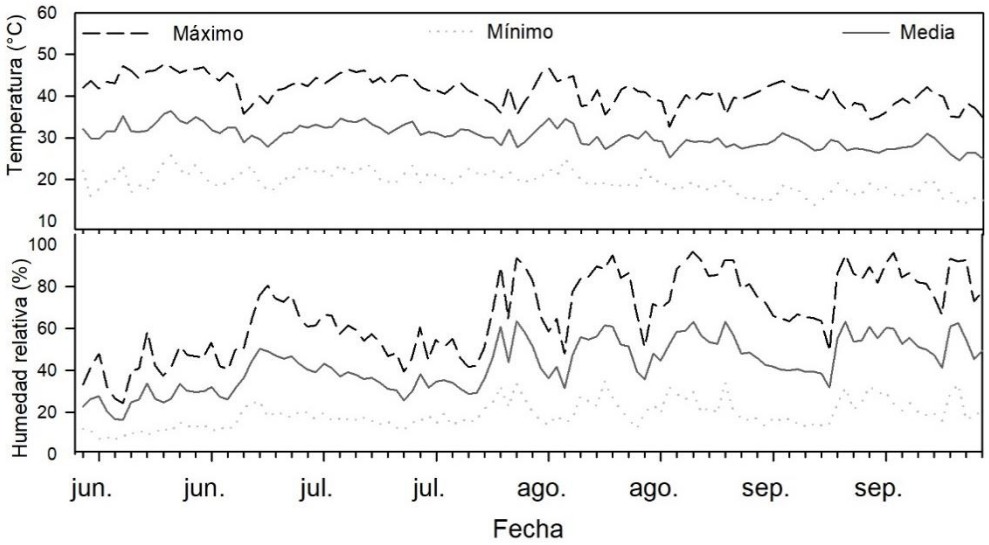


Figura 1. Valores medios de temperatura y humedad relativa registrados durante el proceso de producción de planta.

Los tratamientos consistieron la aplicación de hidrogel (Lluvia solida®) previamente hidratado, añadido a una mezcla base (MB) compuesta de turba (%) y corteza de pino composteada (%). Los tratamientos fueron: 1) 100% MB (Testigo); 2) 70% MB + 30 % Hidrogel; y 3) 85% MB + 15 Hidrogel. Para cada tratamiento se aplicó la cantidad retenedor utilizado en cada tratamiento, se calculó de tal manera que en conjunto con la fracción de mezcla base no excediera el volumen total del contenedor. Para ello se hidrató previamente en agua corriente, alcanzando un volumen máximo de expansión de 80.2 cm^3 por cada gramo de hidrogel. Cada mezcla fue caracterizada con la densidad aparente (g cm^3) y porosidad total (%). Una vez emergida la planta, después de dos semanas, se regó con una frecuencia de dos días, y después de 15 días se disminuyó la frecuencia a tres días. Asimismo, se determinó el contenido volumétrico de agua en el sustrato de las mezclas evaluadas.

Al final del ciclo de producción ser realizó un muestreo de seis plantas por repetición (18 por tratamiento) y se midió altura del tallo (cm), diámetro del cuello (mm). Posteriormente, las muestras se secaron a 72 ºC durante 48 horas para determinar y obtener la biomasa en hojas tallo, biomasa aérea (g). Con estos valores se calculó el Índice de Calidad de Dickson (ICD) y relación parte aérea/radical (RPAR). Adicionalmente, se analizó la morfología del sistema radical mediante las muestras del sistema radical de las mismas plantas. Para ello se digitalizó el sistema radical de cada planta utilizando un escáner con retroproyección (Epson Perfección V850 Pro). Una vez obtenidas las imágenes a una resolución de 1200 ppp se convirtieron a escala de grises previo a su procesamiento. Para determinar su longitud (cm), diámetro medio (mm), superficie de absorción y volumen de raíz (cm^3), utilizando el programa WinRhizo Pro 3.0® (Regents Inc.). Asimismo, con la biomasa de raíz se calculó la longitud radical específica y la densidad del tejido radical. Para conocer el estado hídrico de las plantas en respuesta a la aplicación de hidrogel se midió el potencial hídrico al alba con una cámara de presión Scholander (datos no mostrados).

El diseño experimental fue completamente al azar y el procesamiento estadístico consistió en análisis de varianza unifactorial donde se consideró el nivel de hidrogel con factor en el sustrato sobre las variables de morfología de plantas y estructura radical ($p<0.05$). Cuando hubo significación estadística se aplicaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico R versión 4.2.1.(R Core Team, 2024) Previo a ello se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, de acuerdo utilizando la prueba de Shapiro-Wilks y Levene, respectivamente.

Resultados y discusión

Al final del estudio se encontraron diferencias significativas en los principales atributos de calidad de planta ($p<0.05$) debido a la aplicación de hidrogel en el sustrato, con excepción de la altura y la biomasa en hojas y la relación parte aérea/raíz (Cuadro 1). La aplicación de 30 % hidrogel al sustrato produjo incrementos en el diámetro del cuello de la raíz y en altura de la planta en comparación con la dosis baja y con el testigo sin hidrogel. En cambio, la distribución de biomasa por componente de la planta no reflejó diferencias significativas para la biomasa seca asignada a las hojas, mientras que la distribución de materia seca al tallo y raíz y biomasa aérea total si fue favorecida por la adición de 30 % retenedor en el medio de crecimiento. Finalmente, la relación parte aérea raíz no fue sensible al uso de hidrogel en el sustrato, no así el índice de calidad de Dickson, que a partir de dosis intermedias mostró valores aceptables (Cuadro 1).

Cuadro 1. Atributos morfológicos en plantas de *Neltuma glandulosa*, producido en sustratos con dosis de hidrogel en vivero.

Dosis de hidrogel	Diámetro (mm)	Altura (cm)	Biomasa (g)				RPAR	ICD
			Hojas	Tallo	Raíz	Aérea		
0 %	3.18±0.15 b	27.65±0.91 b	0.21 ± 0.02 a	0.87 ± 0.07 b	0.60 ± 0.05 b	1.08 ± 0.08 b	1.88 ± 0.09 a	0.16 ± 0.02 b
15 %	3.30±0.09 b	32.48±1.04 b	0.28 ± 0.03 a	1.03 ± 0.08 b	0.65 ± 0.03 ab	1.31 ± 0.08 b	2.07 ± 0.12 a	0.17 ± 0.01 ab
30 %	3.79±0.08 a	35.90±1.39 a	0.26 ± 0.05 a	1.34 ± 0.07 a	0.78 ± 0.04 a	1.60 ± 0.09 a	2.22 ± 0.24 a	0.21 ± 0.01 a
P valor	0.0005	0.0001	0.3016	0.0001	0.0153	0.0002	0.3469	0.0239

RPAR=Relación biomasa aérea/Biomasa radical; ICD=Índice de calidad de Dickson. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas Tukey ($\alpha= 0.05$)

Estos resultados sugieren que el uso de hidrogel en al menos 30% en el sustrato permitió la disponibilidad de humedad para las plantas para el desarrollo adecuado de sus procesos fisiológicos y evita la ocurrencia de episodios de estrés severo ante condiciones de aridez, lo que se refleja en incrementos en altura y diámetro de los individuos. Además, la aplicación de hidrogeles, mejora significativamente el contacto con el suelo o sustrato, rellenando los espacios porosos. Diversos estudios sugieren que la adición de hidrogel además de mantener el contenido volumétrico propicia a cierto nivel de deshidratación de sustrato propicia la aireación, principalmente de macroporos en beneficio del desarrollo de las plantas. No obstante, a niveles de desecación severos del sustrato puede ser perjudicial para el desarrollo de la raíz (Landis & Haase, 2012)

En cuanto a la morfología de la raíz la aplicación de hidrogel al sustrato produjo diferencias significativas ($p<0.05$) en la mayoría de las variables con excepción del diámetro medio, superficie de absorción (Figura 2). La longitud radical reflejó un patrón de respuesta en favor de la aplicación de hidrogel al 30 %. No obstante, la longitud radical específica, presentó un patrón opuesto, donde las dosis bajas y el testigo, produjeron los valores más altos. Incrementos en la longitud radical específica además de aumentar la capacidad de exploración a capas profundas del suelo son más resistentes a daños físicos (Freschet et al., 2021).

