



Memorias *in extenso*

Directorio

PRESIDENTE

LIC. MAURICIO KURI GONZÁLEZ

VICEPRESIDENTE

DRA. MARTHA ELENA SOTO OBREGÓN

DIRECTOR GENERAL

DR. ENRIQUE RABELL GARCÍA

SECRETARIO

LIC. RENÉ MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS. Año 17, edición especial, agosto 2026. *Nthe* es una publicación cuatrimestral editada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ): calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000; tel. (442) 214 3685; www.concyteq.edu.mx; nthe@concyteq.edu.mx. Editor responsable: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela. Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2018-111410321700-203; ISSN 2007-9079, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela: calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000. Fecha de última modificación: agosto de 2026

Nthe ha sido aprobada para su inclusión en el Índice del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX)

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación siempre y cuando se cite la fuente.

EDICIÓN Y DISEÑO DE LA PUBLICACIÓN
LIC. FELIPE DE JESÚS ESPERÓN VALENZUELA

Nthe, Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro:
<http://nthe.mx/>

Luis Pasteur Sur núm. 36
Col. Centro, CP 76000
Tel. 52 (442) 214 3685 / 212 7266, ext. 105
Querétaro, Qro., México

Consejo editorial

Investigadores nacionales

Dr. Alejandro Manzano Ramírez

Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados del Instituto Politécnico Nacional,
unidad Querétaro

Dr. Flora Mercader Trejo

Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Dr. Sergio Barrera Sánchez

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de
Monterrey, campus Querétaro

Dr. Martha Cruz Soto

Universidad del Valle de México, campus
Querétaro

Dr. Gabriela Calderón Guerrero

Facultad de Psicología, Universidad Autónoma
de Querétaro

Dr. Víctor Castaño Meneses

Centro de Física Aplicada y Tecnología
Avanzada de la UNAM, campus Juriquilla

Dr. Rolando Salinas García

Unidad Multidisciplinaria de Estudios Sobre el
Trabajo, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Miguel Martínez Madrid

Instituto Mexicano del Transporte, SCT

Dr. Daniel Hiernaux Nicolás

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales,
Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Gabriel Corral Velázquez

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales,
Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Salvador Echeverría Villagómez

Centro Nacional de Metrología

Dr. Alberto Traslosheros Michel

Universidad Aeronáutica en Querétaro

Dra. Alejandra Urbiola Solís

Facultad de Contaduría y Administración,
Universidad Autónoma de Querétaro



Dr. Jöns Sánchez Aguilar

Instituto Tecnológico de Querétaro, Tecnológico
Nacional de México

Dr. Octavio López Millán

Instituto Tecnológico de Hermosillo

Dra. Marcela Hernández Romo

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad
Iztapalapa

Mtra. Martha Díaz Muro

Instituto Tecnológico de Hermosillo, Tecnológico
Nacional de México

Dr. Sergio Sandoval Godoy

Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, Sonora

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jorge Raúl Palacios Delgado

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dra. María Guadalupe Ordaz Cervantes

Universidad Autónoma de Querétaro

Mtra. Eva Leticia Ortiz Ávalos

Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Adriana del Carmen Gallegos Melgar

CONACYT - COMIMSA

Dra. Ana Isabel Moreno Calles

Universidad Nacional Autónoma de México
Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia.

Dra. Olivia Solís Hernández

Universidad Autónoma de Querétaro

Externo

Dr. Víctor Hugo Muciño Quintero

Universidad de West Virginia, EUA

La revista electrónica *Nthe* es financiada en su totalidad por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro en el marco del presupuesto autorizado el día 23 de diciembre de 2025. (Publicado en el periódico oficial del estado de Querétaro, La Sombra de Arteaga).

Comentario *Nthe*

Las memorias de las XI Cátedras del Semidesierto representan mucho más que la recopilación de investigaciones y experiencias académicas; constituyen el testimonio de un proceso formativo en el que el conocimiento se construye a partir del diálogo entre disciplinas, instituciones, saberes y personas comprometidas con la comprensión y conservación del patrimonio biocultural del Semidesierto Queretano-Hidalguense.

Los trabajos aquí reunidos, reflejan el vigor de una comunidad científica que aborda los desafíos de la conservación desde tres grandes ejes: las amenazas a la biodiversidad, la ecología funcional y las estrategias de manejo. Desde el análisis del comercio ilegal de especies y la expansión agropecuaria, hasta el estudio de las interacciones ecológicas, el potencial medicinal de la flora regional y el desarrollo de propuestas prácticas para la conservación, cada contribución fortalece la comprensión integral de uno de los ecosistemas más valiosos de nuestro país.

Expreso mi reconocimiento a todas las personas que hicieron posible esta edición. Especialmente al Ing. Emiliano Sánchez Martínez y a todo su equipo de trabajo. Reconozco también la labor de la Biol. Beatriz Maruri Aguilar como coordinadora de esta edición especial. A los autores, les agradezco su compromiso y dedicación en sus proyectos de investigación

Confío en que las páginas que siguen no sólo documenten los avances alcanzados, sino que también inspiren nuevas preguntas, fortalezcan alianzas y motiven a futuras generaciones a seguir investigando, conservando y comprendiendo la extraordinaria riqueza del semidesierto mexicano. Que estas memorias permanezcan como evidencia de que la ciencia, cuando se comparte con apertura y compromiso, tiene la capacidad de transformar nuestra mirada y de contribuir a la construcción de un futuro más sostenible

Dr. Enrique Rabell García
Director General del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

Las Cátedras del Semidesierto: un devenir apodíctico

En el marco de las XI Cátedras del Semidesierto del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, convocamos a pensar la formación no como un fin acabado, sino como un proceso vivo.

El concepto de Bildung, en la tradición de Georg Wilhelm Friedrich Hegel, nombra ese devenir en el que el espíritu se cultiva al encontrarse con lo otro, al dilatarse en la diferencia, al reconocerse en el tránsito.

El Semidesierto Queretano-Hidalguense, con su aparente austeridad, ofrece una lección silenciosa: toda forma lograda es resultado de una tensión sostenida, de una transformación que no se apresura. En este paisaje, la formación se revela como ejercicio de atención, como apertura a los ritmos profundos de la vida.

Esta edición de los resultados de las Cátedras del Semidesierto se propone como un espacio de mediación continua para saber, disciplinas y experiencias, donde el conocimiento no se reduce a su transmisión, sino que se despliega como experiencia formativa.

Aquí, pensar es también habitar, escuchar y dejarse afectar; es decir, avituallarse para la operación pragmática.

Que este recuento sea, entonces, bastión para comprender que la formación no consiste en la mera acumulación de contenidos, sino en la configuración de una mirada capaz de integrar la complejidad, sostener la contradicción y abrir horizontes de total sentido.

Porque formarse es, en última instancia, aprender a devenir.

Emiliano Sánchez Martínez
Director del Jardín Botánico Regional de Cadereyta
Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

Ciencia y conservación: aportes de las XI Cátedras del Semidesierto al Marco Mundial de Biodiversidad

Los trabajos presentados durante las XI Cátedras del Semidesierto resumen las tareas de 30 autores de 10 instituciones. Podemos entender la diversidad de temas bajo tres grandes rubros: las amenazas, la ecología funcional y las estrategias prácticas de manejo.

Las amenazas incluyeron la venta ilegal por internet, la expansión agropecuaria, la contaminación urbana y las especies invasoras, líneas que se han identificado como las principales causas de la pérdida de biodiversidad a nivel mundial. La línea de ecología funcional resalta el papel de las interacciones interespecíficas que pocas veces se contemplan, el potencial medicinal y manejo de la riqueza floral y medicinal en la zona. La tercera línea es de corte práctico y ataja una de las amenazas importantes a la Biodiversidad, con un posible manejo y costo.

La importancia de los manuscritos en esta edición de las Cátedras no sólo trata los tres temas macro, sino que se enmarcan en varias metas del Marco Mundial de Biodiversidad (MMB) Kunming-Montreal de la siguiente manera:

La Meta 3 (Protección del 30% de tierras y océanos) por medio de la identificación de vacíos de conservación y la priorización geográfica.