El volumen de raíz se incrementó con la aplicación de al menos 15 % de hidrogel al sustrato en tanto que la densidad del tejido radical se diferenció hasta la aplicación de 30% del retenedor. Incrementos en la elongación del sistema radical pueden asociarse con mayor disponibilidad de humedad en el sustrato, lo que permite el intercambio de humedad y nutrientes propiciando su establecimiento exitoso en campo (Grossnickle, 2005). En cambio, niveles bajo de humedad como los presentes en dosis bajas de hidrogel puede propiciar la aireación de las raíces y en consecuencia la desecación de puntos de crecimiento activos. No obstante, la exposición a episodios de sequía en plantas con dosis bajas y sin hidrogel propiciaron e incrementos en la longitud radical específica lo que les confiere a las plantas un alto potencial de exploración del suelo durante su establecimiento inicial en campo (Grossnickle & Ivetić, 2022).

Por otra parte, descensos en la densidad del tejido radical refleja una estrategia funcional de las plantas para desarrollar crecimiento con una baja inversión de recursos en la producción de materia seca (Birouste et al., 2014). Las plantas producidas en dosis altas de hidrogel produjeron los valores mayores del tejido radical pese a tener menor volumen radical, lo que les confiere una mayor resistencia y vitalidad de su estructura y reduce el riesgo de daños a daños por estrés u otros agentes patógenos (Freschet et al., 2021).

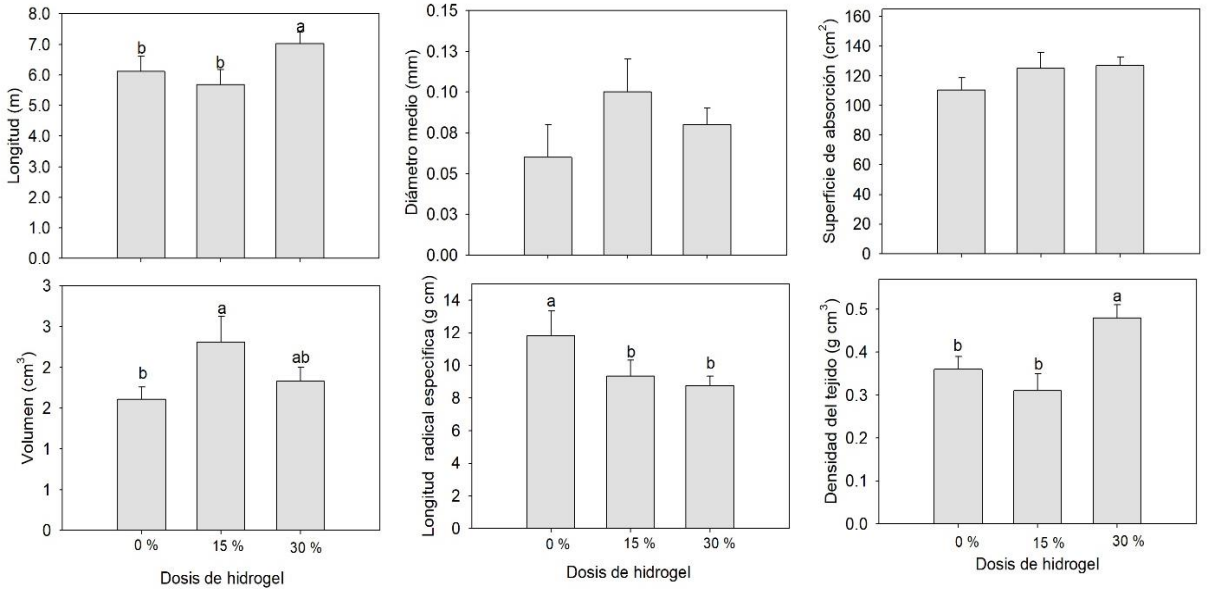


Figura 2. Variables de morfología radical en plantas de *Neltuma glandulosa*, producido en sustratos con dosis de hidrogel en vivero. Medias ± error estándar. Letras diferentes en cada gráfica indican diferencias significativas Tukey (α=0.05)

Conclusiones

El uso de hidrogel en un 30% mezclado en el sustrato mejoró los principales atributos morfológicos de calidad de planta durante su cultivo en vivero, especialmente el crecimiento en altura alcanzando los valores establecidos por la normatividad aplicable. Asimismo, la aplicación en dosis intermedias propició el incremento en otros indicadores morfológicos de calidad de planta como el índice de calidad de Dickson. Las variables de morfología de la estructura radical respondieron en diferentes direcciones en función de la fracción de hidrogel en el sustrato.

Por un lado, la dosis mayor de hidrogel redujo la longitud radical específica y, en contraparte incrementó la longitud radical, lo que implica cambios en la estrategia de las plantas para incrementar su resistencia y capacidad de exploración en las condiciones adversas de los sitios de plantación.

Referencias

Ansorena, J. (1994). Sustratos: Propiedades y Caracterización. Editorial Mundi Prensa. Madrid. España. 172 p.

Birouste, M., Zamora-Ledezma, E., Bossard, C., Pérez-Ramos, I. M., & Roumet, C. (2014). Measurement of fine root tissue density: A comparison of three methods reveals the potential of root dry matter content. *Plant and Soil*, *374*(1-2), 299-313. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1874-y

Duarte, R. M., Contreras, R. L. G., Contreras, F. R., Carvajal, A. L., & Ramírez, F. N. (2019). *Irrigation deficit and hydrogel application in olive productivity in desert regions*. *10*(2).

Freschet, G. T., Roumet, C., Comas, L. H., Weemstra, M., Bengough, A. G., Rewald, B., Bardgett, R. D., De Deyn, G. B., Johnson, D., Klimešová, J., Lukac, M., McCormack, M. L., Meier, I. C., Pagès, L., Poorter, H., Prieto, I., Wurzburger, N., Zadworny, M., Bagniewska-Zadworna, A., … Stokes, A. (2021). Root traits as drivers of plant and ecosystem functioning: Current understanding, pitfalls and future research needs. *New Phytologist*, nph.17072. https://doi.org/10.1111/nph.17072

Grossnickle, S. C. (2005). Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, *30*(2-3), 273-294. https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2

Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests*, *43*(5-6), 711-738. https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6

Grossnickle, S. C., & Ivetić, V. (2022). Root system development and field establishment: Effect of seedling quality. *New Forests*, *53*(6), 1021-1067. https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y

Landis, T. D., & Haase, D. L. (2012). *Applications of Hydrogels in the Nursery and During Outplanting*. In: Haase DL, Pinto JR, Riley LE, technical coordinators. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2011. Fort Collins (CO): USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Proceedings RMRS-P-68. 53-58. Available at: http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p068.html

López-Elías, J., Garza O., S., Jiménez L., J., Huez L., M. A., & Garrido L., O. D. (2016). Uso De Un Polímero Hidrófilo A Base De Poliacrilamida Para Mejorar La Eficiencia En El Uso Del Agua. *European Scientific Journal, ESJ*, *12*(15), 160. https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n15p160

Piñeiro, J., Maestre, F. T., Bartolomé, L., & Valdecantos, A. (2013). Ecotechnology as a tool for restoring degraded drylands: A meta-analysis of field experiments. *Ecological Engineering*, *61*, 133-144. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.066

R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* [Software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Sosa-Pérez, G., Hermosillo-Rojas, D. E., Jurado-Guerra, P., Alarcón-Bustamante, M. P., & García-Pérez, J. L. (2021). Efectividad De Un Polímero Retenedor De Humedad Para Elevar La Supervivencia En Plantaciones De Mezquite (Prosopis Glandulosa Torr.) En Zonas Áridas. *European Scientific Journal ESJ*, *17*(7), 55-63. https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n7p55

FERTILIZACIÓN CON FUENTES DE NITRÓGENO E INOCULACIÓN CON *Rhizobium etli* EN EL CRECIMIENTO DE *Neltuma laevigata*

Erickson Basave-Villalobos[1*], Laura Elena Martínez-Nevárez[2], Erika Nava-Reyna[3], María del Rosario Jacobo Salcedo[3], Homero Sarmiento López[1], José Leonardo García Rodríguez[1], José Luis García Pérez[4].