Meta 4 (Gestión de especies amenazadas y diversidad genética) haciendo investigación sobre especies en peligro crítico y la importancia de los bancos de semillas.

Meta 5 (Uso sostenible y eliminación del tráfico ilegal) resaltando el comercio ilegal en internet y la importancia de la propagación regulada.

Meta 6 (Gestión de especies exóticas invasoras) implementando protocolos de control y estimación de costos.

Meta 7 (Reducción de la contaminación) evaluando el impacto de desechos urbanos.

Meta 10 (Agricultura sostenible y gestión del paisaje) cuantificando la expansión forrajera y la relevancia de la agroecología, y

Metas 21, 22 y 23 (Conocimientos tradicionales, participación y justicia) identificando el valor biocultural de las especies del semidesierto.

Este vínculo entre la participación de instituciones de educación, organismos no gubernamentales e instituciones gubernamentales hacen posible que México avance a nivel regional en las Metas ambientales para el 2030. Aplaudo el esfuerzo del Jardín Botánico de Cadereyta, el Gobierno del Estado de Querétaro y el Consejo de Ciencia y Tecnología quienes hacen que estos sitios de confluencia sean posibles y congruentes con las necesidades de conservación a nivel nacional y mundial.

Dr. Jordan Golubov
Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco

Las Cátedras del Semidesierto: compartir conocimiento es sembrar futuro

Participar en las Cátedras del Semidesierto transforma a cada asistente. Elaborar la síntesis ordenada de sus proyectos y prepararse para presentarlos en este evento, organizado anualmente por el Jardín Botánico Regional de Cadereyta, constituye una de las primeras experiencias y retos para jóvenes estudiantes de licenciatura y posgrado al enfrentarse a un público. Con satisfacción hemos sido testigos del incremento en el número de contribuciones y de instituciones participantes, cada una con temas diversos que aportan enfoques novedosos para generar y transmitir conocimiento.

Asistir al Jardín Botánico y escuchar charlas sobre biología, conservación, ciencia básica, hallazgos arqueológicos, filosofía o aprovechamientos tradicionales es una experiencia enriquecedora, acompañada de beneficios adicionales: respirar el aire fresco de la mañana mientras se recorren las colecciones botánicas, disfrutar de las amenidades de la inscripción, admirar la disposición estética de obra gráfica y naturaleza, degustar platillos regionales en compañía de otros participantes y compartir momentos de convivencia que llenan el espíritu.

Este espacio es también una oportunidad para conocer personas que trabajan en distintas localidades y enfoques, con el propósito común de comprender y conservar el entorno desértico, sus especies y pobladores. Incluso quienes siguen el evento desde lugares remotos participan con preguntas valiosas y reflexiones profundas.

Las Cátedras del semidesierto son, en esencia, una oportunidad única para compartir conocimiento en un entorno mágico, y se consolidan como un espacio único donde ciencia, tradición y convivencia se entrelazan para fortalecer la comprensión y el aprecio por nuestro entorno. Que estas memorias sirvan como testimonio de la pasión compartida y como invitación permanente a seguir cultivando conocimiento y comunidad en este escenario incomparable.

Con agradecimiento a quienes hacen posible este evento en todos sus componentes.

Dra. María C. Mandujano S.
Investigadora titular
Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México
“Por mi raza hablará el espíritu”
Ciudad de México, México

ÍNDICE

Conferencia magistral

Concordia, armonía y empatía: elementos de la resiliencia en el urbanoceno

Eduardo Santana Castellón

Documentación de prioridades para la conservación en zonas áridas

¿Qué y dónde coleccionar? Definiendo prioridades de conservación en el Desierto Sonorense

María Guadalupe Chávez-Hernández

Pablo Gómez-Barreiro

Joseph D. M. White

Michael Way

Patrón espacial de riqueza de especies del género *Mammillaria* en Querétaro, México

Verónica Delgado-Ramírez

Ubaldo Márquez-Luna

María C. Mandujano

Expansión agropecuaria en dos ecorregiones áridas del norte de México

Maricruz González-Alvarado

Martha Bonilla-Moheno

Alma V. Mendoza-Ponce

Quetzalcóatl Orozco-Ramírez

Lucrecia Arellano-Gámez

Perspectivas sobre el uso de flora de zonas áridas

Efecto vasodilatador y perfil químico del extracto etanólico de *Physalis cinerascens*

Mónica Citlali García-García

Francisco Javier Luna-Vázquez

Alejandra Rojas-Molina

Brenda Itzel Xolalpa-Vargas

Beatriz Maruri-Aguilar

Yazmin Hailen Ugalde de la Cruz

César Ibarra-Alvarado

Venta ilegal de *Ariocarpus retusus* (Cactaceae) a través de internet

Diana Cárdenas-Ramos

Mariana Paola Bravo Correa

María C. Mandujano

Cultivares tradicionales de maguey pulquero (*Agave* spp.) en Boyé, Cadereyta, México

Luis Crescencio Zúñiga-Rivera

Rosalinda González-Santos

Luis Hernández-Sandoval

Nopales silvestres (*Opuntia* spp.) comestibles en San Pedrito el Alto, Querétaro

Josseline Reséndiz-Rosas

Rosalinda González-Santos

Luis Hernández-Sandoval

Estudios ecológicos de la Zona Semiárida Queretano Hidalguense

¿Qué hacen las hormigas por el semidesierto?

Kenya Córdova Lopez

Itzel Santillán Delgadillo

Javier G. Miguelena

Cactus, abejas y flores engañosas: estrategias de reproducción en el semidesierto

Mariana Paola Bravo-Correa

Alicia Callejas-Chavero,

Sonia Vázquez-Santana

María C. Mandujano

Respuesta germinativa de morfotipos de *Astrophytum ornatum* bajo diferentes condiciones ambientales

Erick Baruch Rodríguez Romero

María C. Mandujano

25

1

3

8

14

20

30

34

39

43

49

ÍNDICE

Atributos florales y atracción de polinizadores en cactáceas mexicanas

Pactli Fernando Ortega González
María C. Mandujano

55

Notas sobre la población y nodricismo de *Turbinicarpus alonsoi* Glass & S.Arias

Jorge Emmanuel Benítez Robles
Patricia Herrera-Paniagua
Enrique Ortiz Bermúdez

59

Flujo de polen de *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii*

Tania Abarca Chagala
María C. Mandujano

64

Aspectos poblacionales y etnobotánicos de *Mammillaria mathildae* en una nueva localidad queretana

Juan Pablo Ortega-Fajardo
Patricia Herrera-Paniagua

68

Amenazas a la biodiversidad vegetal: experimentación y control

¿Planificación familiar vegetal? controlando a la madre de millones: *Kalanchoe delagoensis*

Karen A. Ortega-Ramírez
María C. Mandujano

73

El precio de la urbanización: amenaza silenciosa en la cactácea nativa *Myrtillocactus geometrizans*

Anais Verence Vázquez Ramírez
Linda Mariana Martínez Ramos

78

Especies exóticas invasoras en la zona metropolitana de Querétaro: una reflexión

Angélica Navidad Morales Figueroa

83

Enfoques complementarios para comprender la Zona Semiárida Queretano-Hidalguense"

Extensión comunitaria del Jardín Botánico "El Charco del Ingenio"

Mario Arturo Hernández Peña
José Viccon Esquivel

86

Restos vegetales en ofrenda prehispánica de Cadereyta, Querétaro

Elizabeth Mejía Pérez Campos
Aurora Montúfar López

90

Jardín Botánico Regional de Cadereyta: Geosítio del Proyecto Geoparque Triángulo Sagrado

Gerardo J. Aguirre-Díaz
Franco Pielli-Espinosa
Geraldine V. Vázquez-Alarcón

94

El oráculo de Delfos y su sabiduría para regresar la naturaleza humana a la naturaleza: Consiliencia + concordia + derecho ecológico