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. [2]Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango. [3]CENID RASPA, INIFAP.[4] INIFAP, Campo Experimental La Campana. *Autor de correspondencia: basave.erickson@inifap.gob.mx

Introducción

La fertilización nitrogenada es una práctica común en la producción de planta forestal debido a su importancia para el crecimiento de las plantas y las demás funciones metabólicas en las que participa este nutrimento. La adecuada asimilación de este nutriente depende entre otros factores, de la cantidad y la forma disponible en el medio de crecimiento, así que para la producción de una determinada especie se debe definir cuál es la dosis y la fuente de fertilizante adecuada (Basave-Villalobos et al., 2020; 2024); sin embargo, este es un aspecto que amerita investigación ya que a menudo las prácticas de fertilización se basan mayormente en el uso de fertilizantes químicos con rutinas generalizadas que en consecuencia pudieran no estar logrando su objetivo, especialmente en la eficiencia en la que las plantas aprovechan los fertilizantes. Por otro lado, se ha reconocido que la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento es una alternativa que aumenta la productividad de los cultivos (Palacios-Rodríguez et al., 2022) y en los viveros forestales esta práctica ha despertado interés para producir leguminosas como mezquite a fin de incrementar su calidad morfo-fisiológica (Quiñones-Gutiérrez et al., 2018). En lo que respecta a las reforestaciones, esto podría ser interesante porque permitiría a las plantas prosperar en suelos con disponibilidad limitada de nutrientes, lo cual es una condición común en los sitios en los que se realiza este tipo de trabajos. Lamentablemente estas asociaciones simbióticas presentan dificultades para que sucedan, ya que la simbiosis es un proceso complejo de múltiples etapas que requiere el intercambio de numerosos señalizadores moleculares entre la bacteria y la planta hospedero, según refieren Skorupska et al. (2010). Actualmente existe interés por mejorar las prácticas de fertilización en la producción de cultivos partiendo de la comprensión del impacto de los fertilizantes químicos en la relación simbiótica entre bacterias del género *Rhizobium* y plantas leguminosas, puesto que hay evidencia científica que sugieren que altos niveles de fertilizantes nitrogenados puede irrumpir la comunicación entre el hospedero y huésped, impactando la quimiotaxis en donde los isoflavonoides tiene un rol fundamente en la comunicación y señalización (Abd-Alla et al., 2023). En ese sentido hay un área de oportunidad para desarrollar estrategias innovadoras que maximicen la utilización del nitrógeno al tiempo que se preserva la integridad de las relaciones simbióticas entre leguminosas y *Rhizobium* (Basile et al., 2021), paralelamente a la disminución de la dependencia de fertilizantes químicos (Adbd-Alla et al., 2023). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de fuentes de nitrógeno e inoculación con *Rhizobium etli* en el crecimiento de *Neltuma laevigata*.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el vivero forestal del Campo Experimental Valle del Guadiana, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAG-INIFAP). Previo a la siembra, se preparó una mezcla base de sustrato compuesta por turba de *Sphagnum* spp., perlita y vermiculita en proporción 2:1:1 (v/v). Durante la preparación del sustrato se incorporó fertilizante de liberación controlada (FLC) Multicote 8® (18-6-12 de N-P-K más microelementos) a una dosis de 4 g L^{-1}. El llenado se realizó en tubetes de plástico rígido con capacidad de 380 mL. La siembra se efectuó el 11 de junio de 2025, utilizando semilla de *Neltuma laevigata* recolectada en el ejido Santiago Bayacora, Durango. Como tratamiento pregerminativo, las semillas se sumergieron en agua a 96 °C durante 90 segundos, con el fin de promover una germinación uniforme. Las plantas crecieron en condiciones semicontroladas de humedad y temperatura ambiental durante un periodo de 14 semanas. El riego fue manual a lo largo de todo el ensayo. En la emergencia se presentó la enfermedad conocida como *Damping-off*, por lo cual se realizaron dos aplicaciones de fungicida tiabendazol: 2-(4-Tiazolil)-1H-benzimidazol (Tecto® 60, Syngenta AG, México) a razón de 2 g L^{-1}.

Se evaluaron seis tratamientos mediante un diseño experimental factorial 2×3 con cuatro repeticiones con 10 plantas. Los tratamientos fueron los siguientes: *i*) con y sin inoculación de *Rhizobium etli;* y *ii*) tres esquemas de fertilización: fertilización base más N inorgánico (FB+Ni), fertilización base más N orgánico (FB+No), y únicamente fertilización base sin fertirriego adicional (FB). La FB fueron los 4 g de FLC que se aplicaron al momento de la preparación del sustrato.
La inoculación bacteriana se efectuó a los 36 días después de la siembra (dds), mediante la aplicación de 3.75×10^7 UFC de *Rhizobium etli* contenidas en el producto comercial Rhizofer® (Biofábrica Siglo XXI, S.A. de C.V., México), disueltas en 50 mL de agua destilada por planta. La fertilización complementaria inició a los 45 dds, empleando como fuente de N inorgánico al nitrato de amonio (NH_4NO_3) y de N orgánico una mezcla de aminoácidos mediante un producto comercial (Naturamin®-WSP, Daymsa S.A., España) que contiene 12.8% de N total y 80% de aminoácidos libres. La dosis de N en la fertilización complementaria en ambas fuentes de N fue de 90 mg N $planta^{-1}$, y se aplicó por medio de solución en fertirriego (50 mL $planta^{-1}$) dos veces por semana, sumando un total de 10 aplicaciones en total.

Se examinó la disponibilidad de nutrientes en el medio de crecimiento recolectando lixiviados mediante el método *Pour-through* (Wright, 1986). Se realizaron cuatro muestreos con este procedimiento durante el periodo de fertilización complementaria. Se determinó la conductividad eléctrica (CE, mS cm^{-1}) y el pH con un medidor portátil de pH y CE (Groline H19814, Hanna Instruments Inc., Woonsocket, RI, EUA). También se determinó la concentración de nitratos (NO_3^-) en los lixiviados con un medidor portátil de iones (LAQUAtwin NO3-11, Horiba®, TX, EUA), utilizándose como indicador del proceso de mineralización de aminoácidos en el sustrato de crecimiento (Wilson et al., 2013).

Como variables de respuesta se midió la altura de la parte aérea (cm), el diámetro del tallo en el cuello de la raíz (mm), así como los pesos secos (biomasa; g) de la parte aérea, radical y total. Los datos se analizaron en R Studio versión 4.5.0. Para evaluar las variables de NO_3^-, CE y pH se ajustó un modelo lineal con la función *lm*, considerando la inoculación con *R. etli* y la fertilización como variables predictoras fijas. Previo cumplimento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se realizaron análisis de varianzas (ANOVA) con la función *Anova* del paquete *car*. Cuando se detectaron diferencias significativas, se realizó una comparación de medias con la función *emmeans* con ajuste de Tukey para comparaciones múltiples, y las diferencias significativas se representaron con letras mediante la función *cld* del paquete multcomp.

Resultados y discusión

En la morfología de *Neltuma laevigata* se mostraron efectos significativos tanto de la fertilización como de la inoculación con *Rhizobium etli*. En el caso de la altura, cada factor presentó diferencias significativas de manera individual (fertilización: F=7.77, p=0.0011; inoculación: F=15.66, p=0.0002, Fig. 1A), presentando un mayor incremento en los tratamientos con fertilización complementaria, independientemente de la forma de N (28.95±1.56 cm), así como en las plantas inoculadas con rizobacterias (29.76±1.27 cm). En cuanto al diámetro, únicamente la fertilización mostró un efecto significativo (F=4.40, p=0.017, Fig. 1B), con mayor incremento en el tratamiento FB+No (3.07±0.08 mm), seguido por FB+Ni (2.98±0.05 mm).

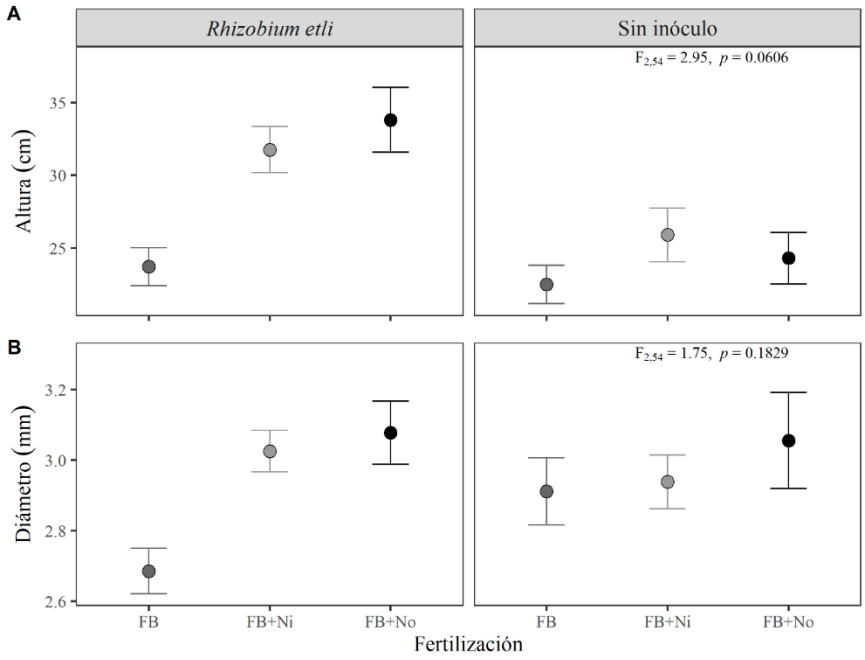


Figura 1. A) Altura y B) diámetro de *Netulma laevigata* a los tres meses de cultivo en vivero con los tratamientos de fertilización nitrogenada y la inoculación con rizobacterias *Rhizobium etli.* Los datos presentados son medias ± error estándar (n=20).

El peso seco fue afectado de manera significativa en la parte aérea y en el peso total bajo fertilización complementaria (F=7.56, p=0.0013). En este último, el tratamiento con N orgánico presentó los valores más altos (F=3.75, p=0.0299; Cuadro 1). En contraste, el peso seco de la raíz solo mostró un efecto marginal en la interacción fertilización × inoculación (F=2.43, p=0.0974). Por su parte, la inoculación con *R. etli* no presentó efectos significativos en el peso seco en general (p>0.05), a diferencia de lo reportado en un estudio realizado por Quiñones-Gutiérrez et al. (2018).

Cuadro 3. Valores medios del peso seco aéreo, radical y total de *Netulma laevigata* a los tres meses de cultivo en vivero con los tratamientos de fertilización nitrogenada y la inoculación con rizobacterias *Rhizobium etli*. Los datos presentados son medias ± error estándar (n=20).

Tratamientos de fertilización		Peso seco (g)		
		Aéreo	Radical	Total
Fertilización base (FB)		0.79 ± 0.05 b	0.38 ± 0.03	1.17 ± 0.07 b
FB + Nitrógeno inorgánico		1.09±0.07 a	0.34 ± 0.02	1.44 ± 0.09 ab
FB + Nitrógeno orgánico		1.11±0.07 a	0.37 ± 0.03	1.45 ± 0.10 a
Valor	F	7.76	0.42	3.75
	p	0.0013	0.6616	0.0299

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos de Nitrógeno según Tukey (p<0.05).

En los lixiviados obtenidos del sustrato se observaron diferencias asociadas tanto a la fertilización como a la inoculación con *Rhizobium etli.* La concentración de NO_3^- mostró diferencias significativas con la interacción fertilización × inoculación (F=5.06, p=0.018; Fig. 2A). En general, la fertilización complementaria con N inorgánico (FB+Ni) incrementó de manera significativa los niveles de NO_3^- cuando hubo inoculación (547.5±21.4 ppm), seguido del tratamiento sin inoculación (475±35.2 ppm). Sin embargo, en FB+No, la concentración de NO_3^- fue considerablemente mayor cuando se inoculó con *R. etli* (412.5±17.5 ppm) en comparación con la ausencia de inoculación (212±22.5 ppm) lo cual sugiere que las bacterias están aumentando la disponibilidad de nitratos en el medio de crecimiento.

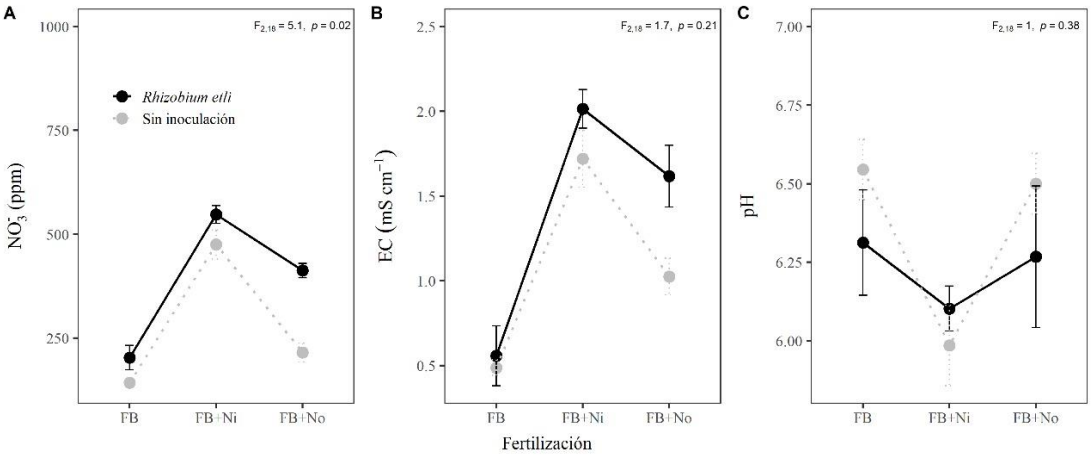


Figura 2. A) Concentración de nitrato (NO_3^-), B) conductividad eléctrica (CE) y C) pH en los lixiviados del sustrato de *Netulma laevigata* en sustrato con los tratamientos de fertilización nitrogenada y la inoculación con rizobacterias *Rhizobium etli*. Los datos presentados son medias ± error estándar (n=4).

La CE mostró una tendencia similar a la observada en la concentración de NO_3^-, aunque en este caso los factores resultaron significativos por separado (fertilización: F=46, p<0.0001; inoculación: F=7.7, p=0.0126; Fig., 2B). La fertilización complementaria aumentó de manera considerable la concentración de iones disueltos en el sustrato, destacando el tratamiento FB+Ni con 1.87±0.11 mS cm^{-1}. Lo mismo sucedió con la inoculación de *R. etli* donde se elevó la CE, alcanzando un valor promedio de 1.40±0.20 mS cm^{-1}. Por su parte, el pH solo mostró diferencias significativas en función de la fertilización administrada (F=4.47, p=0.0265; Fig. 2C). Los tratamientos con fertilización complementaria tendieron a valores ligeramente más ácidos, en especial FB+Ni con un pH de 6.04±0.07.

Conclusiones

La suplementación de N a la fertilización base durante la etapa de crecimiento rápido mejora el crecimiento de *N. laevigata* en vivero, estimulándose el crecimiento en diámetro y la acumulación de biomasa cuando la fertilización base es complementada con N orgánico. Asimismo, la inoculación con rizobacterias aumenta la disponibilidad de nitrógeno en el medio de crecimiento.