Pedro Joaquín Gutiérrez-Yurrita

100

Concordia, armonía y empatía: elementos de la resiliencia en el urbanoceno

Eduardo Santana Castellón

Maestro Emérito y Director Fundador del Museo de Ciencias Ambientales de la Universidad de Guadalajara

esantanacas@gmail.com

Los *Homo sapiens* hemos vivido en ciudades modernas solamente el 0.02% de nuestros 300 mil años de existencia como especie. Es decir, no hemos evolucionado en ciudades y no sabemos vivir en ciudades. Sin embargo, a pesar de cubrir solo una ínfima fracción de la superficie terrestre, el impacto ambiental de las ciudades es inmenso. Son las ciudades las que directa e indirectamente generan la mayor cantidad de contaminantes y consumen energía, agua, y recursos naturales. Generan la mayor cantidad de gases efecto invernadero y las que más causan el deterioro de espacios rurales y silvestres. Pero instancias internacionales que estudian el desarrollo de ciudades nos dicen que las ciudades son “el mejor invento de la humanidad” y donde reside la esperanza para un futuro sostenible. Posiblemente sea cierto. En las ciudades es donde más rápido ocurre la evolución cultural humana: es donde aprendemos a ser tolerantes a personas de otras razas, de otras preferencias religiosas, preferencias sexuales y de otras culturas. Pero más importante aún, en las ciudades reside el poder político, el poder económico, el poder científico, el poder religioso y el poder militar que definirá el futuro del campo y el futuro de la naturaleza.

Sin embargo, los poderosos urbanitas viven en un ambiente artificial divorciados de la

agricultura y de las comunidades bióticas que ofrecen los servicios ecosistémicos de los cuales depende la sociedad urbana para subsistir. Es en este contexto, los huertos urbanos y jardines botánicos juegan un papel estratégico para promover la nutrición, la solidaridad comunitaria, el conocimiento de la naturaleza y la salud fisiológica y mental necesaria para crear una nueva cultura de concordia y armonía socio-ambiental. También son espacios propicios para que emerjan nuevas éticas ambientales que ayuden a guiar nuestro comportamiento. Como dice José Luis F. Casadevante, los huertos nos generan “cosechas intangibles”: donde se siembran tomates y se cosechan relaciones sociales. En periodos de escasez o de pandemias, como en el caso del criminal bloqueo estadounidense contra Cuba, los huertos urbanos han sido herramientas para lograr la autosuficiencia alimentaria, pero también para fortalecer la resiliencia social urbana. En este contexto vale la pena explorar si es posible crear “huertopías” transformadoras en las ciudades modernas. La conferencia aborda el estudio de caso del Museo de Ciencias Ambientales, su marco conceptual y su relación con estos procesos de huertos urbanos.

(English) *Homo sapiens* have inhabited modern cities for only about 0.02% of our 300,000 years of existence as a species. In other words, we did not evolve in urban environments, nor have we fully adapted to living in them. Nevertheless, despite

occupying only a minimal fraction of the Earth's surface, cities exert an immense environmental impact. They are the primary sources—both directly and indirectly—of pollutants, and they consume vast amounts of energy, water, and natural

resources. Urban areas generate the largest share of greenhouse gas emissions and are major drivers of rural and wilderness degradation. Yet, international organizations dedicated to urban development often describe cities as “humanity’s greatest invention” and as the locus of hope for a sustainable future. This assertion may hold some truth. Cities are the epicenters of rapid cultural evolution: spaces where we learn tolerance toward individuals of different races, religious beliefs, sexual orientations, and cultural backgrounds. More critically, cities concentrate political, economic, scientific, religious, and military power—forces that will ultimately shape the future of rural landscapes and natural ecosystems.

However, urbanites live in highly artificial environments, disconnected from agriculture and from the biotic communities that provide the ecosystem services upon which urban societies depend for survival. Within this context, urban gardens and botanical gardens assume a strategic role in promoting nutrition, fostering community

solidarity, enhancing ecological literacy, and supporting the physiological and mental well-being necessary to cultivate a new culture of socio-environmental harmony. These spaces also serve as incubators for emerging environmental ethics that can guide human behavior. As José Luis F. Casadevante aptly notes, gardens yield “intangible harvests”: places where tomatoes are sown, and social relationships are reaped. In times of scarcity or during pandemics—such as under the criminal U.S. blockade against Cuba—urban gardens have proven essential for achieving food self-sufficiency while simultaneously strengthening urban social resilience. Against this backdrop, it is worth exploring whether transformative ‘*huertopias*’ can be created within modern cities. This presentation examines the case study of the Environmental Sciences Museum, its conceptual framework, and its relationship to these urban gardening processes.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=YWKfPwNZ9Sk&t=11330s>

¿Qué y dónde coleccionar? Definiendo prioridades de conservación en el Desierto Sonorense

María Guadalupe Chávez-Hernández^{1,2*}, Pablo Gómez-Barreiro¹, Joseph D. M. White³ y Michael Way¹

¹Millennium Seed Bank, Royal Botanic Gardens Kew, UK.

²Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

³Jodrell Laboratory, Royal Botanic Gardens Kew, UK.

* biomariachavez@gmail.com

Resumen

Dada la actual crisis de la biodiversidad, es cada vez más urgente planear y llevar a cabo acciones de conservación eficientes y bien dirigidas. Definir prioridades es, por consiguiente, el punto de inicio de esfuerzos que optimicen tiempo y recursos. Este trabajo presenta una metodología novedosa para la selección de especies y áreas geográficas prioritarias para la colecta y preservación de semillas en bancos. Usando datos de herbarios y bancos de semillas se identificaron las brechas de conservación en la flora del Desierto Sonorense (DS), una ecorregión altamente diversa compartida entre México y Estados Unidos. Utilizando información de múltiples bases de datos se generó un puntaje de prioridad que permitió organizar las 4029 especies nativas del DS de acuerdo con su relevancia para ser resguardadas en bancos. Se seleccionó el top 100 de estos taxones y se modeló su distribución potencial para identificar áreas prioritarias de colecta. Para el caso del DS, géneros como *Agave* o familias como Cactaceae tuvieron una alta importancia. Además, la zona central de la Península de Baja California resaltó como un área relevante para llevar a cabo colectas dirigidas. Esta metodología tiene el potencial de ser replicada en distintas zonas áridas y otros ecosistemas.

Palabras clave: bancos de semillas, especies en peligro, priorización, zonas áridas

Abstract

Given the current biodiversity crisis, it is increasingly urgent to plan and carry out efficient and well-targeted conservation actions. Defining priorities is, therefore, the starting point for efforts that optimize time and resources. This work presents a novel methodology for selecting priority species and geographic areas for seed collection and preservation in banks. Using data from herbaria and seed banks, conservation gaps in the flora of the Sonoran Desert (SD), a highly diverse ecoregion shared by Mexico and the United States, were identified. Based on information from multiple databases, a priority score was generated that allowed the 4,029 native species of the SD to be organized according to their relevance for seed banking. The top 100 of these taxa were selected, and their potential distribution was modeled to identify priority collection areas. In the case of the SD, genera such as *Agave* and families like Cactaceae were highly significant. Furthermore, the central region of the Baja California Peninsula stood out as an important area for conducting targeted collections. This methodology has the potential to be replicated in diverse arid zones and other ecosystems.

Key words: arid lands, endangered species, prioritization, seed banks

Importancia para la conservación

Generar listados de especies prioritarias, así como evaluar su distribución geográfica, es esencial para planear proyectos efectivos de conservación. En el caso de los bancos de semillas, este tipo de decisiones ayudan a optimizar recursos y facilitar el proceso de colecta. El presente trabajo generó esas bases para el Desierto Sonorense y plantea una metodología robusta para la replicación de estos análisis en otras ecorregiones de México y el mundo.

Introducción

La biodiversidad vegetal está en riesgo, eso lo hemos escuchado en múltiples ocasiones. La necesidad por esfuerzos de conservación es cada vez más urgente. Es por lo que alternativas como la colecta de semillas para su almacenamiento en bancos es esencial. Aunado a los jardines botánicos, los bancos de semillas son los grandes reservorios de diversidad específica y genética entre las alternativas de conservación *ex situ* (Li & Pritchard, 2009).