Referencias

Abd-Alla, M. H., Al-Amri, S. M., & El-Enany, A.-W. E. (2023). Enhancing rhizobium–legume symbiosis and reducing nitrogen fertilizer use are potential options for mitigating climate change. *Agriculture*, *13*(11), 2092. https://doi.org/10.3390/agriculture13112092

Basave-Villalobos, E., Valenzuela-Núñez, L. M., García-Rodríguez, J. L., Sarmiento-López, H., García-Pérez, J. L., Calixto-Valencia, C. G., & Sigala, J. A. (2024). Morpho-physiological and biochemical responses in *Prosopis laevigata* seedlings to varied nitrogen sources. *Nitrogen*, *5*(4), 857-870. https://doi.org/10.3390/nitrogen5040055

Basave-Villalobos, E., Cetina-Alcalá, V. M., López-López, M. Á., Trejo, C., Ramírez-Herrera, C., & Conde-Martínez, V. (2020). Fertilización de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth en vivero: efectos en la calidad de planta. *Madera y Bosques*, *26*(3), e2632059.

Basile, L. A., & Lepek, V. C. (2021). Legume-rhizobium dance: an agricultural tool that could be improved? *Microbial biotechnology*, *14*(5), 1897–1917. https://doi.org/10.1111/1751-7915.13906

Palacio-Rodríguez, R., Nava-Reyes, B., Sánchez-Galván, H., Quezada-Rivera, J. J., & Sáenz-Mata, J. (2022). Efecto de la inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal de tomate en condiciones de casa sombra comercial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(28), 231–242. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3278

Quiñones Gutiérrez A., González Ontiveros V., Chávez Pérez J. R., Vargas Martínez A., & Barrientos Díaz F. (2018). Evaluación de inoculantes promotores de crecimiento en la producción de plantas de mezquite [*Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst.] en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *4*(20), 72–80. https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i20.371

Skorupska, A., Wielbo, J., Kidaj, D., & Marek-Kozaczuk, M. (2010). Enhancing Rhizobium–Legume Symbiosis Using Signaling Factors. In: Khan, M.S., Musarrat, J., Zaidi, A. (eds) Microbes for Legume Improvement. Springer, Vienna.

Wilson A.R., Nzokou, P., Güney, & D., Kulaç. Ş. (2013). Growth response and nitrogen use physiology of fraser fir (*Abies fraseri*), red pine (*Pinus resinosa*), and hybrid poplar under amino acid nutrition. *New Forests*, *44*(2):281–95. https://doi.org/10.1007/s11056-012-9317-9

Wright, R. D. (1986). The Pour-through Nutrient Extraction Procedure. *HortScience*, *21*(2), 227–229. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.21.2.227

CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL DE CHILE (*Capsicum annum*) INFECTADO POR *Candidatus phytoplasma* trifoli

Mayra Denise Herrera[1*], Azucena Itzaé Barrio Alemán[1], Ruth Nohemí Picaso[1], Luis Roberto Reveles Torres[1], Jaime Mena Covarrubias[1], Silvia Salas Muñoz[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Carr. Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. *Autor de Correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

El chile es ampliamente usado debido a su fuerte potencia de sabor, aroma, color y valor nutricional, sin embargo, sus rendimientos promedio se pueden ven gravemente afectados por la presencia de plagas y enfermedades. Diversos autores han mencionado que las plantas infectadas con fitoplasma exhiben una serie de cambios anatómicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares. Según Prezelj et al. (2016), los cambios en la translocación del fotosintato junto con otras funciones fisiológicas deterioradas, incluida la fotosíntesis reducida, la conductancia estomática, la acumulación de peróxido de hidrógeno, la alteración del equilibrio hormonal de las plantas y la alteración del metabolismo secundario, podrían explicar los síntomas mostrados por la infección por fitoplasma. Aunque pocos estudios han relacionado la incidencia de infección por fitoplasmas con el aumento de fitoquímicos en diferentes cultivos, como *Malus pumina* y *Prunus domestica* (Musetti, Favali, & Pressacco, 2000), *Zea mays* (Junqueira et al., 2004), *Vitis vinifera* (Margaria et al., 2014), *Theobroma cacao* (Ondobo et al., 2014) y *Vigna radiata* (Hameed et al., 2017), no existe información suficiente sobre el efecto del fitoplasma sobre el contenido de fitoquímicos nutrimentales y nutracéuticos en los frutos de plantas de chile, por lo que se desconoce el efecto que tendrá la infección por fitoplasmas, sobre el alimento. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar nutrimental, nutraceutica y funcionalmente los frutos de plantas de chile colectadas en un terreno con indicios de infección con el patógeno, después de un diagnóstico por PCR anidad, se caracterizó chiles de plantas no infectadas, y de planta infectadas sintomáticas y asintomáticas.

Materiales y métodos

Establecimiento de la parcela experimental. Las muestras que se analizaron en este proyecto fueron de plantas de chile tipo Mirasol que fueron colectadas de una parcela comercial con autorización del productor cooperante. En campo, se tomó muestras de tejido foliar de plantas consideradas infectadas, con base a la sintomatología visual (farol chino, Figura 1), y plantas asintomáticas, aparentemente sanas. En total se tomó 12 plantas por cada grupo inicial: infectadas y sanas. De cada planta se tomó aproximadamente 3-4 frutos con características comerciales deseadas. Las muestras de tejido foliar y los frutos se llevaron al Laboratorio de Alimentos Funcionales del INIFAP en bolsas de papel. Las plantas se tomaron de manera aleatoria bajo los criterios ya mencionados, cada planta se consideró como una unidad experimental y cada grupo se replicó 10 veces. Cabe mencionar que, con fines experimentales, el equipo de investigadores involucrados en la presente investigación decidió trasladar las muestras de tejido foliar en bolsas de polietileno y de papel, estas acciones no afectan los resultados de la caracterización de los frutos. Las muestras de tejido foliar se almacenaron a 4 °C para posteriormente utilizarla para extracción de ADN e identificación de fitoplasma por PCR. Las muestras de frutos de chile, se almacenaron a -70°C por 24 h, posteriormente se liofilizaron y molieron en un molino para especias, finalmente se almacenaron en bolsas con sello en un lugar seco y protegiendo de la exposición a la luz.

Detección de Candidatus phytoplasma trifolii. La detección de fitoplasmas se realizó amplificando el gen 16S rRNA. Los oligonucleótidos utilizados para PCR directo fueron P1 5'-AAGAGTTTGATCCTGGCTCAGGATT - 3'y Tint 5'- TCAGGCGTGTGCTCTAACCAGC -3' (Smart et al., 1996), y para el PCR anidado fueron R16F2n 5´- GAAACGACTGCTAAGACTGG -3´ y R16R2 5'- TGACGGGCGGTGTGTACAAACCCCG -3'. El experimento de PCR directo se realizó en tubos eppendorf con un volumen final de 25 µl, conteniendo para cada reacción: 2.5 µl de buffer 10X, 1.5 µl de MgCl2 50 Mm, 2.5 µl de dNTP's 2 Mm, 0.5 µl de cada oligonucleótido, 0.25 µl de Taq polimerasa, 14.25 µl de agua y 2.5 µl de ADN. Para PCR anidado se utilizaron las mismas cantidades que en PCR directo, con excepción de dos componentes que se agregaron a diferente proporción: 16.25 µl de agua y 1 µl del ADN producto del PCR directo. Las PCR se realizaron en un termociclador (Applied Biosystems), bajo las siguientes condiciones: 95 °C por 5 min, 35 ciclos a 94 °C por 1 min, 56 °C poe 2 min y 72 °C por 2 min, y ciclo final a 72 °C por 5 min para PR directo. Los productos de la PCR se analizaron por electroforesis en geles de agarosa 1% y teñidos con bromuro de etidio para visualización en iluminación UV. Posteriormente, el análisis del gen rRNA se realizó en secuencias de aislados de fitoplasmas por medio de RFLP simulado con el uso del programa iPhyClassifier website: (https://plantpathology.ba.ars.usda.gov/cgibin/resource/iphyclassifier.cgi).

Caracterización nutrimental. El análisis de composición química se realizó en peso seco utilizando los métodos de la AOAC; el nitrógeno total se determinó mediante el ensayo Micro-Kjeldalh (920.15), el contenido de lípidos mediante extracto etéreo (925.12) y el contenido total de cenizas mediante el método 945.46 (Horwitz et al., 1975). Los carbohidratos se determinaron mediante el siguiente cálculo:

Hidratos de Carbono (g/100 g) = 100 – [Cenizas (g/100 g) + Grasa Total (g/100 g) + Humedad (g/100 g) + Proteína (g/100 g)].