Sin embargo, cuando los recursos económicos y humanos son limitados, conservar la totalidad de la flora se vuelve una tarea casi imposible. Este es el caso en ecosistemas altamente diversos, como el Desierto Sonorense (DS). Esta ecorregión se comparte entre México y Estados Unidos y cuenta con al menos 4000 especies de plantas vasculares (McLaughlin & Bowers, 1999). La primera pregunta que surge al planear un proyecto de colecta de semillas es ¿qué especies buscaremos? e inmediatamente después de esa, surge la duda ¿dónde vamos a encontrarlas?

Para contestar ambos cuestionamientos se desarrolló una metodología para evaluar las especies del DS, la cual tiene el potencial de ser replicada en otras zonas geográficas o ecosistemas de México y el mundo.

Métodos

Se construyó una base de registros de las especies nativas del DS con información de herbarios y bancos de semillas. Esta lista se utilizó como base para adicionar información sobre las especies y posteriormente calcular seis índices utilizados para la priorización: 1) Endemismo, 2) Estado de conservación, 3) Capacidad de almacenamiento en

bancos de semillas, 4) Usos, 5) Conservación *in situ* y 6) Estado de accesiones previas en bancos de semillas. Se calcularon puntajes individuales para cada especie y se organizaron en orden de prioridad (Chávez-Hernández, *et al.* 2024).

A partir del resultado de los puntajes de priorización se consideró un top de 100 de especies para realizar modelos de distribución potencial. Estos modelos se sumaron para obtener mapas de zonas prioritarias de colecta de semillas. La metodología también se aplicó a las especies endémicas al DS y en aquellas en alguna categoría de riesgo según la IUCN (2023).

Resultados

Se seleccionaron 100 especies prioritarias de un total de 4029 taxones nativos del DS (Figura 1), pertenecientes a 149 familias botánicas. Las diez especies con mayor puntuación se presentan como ejemplo en la Tabla 1. La prioridad de estas especies estuvo dada, en mayor medida, por su nivel de endemismo y su estado de conservación, pero el hecho de que fueran especies con capacidad de resistir el almacenamiento en condiciones de frío y baja humedad fue también determinante en la selección.

Por ejemplo, la especie con más alto valor de prioridad, *Agave pelona* Gentry es un taxón micro endémico del DS, en peligro crítico de extinción, sin presencia en Áreas Naturales Protegidas y con reporte de usos, además de que sus semillas son tolerantes a la desecación.

Para el caso del DS, géneros como *Agave* o familias como Cactaceae tuvieron una alta importancia.



Figura 1. Ejemplos de la flora prioritaria del Desierto Sonorense. A) *Agave pelona* Gentry (Asparagaceae), B) *Cochemiea boolii* (G. E. Linds.) P.B. Breslin & Majure (Cactaceae), C) *Encelia ravenii* Wiggins (Asteraceae), D) *Mirabilis greenei* S. Watson (Nyctaginaceae), E) *Thamnosma trifoliata* I.M. Johnst. (Rutaceae). Fotografías obtenidas de iNaturalistMX.

Por otra parte, las zonas centrales de la Península de Baja California, así como la Isla de Los Cedros, resaltaron como áreas importantes para plantear futuros esfuerzos de colecta de semillas, ya que son espacios donde potencialmente pueden distribuirse las especies de interés (Figura 2).

Tabla 1. Las diez especies con mayor puntuación en el Desierto Sonorense.

Prioridad	Especie
1	<i>Agave pelona</i> Gentry (Asparagaceae)
2	<i>Agave turneri</i> R.H. Webb & Salazar-Ceseña (Asparagaceae)
3	<i>Vallesia laciniata</i> Brandegee (Apocynaceae)
4	<i>Agave zebra</i> Gentry (Asparagaceae)
5	<i>Cochemiea boolii</i> (G.E. Linds.) P.B. Breslin & Majure (Cactaceae)
6	<i>Mirabilis greenei</i> S. Watson (Nyctaginaceae)
7	<i>Encelia ravenii</i> Wiggins (Asteraceae)
8	<i>Lupinus arizonicus</i> subsp. <i>arizonicus</i> (S. Watson) S. Watson (Fabaceae)
9	<i>Thamnosma trifoliata</i> I.M. Johnst. (Rutaceae)
10	<i>Galium mechudoense</i> Dempster (Rubiaceae)

Discusión

Los resultados de esta investigación muestran que aún existe una gran área de oportunidad en la colecta de especies nativas del Desierto Sonorense. Cerca del 35% de especies vegetales nativas del DS se han almacenado en bancos de semillas, pero solo el 10% se ha colectado dentro del polígono del DS (Chávez-Hernández, et al. 2024). Sin embargo, hasta el 80% de la flora del DS podría tener las condiciones fisiológicas adecuadas para ser almacenada en bancos, es decir que resistan los procesos de enfriamiento y desecación (Li & Pritchard, 2009). Este fenómeno se ha estimado que sucede para la mayoría de los taxones vegetales que se distribuyen en zonas áridas, lo que indica que este tipo de conservación sería viable para regiones como la Zona Semiárida Queretano-Hidalguense, de la cual apenas hay resguardos de 119 especies en bancos de semillas (Chávez-Hernández, et al. 2025).

Esta metodología presenta una secuencia replicable para zonas distintas, por lo que teniendo acceso a un listado de especies es posible calcular los puntajes y obtener listados específicos de taxones prioritarios.

En comparación con otras regiones o países, aún no se resguarda un alto porcentaje de especies endémicas del DS (6.3%) o en peligro de extinción (38.4%) (Chávez-Hernández, et al. 2024). Por ejemplo, Australia resguarda el 84% de su flora endémica y el 67.7% de sus especies amenazadas (Martyn-Yenson et al. 2021).

Por otro lado, las regiones geográficas priorizadas en este análisis (Figura 2) corresponden en gran medida a las áreas con alta diversidad de endemismos anteriormente reportadas en la Península de Baja California (Rebman & Roberts, 2012).

Si bien la mayor parte del DS pertenece a México, este estudio resaltó que solamente con acciones binacionales se podrá asegurar la conservación de la flora nativa de esta importante ecorregión (Dallimer & Strange, 2015).

Conclusiones

Implementar nuevos esfuerzos de colecta de semillas es esencial para preservar la flora del Desierto Sonorense. Al mismo tiempo, es necesario realizar análisis de priorización de especies y áreas de colecta para otros ecosistemas áridos, por ejemplo, la Zona Semiárida Queretano-Hidalguese.

Agradecimientos

A las instituciones que contribuyeron con datos de las colectas de semillas.

Plática disponible en Youtube:

<https://youtu.be/6o6SmlCAYQ?t=101>

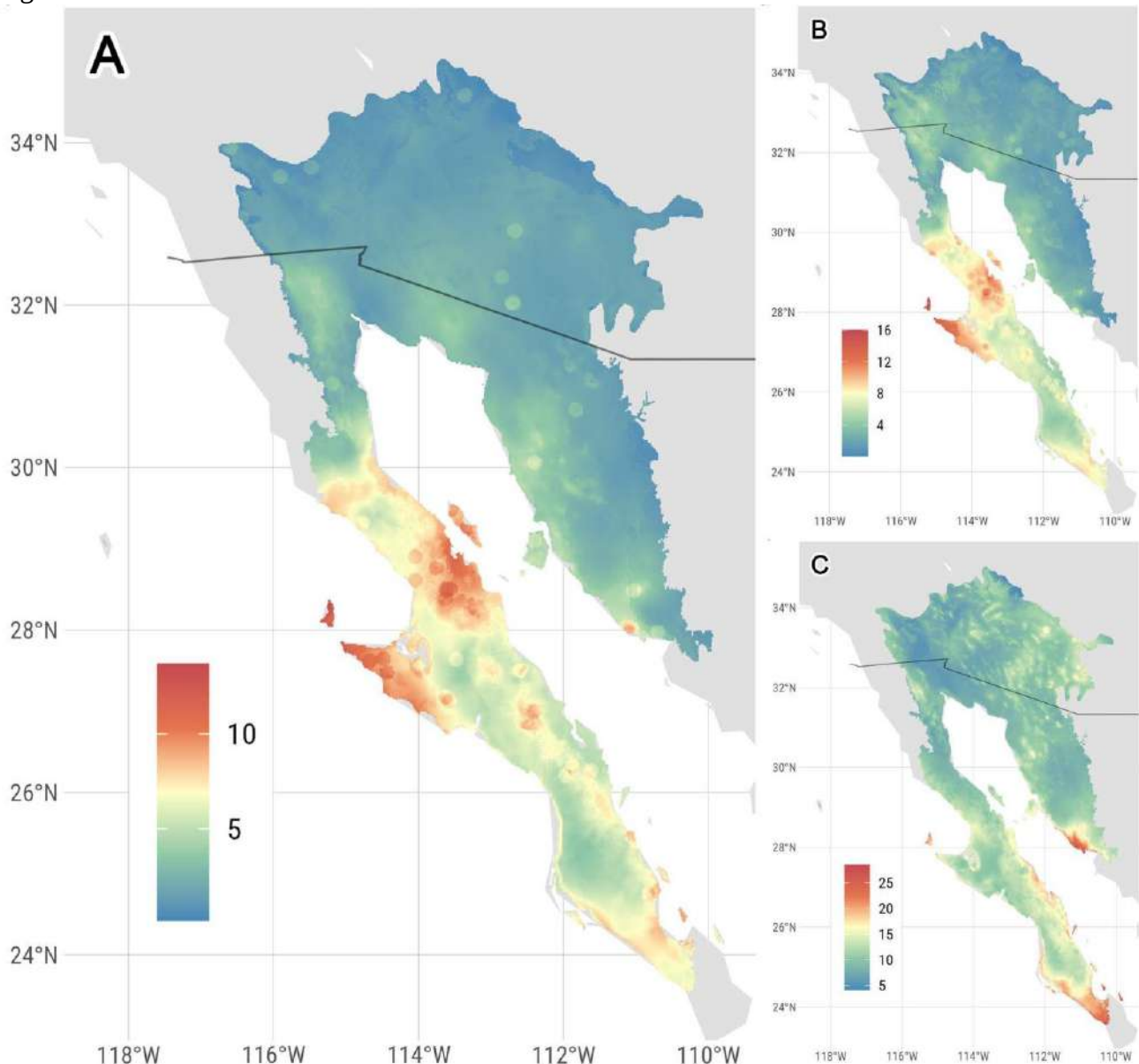


Figura 2. Priorización geográfica para futuras colectas de semillas en el Desierto Sonorense. (A) Los 100 taxones con mayor puntuación de prioridad. (B) Taxones potencialmente endémicos (N=126). (C) Taxones amenazados (N=112). La escala de colores indica la densidad de taxones cuyos modelos calcularon que esa región geográfica cumplía con las condiciones ambientales necesarias para su presencia.

Referencias bibliográficas

- Chávez-Hernández, M. G., Gómez-Barreiro, P., White, J. D. M., Way, M. (2024). Sonoran Desert *ex situ* conservation gap analysis: charting the path towards conservation. *bioRxiv*, 2024-11.
- Chávez-Hernández, M. G., Rodríguez-Arévalo, I., Dávila-Aranda, P., García-Rojas, J. L., Ponce-Vargas, A. (2025). Conservación de la flora semidesértica queretana-hidalguense en el Banco de Semillas FESI-UNAM. *Nthe*, edición especial, agosto 2025: pp. 45 - 48, ISSN: 2007-9079.
- Dallimer, M. & Strange, N. (2015). Why socio-political borders and boundaries matter in conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 30:132–139.
- IUCN (2023). The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/en> (accessed 14 July 2023).
- Li, D. Z. & Pritchard, H. W. (2009). The science and economics of *ex-situ* plant conservation. *Trends in plant science*, 14(11):614-621.
- Martyn-Yenson, A., Offord, C.A., Meagher, P.F., Auld, T.D., Bush, D., Coates, D.J., Commander, L.E., Guja, L.K., Norton, S., Makinson, R.O., Stanley, R., Walsh, N., Wrigley, D., Broadhurst, L. (2021). Plant Germplasm Conservation in Australia: strategies and guidelines for developing, managing and utilising *ex situ* collections. Third edition. Australian Network for Plant Conservation, Canberra.
- McLaughlin, S.P. & Bowers, J.E. (1999). Diversity and Affinities of the Flora of the Sonoran Floristic Province, in: Robichaux, R. H. (Ed.) *Ecology of Sonoran Desert Plants and Plant Communities*. University of Arizona Press, pp. 12–25.
- Rebman, J., Roberts, C. (2012). *Baja California Plant Field Guide*. San Diego, CA. Third Edition. San Diego Natural History Museum. ISBN: 978-0-916251-18-5.

Patrón espacial de riqueza de especies del género *Mammillaria* en Querétaro, México

Verónica Delgado-Ramírez^{1*}, Ubaldo Márquez-Luna^{2**} y María C. Mandujano^{1***}

¹ Departamento de Ecología de la Biodiversidad, Laboratorio de Genética y Ecología. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Circuito Exterior s/n, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

² Facultad de Estudios Superiores-Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Tlalnepantla de Baz, 54090, Estado de México, México.

* v.delgado.ram@gmail.com, **marquezubaldo@iztacala.unam.mx, ***mcmandujano@ieciologia.unam.mx

Resumen

El género *Mammillaria* es el más diverso de Cactaceae y altamente representativo de México ya que el 82% de sus especies son endémicas. En Querétaro se han registrado 27 especies de *Mammillaria*, de las cuales 22 son endémicas de México y cuatro microendémicas del estado. Para identificar regiones de alta riqueza de especies en Querétaro, se utilizaron mapas de distribución potencial. De las 27 especies presentes, sólo existen modelos de distribución para 17. La ausencia de mapas para las especies microendémicas podría deberse a la escasez de registros geográficos, lo que dificulta la generación de modelos confiables. Las áreas naturales protegidas del estado albergan poblaciones de las 17 especies de *Mammillaria* modeladas. No obstante, la región central de Querétaro, que presenta una alta riqueza de *Mammillaria*, no está protegida. El análisis de los patrones de riqueza permitió identificar áreas potenciales con alta diversidad de *Mammillaria*. Establecer estos patrones espaciales puede guiar el diseño de proyectos de investigación enfocados no solo en localizar zonas con alta riqueza de especies, sino en llenar vacíos de información sobre la distribución de las especies de *Mammillaria*, especialmente aquellas de distribución limitada, y apoyar la creación de nuevas áreas naturales protegidas.

Palabras clave: patrón de riqueza, *Mammillaria*, Cactaceae, conservación

Abstract

The genus *Mammillaria* is the most diverse within the Cactaceae family and is highly representative of Mexico, with 82% of its species being endemic. In the state of Querétaro, 27 *Mammillaria* species have been recorded, 22 of them endemic to Mexico and four considered microendemic to the state. To identify regions in Querétaro with high species richness, we used potential distribution maps. However, of the 27 species present, distribution models exist for only 17. The lack of maps for the microendemic species may be due to limited geographic records, making it difficult to generate reliable models. Protected natural areas in the state currently host populations of the 17 *Mammillaria* species modeled. Nevertheless, the central region of Querétaro, which exhibits high *Mammillaria* richness, remains unprotected. Analyzing species richness patterns allowed us to identify potential areas of high *Mammillaria* diversity. Establishing such spatial patterns can guide the design of research projects aimed not only at locating areas of high species richness, but also at filling information gaps regarding the distribution of *Mammillaria* species, particularly those that are microendemic or poorly documented. These spatial patterns can support the creation of new protected natural areas, as well.

Key words: richness patterns, *Mammillaria*, Cactaceae, conservation

Importancia para la conservación

Conocer los patrones de riqueza espacial de especies permite identificar las áreas prioritarias para la conservación que nos ayuden a preservar tanto a la biodiversidad como al sitio donde habita.