Análisis Estadístico. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza ANOVA. Las diferencias entre los diferentes tipos de plantas (sana, asintomática y sintomática) se consideraron significativas si el valor de probabilidad fue menor a 0.05 ($P<0.05$) con la prueba de Tukey. Los análisis se realizaron en el software estadístico JMP 5.0.1 (SAS Institute, Cary, NC.EE.UU.). El procesamiento de datos para obtención de graficas se realizó en el Programa GraphPad 8.

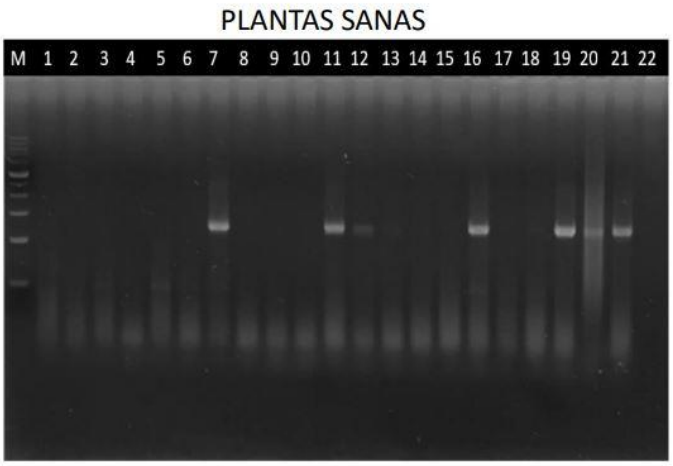
Figura 1. Plantas de chile tipo Mirasol. De lado izquierdo, estructura floral de una planta no infectada. De lado derecho, sintomatología de 'farol chino' (dentro del aro rojo) que se desarrolla en lugar de una flor sana. (Fotografías originales).

Resultados y conclusiones

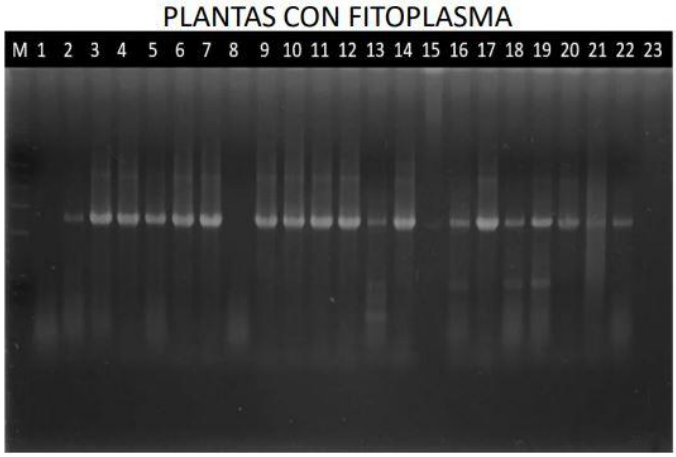
Identificación molecular de la infección por fitoplasma. Los productos de la PCR anidada (1.2 kb) amplificados de todas las plantas sintomáticas y las seleccionadas como 'aparentemente sanas' se clonaron por separado y se secuenciaron directamente (Figura 2). En esta investigación, se trabajó con las muestras cargadas en los primeros 12 carriles (plantas transportadas en bolsa de papel). Se analizaron un total de 24 muestras de chile mirasol divididas en 3 grupos de interés nombradas asintomáticas, sintomáticas y sanas. Para esta agrupación, se detectaron fitoplasmas por PCR anidada en chile. Durante la selección en campo, no se observó síntomas de infección en las plantas que se colectaron como aparentemente sanas, sin embargo, después de la PCR, algunas de estas plantas resultaron infectadas, por lo que se catalogaron como infectadas asintomáticas, aquellas que fueron negativas a la presencia de fitoplasmas, se catalogaron como sanas. Basado en datos de secuenciación de cuatro aislados de chile, y se determinó al patógeno como "*Candidatus* Phytoplasma trifolii" (16Sr VI-A) (Reveles-Torres et al., 2018).

Análisis proximal de C. annumm tipo mirasol. Todo factor ambiental, entre estos, los factores bióticos son responsables de un cambio en la concentración de fitoquímicos. El cuadro 1 muestra los resultados del análisis proximal de frutos de chile obtenidos de la parcela de un productor cooperante, considerando plantas sanas, e infectadas con fitoplasmas asintomáticas y sintomáticas. La concentración de proteína, a pesar de que tuvo ligeras diferencias en el promedio entre los diferentes grupos experimentales, no fue estadísticamente diferente, sin embargo, la concentración de grasa tuvo diferencias estadísticas significativas.

Los lípidos y ácidos grasos son componentes esenciales presentes en todas las células vegetales, tienen una gran importancia metabólica y funcionan como mediadores de transducción de señales intracelulares y extracelulares (Kachroo y Kachroo, 2009). Son escasos los estudios en los que se señala el efecto de la infección por fitoplasma sobre la concentración final de lípidos en el tejido analizado. En un estudio realizado por García-Araujo en el 2018, se encontró que la infección por *Candidatus* phytoplasma trifolii disminuye significativamente la concentración de lípidos en plantas de chile, específicamente, ácidos grasos libres, sin embargo, la evaluación en la concentración de grasa en el fruto no se ha reportado. Con base en los resultados obtenidos, se puede observar una disminución importante en la concentración de estas macromoléculas cuando la planta ha sufrido la infección por el patógeno, encontrando una disminución de hasta 45% y 70% en plantas asintomáticas y sintomáticas, respectivamente.



POCILLOS	MUESTRAS	POCILLOS	MUESTRAS
M	MARCADOR	12	S15H9 (+)
1	S1H9 (-)	13	S16 (-)
2	S3H10 (-)	14	S17H9 (-)
3	S4H10 (-)	15	S18H11 (-)
4	S5H10 (-)	16	S19H12(+)
5	S6H10 (-)	17	S20H11 (-)
6	S7 H11 (-)	18	S21H12 (-)
7	S8H11(+)	19	S22H15(+)
8	S9H12 (-)	20	+ Control
9	S11H15 (-)	21	+ Control
10	S12H9 (-)	22	- Control
11	S13H9(+)		



POCILLOS	MUESTRAS	POCILLOS	MUESTRAS
M	MARCADOR	12	F12H9(+)
1	F1H9 (-)	13	F13H10(+)
2	F2H10(+)	14	F14H10(+)
3	F3H10(+)	15	F15H9(+)
4	F4H8(+)	16	F17H11(+)
5	F5H11(+)	17	F18H11(+)
6	F6H12(+)	18	F19H13(+)
7	F7H11(+)	19	F20H14(+)
8	F8H11(-)	20	F22H14(+)
9	F9H14(+)	21	+ CONTROL
10	F16H11(+)	22	+ CONTROL
11	F11H14(+)	23	- control

Figura 2. PCR anidada para la detección de fitoplasmas en plantas de chile picante. Marcador de peso molecular de ADN de 1 kb (Amresco), carril M. Los controles positivo y negativo se ubican en los carriles 21 y 22, respectivamente.

Se ha mencionado que las plantas responden al estrés abiótico y biótico mediante la remodelación de la fluidez de la membrana y la liberación de α-Linolénico de los lípidos de la membrana (Upchurch et al., 2008). Esto podría explicar una diferencia en la concentración de grasa total del fruto ya que en *Arabidopsis thaliana*, se encontraron regulaciones específicas que sustentan la transcripción inicial de respuestas desencadenadas como signos de defensa mediados por lípidos.

Cuadro 1. Análisis proximal de chile mirasol de plantas sanas e infectadas por fitoplasmas.