Introducción

Cactaceae es una familia endémica del continente americano y posee una alta tasa de diversificación, con alrededor de 2000 especies (Anderson, 2001). En México se encuentran ca. 596 especies de cactáceas siendo el país con mayor diversidad de especies, de las cuales el 75% son endémicas (Godínez-Álvarez & Ortega-Baes, 2007). En el país, la mayor diversidad de cactáceas se encuentra en las zonas áridas y semiáridas y alrededor del 80% de las especies se encuentra en los estados del centro y norte (Godínez-Álvarez & Ortega-Baes, 2007).

El estado de Querétaro alberga alrededor de 100 especies de cactáceas con 85% de endemismo (Godínez-Álvarez & Ortega-Baes, 2007; Bárcenas & Vargas-Luna, 2025). Poco más de la mitad de la diversidad de cactáceas del estado recae en especies de los géneros *Mammillaria*, *Opuntia* y *Coryphantha* (Bárcenas y Vargas-Luna, 2025). Desafortunadamente, estudios han encontrado que Querétaro es uno de los hotspots de cactáceas en peligro de extinción. Las principales amenazas a las que se enfrentan este grupo de plantas son la extracción ilegal de individuos y semillas, el cambio de uso de suelo y la fragmentación del hábitat (Goettsch *et al.*, 2015).

Existen alrededor de 143 especies del género *Mammillaria* en México, de las cuales el 88% son endémicas del país. Hasta el momento alrededor del 40% de las especies se encuentran en la lista roja de la IUCN como vulnerables o casi amenazadas (Bárcenas & Vargas-Luna, 2025).

Los modelos de distribución geográfica potencial se basan en el registro de presencia de la especie y en variables ambientales que permiten identificar las áreas que cuentan con las condiciones

ambientales que requiere la especie para su presencia (Peterson, 2001).

Conocer los patrones de riqueza de las especies es útil para la identificación de áreas de mayor riqueza de especies, facilitar el diseño de proyectos de investigación para realizar muestreos dirigidos a dichas áreas, identificar vacíos de información y son útiles para definir estrategias de conservación como el establecimiento de nuevas áreas naturales protegidas.

El objetivo del trabajo fue conocer las regiones de Querétaro en donde hay una mayor riqueza de especies del género *Mammillaria* así como evaluar la importancia de las áreas naturales protegidas federales en el resguardo de las poblaciones naturales de las especies de este género.

Método

Se realizó una búsqueda para determinar el listado de las especies del género *Mammillaria* que se distribuyen dentro del estado de Querétaro. Se encontró reporte de 27 especies para las cuales se realizó una búsqueda y descarga (archivos shape) de los mapas de distribución potencial ya publicados en el sitio web Enciclovida, que es administrado por la CONABIO (<https://enciclovida.mx/>).

Estas capas de información se proyectaron sobre el mapa de México y se recortaron para incluir la parte del mapa que se encontraba dentro de los límites del estado de Querétaro. A cada uno de los polígonos se les asignó el valor de “1” y se apilaron para formar un mosaico que sumara los valores de cada capa. El mapa resultante indicó las zonas del estado con mayor número de especies del género *Mammillaria*. Por último, se proyectaron las capas de las Áreas Naturales Protegidas federales de México que se encuentran en Querétaro.

Resultados

Se obtuvieron 17 de 27 mapas de distribución potencial. Todas las especies son endémicas de México y 76.4% están en categoría de preocupación menor en la Lista Roja de la IUCN. De las especies que no tienen un mapa de distribución potencial, cinco son endémicas de México (*M. morganiana*, *M. petterssonii*, *M. sartorii*, *M. schiedeana* y *M. vetula*) y una se distribuye en México, Estados Unidos y

Cuba (*M. prolifera*). Por otra parte, cuatro especies que no tienen mapa de distribución potencial son microendémicas de Querétaro (*M. herrerae*, *M. mathildae*, *M. microhelix* y *M. scheinvariana*) y están en la categoría de en peligro o en peligro crítico en la Lista Roja de la IUCN y en peligro o sujetas a protección especial de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Tabla 1).

Tabla 1. Especies del género *Mammillaria* que se distribuyen en el estado de Querétaro y su estado de conservación en la lista roja de IUCN y en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (modificación 2019). Categorías Lista roja IUCN: CR: En peligro crítico; EN: En peligro; VU: Vulnerable; NT: Casi amenazado; LC: Preocupación menor; DD: Datos insuficientes; NE: No evaluado; Categorías NOM-059-SEMARNAT-2010: P: En peligro de extinción; A: Amenazadas; Pr: Sujetas a protección especial. (Mapas de distribución potencial de Vázquez-Benítez *et al.* 2017).

	Nombre científico	Nombre común	Lista Roja IUCN	NOM-059	Endemismo	Mapa distribución potencial
1	<i>Mammillaria compressa</i> DC.	Biznaga comprimida	LC	-	endémica	Sí
2	<i>Mammillaria crinita</i> DC.	Biznaga de espinas pubescentes	LC	Pr	endémica	Sí
3	<i>Mammillaria decipiens</i> Scheidw.	Biznaga engañosa	LC	Pr	endémica	Sí
4	<i>Mammillaria densispina</i> (J.M. Coult.) Orcutt	Biznaga de espinas densas	LC	-	endémica	Sí
5	<i>Mammillaria elongata</i> DC.	Biznaga elongada	LC	-	endémica	Sí
6	<i>Mammillaria geminispina</i> Haw.	Biznaga metzolle	LC	-	endémica	Sí
7	<i>Mammillaria hahniana</i> Werderm.	Biznaga vieja de la Sierra de Jalpan	NT	A	endémica	Sí
8	<i>Mammillaria herrerae</i> Werderm.	Biznaga bola de hilo	CR	P	microendémica	No
9	<i>Mammillaria longimamma</i> DC.	Biznaga de dedos largos	VU	A	endémica	Sí
10	<i>Mammillaria magnimamma</i> Haw.	Biznaga de espina solitaria	LC	-	endémica	Sí
11	<i>Mammillaria mathildae</i> Kraehenb. & Krainz.	Biznaga de la cañada	EN	P	microendémica	No
12	<i>Mammillaria microhelix</i> Werderm.	Biznaga del sol pequeño	EN	Pr	microendémica	No
13	<i>Mammillaria morganiana</i> Tiegel	Biznaga ojos de búho	DD	-	endémica	No
14	<i>Mammillaria muehlenpfordtii</i> C.F. Först.	Biznaga de Muehlenpfordt	LC	-	endémica	Sí
15	<i>Mammillaria parkinsonii</i> Ehrenb.	Biznaga de areola dorada	EN	Pr	endémica	Sí
16	<i>Mammillaria perbella</i> Hild. ex K. Schum.	Biznaga del infiernillo	VU	-	endémica	Sí
17	<i>Mammillaria petterssonii</i> Hildm.	Biznaga de apozol	LC	-	endémica	No
18	<i>Mammillaria polythele</i> Mart.	Biznaga con muchos tuberculos	LC	-	endémica	Sí
19	<i>Mammillaria prolifera</i> (Mill.) Haw.	Biznaga prolifera	LC	-	no endémica	No
20	<i>Mammillaria rhodantha</i> Link & Otto	Biznaga de flores rosadas	LC	Pr	endémica	Sí
21	<i>Mammillaria sartorii</i> J.A. Purpus	Biznaga de sartor	LC	-	endémica	No
22	<i>Mammillaria scheinvariana</i> R. Ortega V. & Glass	Biznaga de Scheinvar	NE	-	microendémica	No
23	<i>Mammillaria schiedeana</i> Ehrenb.	Biznaga de Metztlán	VU	A	endémica	No
24	<i>Mammillaria sempervivi</i> DC.	Biznaga siempreviva	LC	-	endémica	Sí
25	<i>Mammillaria uncinata</i> Zucc. ex Pfeiff.	Biznaga ganchuda	LC	-	endémica	Sí
26	<i>Mammillaria vetula</i> Mart.	Biznaga algo vieja	LC	-	endémica	No
27	<i>Mammillaria zephyranthoides</i> Scheidw.	Biznaga de flor occidental	LC	A	endémica	Sí

El mapa resultante indicó que la región central de Querétaro cuenta con una alta riqueza de especies del género *Mammillaria*, principalmente en los municipios de Peñamiller, Tolimán, Colón y Cadereyta de Montes, de los cuales, sólo Peñamiller se encuentra dentro de un área natural protegida

(Figura 1). Las 17 especies del género *Mammillaria* evaluadas se encuentran resguardadas bajo la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda y 10 de ellas en el Área de Protección de Recursos Naturales Peña Colorada (Tabla 2).