Muestra	**Compuesto (%)**			
	Proteína	Grasa	Cenizas	Carbohidratos
Sana	10.9 ± 1.2	12.9 ± 0.6 a	6.5 ± 0.1	69.7 ± 3.5 c
Infectada asintomática	13.3 ± 4.0	7.1 ± 0.0 b	7.0 ± 1.7	72.6 ± 2.3 b
Infectada sintomática	11.3 ± 1.9	3.8 ± 0.5 c	5.9 ± 1.1	79.0 ± 1.9 a

Los datos se muestran como la media ± la desviación estándar. Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa ($p < 0.05$) con la prueba de Tukey.

Al igual que en la concentración de proteínas totales, no se observó diferencias significativas en la concentración de cenizas totales, sin embargo, la concentración de carbohidratos fue diferente entre los diferentes grupos de frutos de chile analizados. Es interesante observar que la tendencia en la concentración de carbohidratos es diferente a la que se observó en la concentración de lípidos, es decir, en este caso, fueron los chiles de pantas sintomáticas los que tuvieron la mayor concentración, con 13% más carbohidratos totales, en comparación con los frutos de plantas sanas. Se ha descrito que el metabolismo de carbohidratos se altera durante la infección. Hay varios factores que contribuyen a la complejidad de la relación mutua entre el estado de carbohidratos y el desarrollo de enfermedad/resistencia. Primero, el nivel de carbohidratos afecta la defensa y el metabolismo general de la planta. En segundo lugar, los azúcares no solo son nutrientes y señales para la planta, sino también para los microorganismos presentes. Por lo tanto, los cambios en los niveles de asimilación pueden influir en la propagación del patógeno. Esto pudiera explicar la concentración diferencial de carbohidratos en los frutos de plantas infectadas. A pesar de que la diferencia es estadísticamente significativa, la diferencia entre los promedios no representaría un efecto tan importante para el consumidor, sin embargo, pruebas subclínicas de consumo de este alimento son necesarias para confirmar tal aseveración.

Conclusiones

Los resultados observados, además de proporcionar una descripción bioquímica de la síntesis de fitoquímicos en respuesta a la infección por "*Ca.* P. trifolii", en plantas de chile tipo Mirasol, plantean datos interesantes sobre la composición nutricional básica, por sus cambios en la concentración de macromoléculas como proteínas, lípidos y carbohidratos.

Referencias

Hameed, S., Akhtar, K. P., Hameed, A., Gulzar, T., Kiran, S., Yousaf, S., Sarwar, N. (2017). Biochemical changes in the leaves of mungbean (*Vigna radiata*) plants infected by phytoplasma. Turkish Journal of Biochemistry, 42, 591–599.

Horwitz, W., Senzel, A., Reynolds, H., Park, D.L., 1975. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Ed. 12.

Junqueira, A., Bedendo, I., & Pascholati, S. (2004). Biochemical changes in corn plants infected by the maize bushy stunt phytoplasma. Physiological and Molecular Plant Pathology, 65, 181–185.

Kachroo, A., Kachroo, P. (2009). Fatty acid-derived signals in plant dfense. Annual Review of Phytopathology, 47, 153-176.

Margaria, P., Ferrandino, A., Caciagli, P., Kedrina, O., Schubert, A., Palmano, S. (2014). Metabolic and transcript analysis of the flavonoid pathway in diseased and recovered Nebbiolo and Barbera grapevines (*Vitis vinifera* L.) following infection by Flavescence dorée phytoplasma. Plant, Cell & Environment, 37, 2183–2200.

Musetti, R., Favali, M., & Pressacco, L. (2000). Histopathology and polyphenol content in plants infected by phytoplasmas. Cytobios, 102, 133–148.

Ondobo, M. L., Onomo, P. E., Djocgoue, P. F., Ndjaga, J. M., Boudjeko, T., Ndoumou, D. O. (2014). Phenolic content and heritability of resistance in four hybrid populations of Theobroma cacao L. after leaves inoculation with Phytophthora megakarya Bras. et Grif. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 8, 17–30.

Prezelj, N., Covington, E., Roitsch, T., Gruden, K., Fragner, L., Weckwerth, W., Dermastia, M. (2016). Metabolic consequences of infection of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. "Modra frankinja" with Flavescence dorée phytoplasma. Frontiers in Plant Science, 7, 711.

Reveles-Torres, LR., Velásquez-Valle, R., Salas-Muños, S., Mauricio-Castillo, JA., Esqueda-Dávila, KCJ. & Herrera MD. (2018). *Candidatus* Phytoplasma trifolii (16SrVI) infection modifies the polyphenols concentration in pepper (*Capsicum annuum*) plant tissues. Journal of Phytopathology.

Upchurch, R., Chiu, CY., Everett, K., Dyszynski, G., Coleman, DC., Whitman, WB. (2008). Differences in the composition and diversity of bacterial communities from agricultural and forest soils, Soil Biology and Biochemistry, 40, 1294-1304.

TRATAMIENTO POST-VENTA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE FIBRA Y ALMIDÓN DE CÁSCARA DE TUNA: DE RESIDUOS AGRÍCOLAS A INGREDIENTE FUNCIONAL

Mayra Denise Herrera[1*], María del Rosario Benítez Pinedo[1], Brisbany Alexandra Rodríguez Villa[1], Valentín Melero Meraz[1], Néstor Manuel Ortiz Rodríguez[1], Martha Fabiola Martin del Campo Solís[2], Carlos Martín Enríquez Castro[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Carr. Zacatecas-Fresnillo, km. 24.5, Calera de V.R., Zacatecas, México. C.P. 98500. [2]Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Norte. Carr. Federal No. 23 Km 191. Colotlán, Jalisco, México. C.P. 46200. [3]Tecnologíco Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Norte. Carr. González Ortega Km. 3. Río Grande, Zacatecas, México. C.P. 98400. *Autor de Correspondencia: mayradherrera@gmail.com

Introducción

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es el cactus de mayor importancia económica del mundo. El fruto de O. ficus-indica se caracteriza por una pulpa carnosa y jugosa entremezclada con un gran número de pequeñas semillas y envuelta por una cáscara gruesa. Sin embargo, las cáscaras, que representan alrededor de 50 a 100 g de la materia prima, se consideran como “residuo” agroindustrial que generalmente se desecha a pesar de que son fuente de compuestos bioactivos (Bouazizi et al., 2020; De-Wit et al., 2020; Díaz-Vela et al., 2015). Por lo tanto, a esta parte del fruto, menos investigación ha sida dedicada, sobre todo a dilucidar compuestos fitoquímicos y propiedades funcionales contenidos en estas estructuras. Estos residuos agroindustriales, que generalmente se desechan, contienen compuestos bioactivos. Por lo anterior, desarrollar soluciones sostenibles para la gestión del desperdicio de alimentos es uno de los principales desafíos de nuestra sociedad. El objetivo de este estudio fue cuantificar la concentración de carbohidratos no digeribles, como fibra dietaria y sus fracciones soluble e insoluble, y almidón resistente, en cáscaras de tuna deshidratadas después de la aplicación de prácticas post tratamiento, en los puntos de venta de tuna.

Materiales y métodos

Obtención y procesamiento de las muestras. Se recolectaron cáscaras de diferentes colores en comercios urbanos. Posteriormente, se deshidrataron mediante un sistema de secado tipo bomba de calor a 60 °C, tras el tratamiento según un diseño factorial, considerando la incorporación de prácticas con potencial adopción entre los productores de tuna y que no son comunes entre ellos, como la selección del color (niveles: blanco, rojo) y la refrigeración (niveles: con (L1), sin (L2)) antes del secado. Una vez deshidratadas las cáscaras, estas se molieron en un molino doméstico, y se almacenaron en bolsas selladas, en un lugar fresco, hasta su análisis.

Cuantificación de fibra dietaría. La determinación del contenido de fibra dietaria total se realizará considerando las instrucciones del kit de ensayo de fibra dietética total (Sigma-Aldrich, Saint Louis, Missouri, EE. UU.). Luego de cuantificar y restar la concentración de proteína y cenizas cuantificadas de las muestras de fibra total por medio de los métodos 920.15 y 945.46 de la AOAC, respectivamente (Horwitz et al., 1975), se determinará la fibra dietética total e insoluble; posteriormente, se calculará la fracción soluble por diferencia.