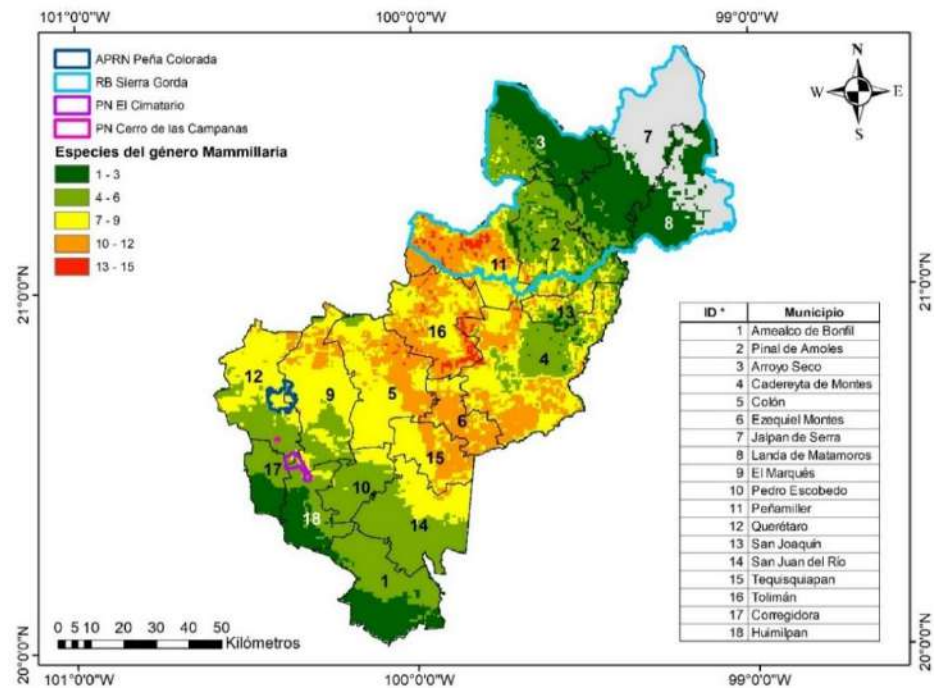


Figura 1. Patrón espacial de riqueza de especies del género *Mammillaria* y cobertura de las Áreas Naturales Protegidas en Querétaro.

Tabla 2. Especies de *Mammillaria* protegidas por Áreas Naturales Protegidas en el estado de Querétaro.
RB: Reserva de la Biósfera, APRN: Área de Protección de Recursos Naturales; PN: Parque Nacional.

Especie	RB Sierra Gorda	APRN Peña Colorada	PN El Cimantario	PN Cerro de las Campanas
<i>Mammillaria compressa</i>	X	X		
<i>Mammillaria crinita</i>	X	X	X	X
<i>Mammillaria decipiens</i>	X			
<i>Mammillaria densispina</i>	X	X	X	
<i>Mammillaria elongata</i>	X			
<i>Mammillaria geminispina</i>	X			
<i>Mammillaria hahniana</i>	X			
<i>Mammillaria longimamma</i>	X			
<i>Mammillaria magnimamma</i>	X	X	X	X
<i>Mammillaria muehlenpfordtii</i>	X			
<i>Mammillaria parkinsonii</i>	X			
<i>Mammillaria perbella</i>	X	X		
<i>Mammillaria polythele</i>	X	X	X	X
<i>Mammillaria rhodantha</i>	X	X	X	
<i>Mammillaria sempervivi</i>	X	X	X	X
<i>Mammillaria uncinata</i>	X	X	X	X
<i>Mammillaria zephyranthoides</i>	X	X		

Discusión

Los resultados de esta investigación permitieron identificar que el área con mayor riqueza de especies del género *Mammillaria* se ubica en el centro del estado de Querétaro, principalmente en los municipios de Peñamiller, Tolimán, Colón y Cadereyta de Montes. Varias de estas áreas con una alta riqueza de especies se encuentran fuera de los límites de las áreas naturales protegidas del estado. Esto implica que dichas poblaciones podrían ser más susceptibles a perturbaciones o saqueos. Aunque las 17 especies analizadas están protegidas por la RB Sierra Gorda, otras poblaciones de esas especies son fundamentales para la dinámica ecológica y la diversidad genética de las especies.

Cabe resaltar que no existen estudios que evalúen la distribución potencial de las 10 especies restantes que también se distribuyen en el estado. Algunas de estas son microendémicas de Querétaro, por ejemplo, se tiene registro de *M. mathildae* en el municipio de Corregidora, de *M. microhelia* en Colón, de *M. herrerae* y *M. scheinvariana* en Cadereyta de Montes (Scheinvar, 2004), distribuyéndose en sitios que no están resguardados por áreas naturales protegidas. Es importante implementar medidas para su conservación.

Los modelos de distribución geográfica potencial se basan en los registros históricos y actuales de presencia de las especies. En conjunto, estos registros de presencia se asocian a variables ambientales que permiten modelar las condiciones que requiere la especie para estar presente (Peterson, 2001). Una de las limitantes para el desarrollo de modelos de distribución potencial es el número de registros, ya que un número bajo de registros podría generar modelos con mayor grado de incertidumbre. Debido a lo anterior, es fundamental recabar información histórica de los registros de presencia de estas especies, así como realizar muestreos que confirmen la presencia de sus poblaciones conocidas (Scheinvar, 2004). El uso de estas capas de información permitió detectar áreas en el centro de Querétaro que potencialmente podrían resguardar una alta riqueza de especies del género *Mammillaria*

que actualmente no se encuentran bajo el resguardo de ningún área natural protegida. Futuras investigaciones podrían validar estos hallazgos a través de la búsqueda de estas especies directamente en los sitios de distribución potencial detectados. También es fundamental que se obtengan datos de la presencia de las especies para las cuales no se cuenta con mapas de distribución potencial, ya que algunas de ellas son microendémicas del estado y cuentan con tamaños poblacionales pequeños, lo que limita la cantidad de registros de las especies y, con ello, la robustez de los modelos de distribución potencial.

Además de los muestreos en campo, como parte del proyecto de investigación se puede fomentar el registro de la presencia de las especies a través del uso de plataformas de ciencia ciudadana como Naturalista (<http://mexico.inaturalist.org>) ya que esta plataforma permite a los usuarios oscurecer las coordenadas de las especies que estén bajo alguna categoría de riesgo, por lo cual esta información no estaría visible para el público en general, pero sí con fines de investigación. La obtención de registros de presencia de estas especies, así como el uso de estas herramientas nos permitiría evaluar su estado poblacional y generar estrategias para su conservación.

Conclusiones

El patrón espacial de riqueza de especies permitió determinar que muchas de las especies de *Mammillaria* que se distribuyen en Querétaro están protegidas por la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda. Sin embargo, existen cuatro especies microendémicas que no están en ninguna área natural protegida y no tienen mapas de distribución potencial. Es importante llenar esos vacíos de información y promover la creación de áreas naturales protegidas que las resguarden.

Plática disponible en Youtube:
<https://youtu.be/6o6SmvICAYQ?t=998>

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto de doctorado de la primera autora. El financiamiento a cargo de presupuesto institucional y Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324> y SECITHI CONAHCYT-CBF 2023-2024-1303 a María C. Mandujano. Al apoyo técnico de Mariana Rojas y Rosa Mancilla.