Almidón resistente. La determinación de almidón resistente se realizará a partir de la fracción insoluble resultante del ensayo de determinación de fibra dietaria, según Saura-Calixto et al. (1993) con algunas modificaciones; la concentración final de glucosa se analizará mediante un kit GOD-PAP (Randox Laboratories Ltd., Reino Unido) y se utilizará como control una solución estándar de glucosa (0-0,98 mg/dl). El almidón resistente se calculará como glucosa (mg) x 0,9.

Análisis Estadístico. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza ANOVA siguiendo un diseño factorial. Las diferencias entre tratamientos y entre tipo de cáscara se consideraron significativas si el valor de probabilidad fue menor a 0.05 ($P<0.05$) con la prueba de Tukey. Los análisis se realizaron en el software estadístico JMP 5.0.1 (SAS Institute, Cary, NC.EE.UU.). El procesamiento de datos para obtención de graficas se realizó en el Programa GraphPad 8.

Resultados y discusiones

Los resultados mostraron que tanto el color de la cáscara de tuna, como la refrigeración previa al deshidratado tienen un efecto significativo sobre la concentración de carbohidratos no digeribles. No se observó un efecto de interacción significativo sobre la concentración de fibra total y su fracción soluble (Figura 1A y B). No obstante, la fracción insoluble y el almidón resistente respondieron significativamente al efecto de la interacción de los niveles del factor 'color' de la cáscara de tuna, y del factor 'refrigeración' previa al deshidratado (Figura 1C y D). Estos resultados resultan interesantes, ya que se ha reportado que la fibra dietética se compone de las partes comestibles de las plantas que son resistentes a la digestión, y su ingesta produce numerosos efectos beneficiosos, como la prevención de la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares (García-Herrera et al., 2010. Curiosamente, las frutas pigmentadas suelen tener una mayor concentración de fibra dietética; según Padayachee et al. (2017), las frutas y verduras son buenas fuentes de fibra dietética en forma de pared celular vegetal. Sin embargo, la concentración de estos compuestos varía según tratamientos poscosecha o de deshidratación. En consecuencia, dependiendo del tratamiento térmico, el proceso de secado también puede originar un aumento de la fibra total o de sus fracciones, lo cual no se debe a una nueva síntesis, sino a la formación de complejos fibra-proteína resistentes al calor y cuantificados como fibra dietética (Dhingra et al., 2012). Por otro lado, en cuanto a la concentración de almidón resistente, Dupuis et al. (2014) informaron previamente una asociación entre el procesamiento térmico y el aumento del almidón resistente. En consecuencia, esto se debe a una reorganización de las cadenas de amilosa que permite que las fracciones de amilosa y amilopectina interactúen y formen dobles hélices, lo que aumenta la estabilidad general del gránulo a la disrupción, lo que resulta en un aumento del almidón resistente. Curiosamente, los resultados mostraron que la DD realizada en invernadero no tiene un efecto significativo en la concentración de fibra dietética ni en el almidón resistente.

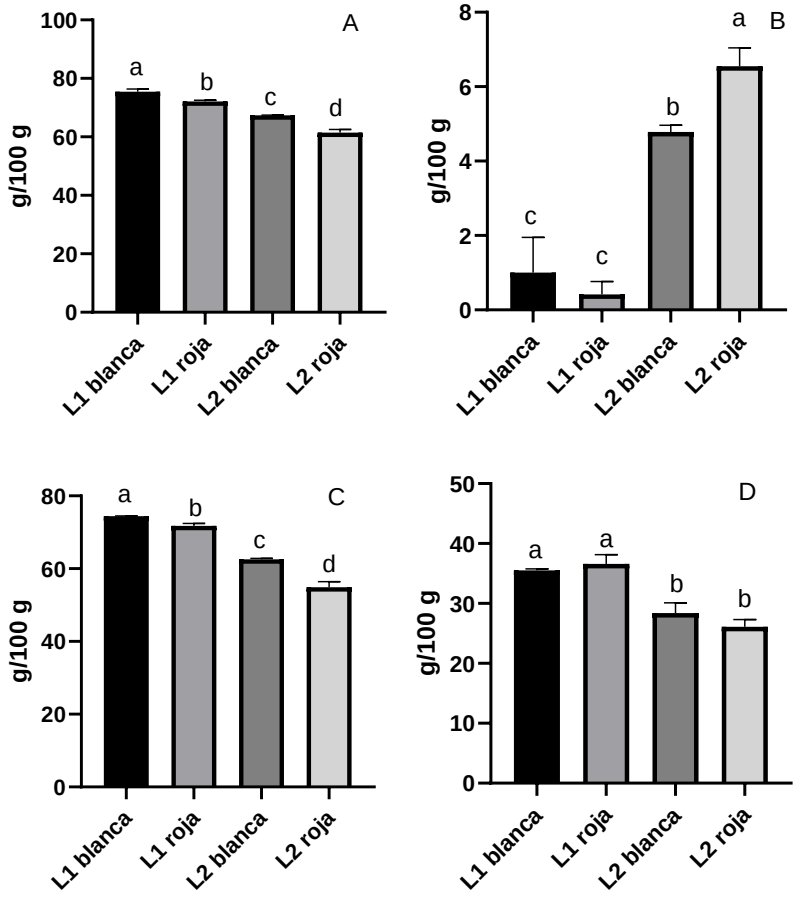


Figura 1. Carbohidratos no digeribles en cáscaras de tuna. Los resultados se muestran como la media ± DE. Letras diferentes entre barras indican diferencia significativa ($p<0.05$) con la prueba de Tukey. A, fibra dietaria total; B, fibra dietaria insoluble; C, fibra dietaria soluble; D, almidón resistente.

Conclusiones

Dados los desafíos nutricionales que enfrenta la sociedad actual (indicadores de hambre y crecimiento de la población mundial), el aprovechamiento de los residuos alimentarios para el consumo humano debería ser una prioridad. Además, el valor añadido generado por la diversificación de las cadenas de producción puede generar oportunidades de empleo para los residentes, generando beneficios sociales adicionales. La implementación de prácticas posventa podría tener efectos diferenciales.

Referencias

De-Wit, M., Du-Toit, A., Osthoff, H.A. 2020. Antioxidant content, capacity and retention in fresh and processed cactus pear (*Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*) fruit peels from different fruit-colored cultivars. Front. Sustain. Food Syst. 4:133.

Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., Patil, R.T., 2012. Dietary fibre in foods: A review. J. Food Sci. Technol. 49 (3), 255–266.

Díaz-Vela, J., Totosaus, A., Pérez-Chabela, M.L. 2015. Integration of agroindustrial co-products as functional food ingredients: Cactus pear (*Opuntia ficus indica*) flour and pineapple (*Ananas comosus*) peel flour as fiber source in cooked sausages inoculated with lactic acid bacteria. J. Food Process. Preserv. 39:2630-2638.

Dupuis, J.H., Liu, Q., Yada, R.Y., 2014. Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: A review. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 13 (6), 1219–1234.

García-Herrera, P.; Sánchez-Mata, M.; Cámara, M. 2010. Nutritional characterization of tomato fiber as a useful ingredient for food industry. Innov. Food Sci. Emerg. Technol., 11, 707–711.

Horwitz, W., Senzel, A., Reynolds, H., Park, D.L., 1975. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Ed. 12.

Padayachee, A.; Day, L.; Howell, K.; Gidley, M. 2017. Complexity and health functionality of plant cell wall fibers from fruits and vegetables. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2017, 57, 59–81.

Saura-Calixto, F., Go˜ni, I., Bravo, L., Mañas, E., 1993. Resistant starch in foods: modified method for dietary fiber residues. J. Food Sci. 58, 642–643.

XXI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS BIÓTICOS DE ZONAS ÁRIDAS

"Innovación y acción para un medio ambiente sostenible"

Universidad Autónoma Chapingo
Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre

URUZA

Dirección General de Investigación Posgrado y Servicio

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

CRSAD
Centre de recherche en sciences animales de Deschambault