Referencias bibliográficas

- Anderson, E. (2001). The Cactus family. Timber Press. EUA, Oregon. 776 pp.
- Bárcenas, R. T. & Vargas-Luna, M. D. (2025). Estado de conservación de las cactáceas. En La biodiversidad en Querétaro. Estudio de Estado. Vol. 2 (pp. 175–181). CONABIO / FFB.
- Godínez-Álvarez, H. & Ortega-Baes, P. (2007). Mexican cactus diversity: Environmental correlates and conservation priorities. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 81, 81–87. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57708105>
- Goettsch, B., Hilton-Taylor, C., Cruz-Piñón, G., Duffy, J. P., Frances, A., Hernández, H. M., Inger, R., Pollock, C., Schipper, J., Superina, M., Taylor, N. P., Tognelli, M., Abba, A. M., Arias, S., Arreola-Nava, H. J., Baker, M. A., Bárcenas, R. T., Barrios, D., Braun, P., ... Gaston, K. J. (2015). High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants*, 1(10), 1–7. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.142>
- Peterson, A. T. (2001). Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor*, 103(3), 599–605. [https://doi.org/10.1650/0010-5422\(2001\)103\[0599:PSGDBO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1650/0010-5422(2001)103[0599:PSGDBO]2.0.CO;2)
- Scheinvar, L. (2004). *Flora cactológica del estado de Querétaro. Diversidad y riqueza*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 392 p.
- Una comunidad para Naturalistas iNaturalist Mexico. (n.d.). Recuperado el 12 de noviembre del 2025, de <https://mexico.inaturalist.org/>
- Vázquez Benítez, B., Guzmán, U., Espinosa, D., Arias, G. y I. Guzmán. 2017. Distribución geográfica de algunas especies de los géneros *Coryphantha* (Engelm.) Lem. y *Mammillaria* Haw. (Cactaceae). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. JM068. Ciudad de México.

Expansión agropecuaria en dos ecorregiones áridas del norte de México

Maricruz González-Alvarado^{1*}, Martha Bonilla-Moheno¹, Alma V. Mendoza-Ponce¹,
Quetzalcóatl Orozco-Ramírez³ y Lucrecia Arellano-Gámez²

¹ Instituto de Ecología, A.C. Ambiente y Sustentabilidad. Xalapa, Veracruz, México.

² Instituto de Ecología, A.C. Biodiversidad y Sistemática. Xalapa, Veracruz, México.

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. Ciudad de México, México.

[*maricruz99ga@gmail.com](mailto:maricruz99ga@gmail.com)

Resumen

Los cambios de uso y cobertura del suelo (LUCC) son un componente importante del cambio ambiental global, el cual afecta la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. La expansión agrícola—vinculada con los sistemas alimentarios—es el principal impulsor de dichos cambios. Este estudio evaluó la dinámica del uso del suelo en dos ecorregiones: Desierto Chihuahuense y Matorral de la Meseta Central. Esta zona árida es clave para los sistemas alimentarios del país por su elevada producción de leche y carne. Para desarrollar la investigación, se evaluaron las tendencias de producción agropecuaria utilizando bases de datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Además, se clasificaron las principales coberturas del suelo durante tres períodos (2003, 2013, 2023) utilizando imágenes satelitales Landsat. Los resultados muestran una expansión significativa de los cultivos forrajeros a expensas de la cobertura natural (matorral); y de los cultivos de consumo humano, los cuales mostraron tendencias de disminución en superficie y volumen de producción. Esta expansión forrajera podría agravar la explotación de los recursos hídricos y aumentar la vulnerabilidad de los sistemas alimentarios de la región, al cambio climático.

Palabras clave: cambio de uso y cobertura del suelo, sistemas alimentarios, zonas áridas

Abstract

Land use and land cover change (LUCC) is a key component of global environmental change, affecting both biodiversity and ecosystem services. Agricultural expansion—closely linked to food systems—is the main driver of these changes. This study assessed land use dynamics in two ecoregions: The Chihuahuan Desert and the Central Plateau Shrubland. These arid regions play a crucial role in the country's food systems due to their high production of milk and meat. To carry out this research, trends in agricultural and livestock production were analyzed using data from the Agri-Food and Fisheries Information System (SIAP). Additionally, the main land cover types were classified for three periods (2003, 2013, 2023) using Landsat satellite imagery. The results reveal a significant expansion of forage crops at the expense of natural vegetation (shrubland) and human food crops, which showed a decreasing trend in both areas and production volume. This forage crop expansion could intensify overexploitation of water resources and increase the vulnerability of the region's food systems to climate change.

Keywords: land use and land cover change, food systems, arid lands

Importancia para la conservación

Identificamos una pérdida significativa de cobertura natural (matorral), debido a la expansión de cultivos forrajeros. Los matorrales, aunque frecuentemente subvalorados, son los ecosistemas nativos más extensos de México y albergan una gran diversidad de especies, muchas de ellas endémicas. Su transformación implica una amenaza directa para la biodiversidad vegetal local, al reducir hábitats esenciales y comprometer la integridad de los ecosistemas nativos.

Introducción

El cambio de uso y cobertura del suelo (CUCS) es un proceso derivado de la interacción entre las actividades humanas y el entorno natural (Wang *et al.*, 2021). Entre los principales cambios de uso del suelo, destaca la expansión agrícola (Lubowski *et al.*, 2006), la cual responde a las crecientes demandas de recursos para satisfacer necesidades humanas (Fargione *et al.*, 2008). Esta expansión está estrechamente vinculada con los sistemas alimentarios, los cuales son considerados sistemas socioecológicos (Eakin *et al.*, 2018) que abarcan las actividades vinculadas a la producción, distribución y consumo de alimentos (Allen & Prosperi, 2016). La expansión agrícola destinada a la producción de alimentos ha contribuido significativamente a la pérdida de biodiversidad (Lanz *et al.*, 2018). Lo anterior resalta la necesidad de comprender la dinámica de cambio de uso y cobertura del suelo en distintos periodos y escalas, con el fin de conseguir una gestión sostenible de la superficie agrícola (Verburg *et al.*, 2015) y los sistemas alimentarios. Este estudio documenta el impacto de los sistemas alimentarios en la dinámica de uso y coberturas del suelo en las ecorregiones Desierto Chihuahuense y Matorral de la Meseta Central, al norte de México.

Métodos

Para identificar tendencias de cambio en la dinámica de producción agrícola y pecuaria de los 49 municipios que componen la zona de estudio, se recabaron datos de producción agropecuaria de 2003 a 2022. Dichos datos se obtuvieron del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Además, se realizó un muestreo en campo para

georreferenciar las coberturas del suelo más representativas. Posteriormente, en el software Google Earth Engine se clasificaron las principales coberturas del suelo durante tres periodos (2003, 2013, 2023). Para ello, se utilizaron imágenes satelitales Landsat y se empleó el algoritmo clasificador Random Forest. En el mismo software se obtuvo la validación de coberturas, y el índice de Kappa.

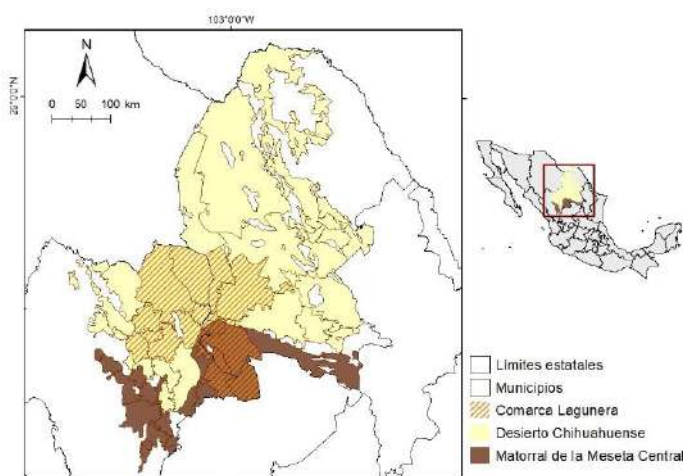


Figura 1. Mapa de la zona de estudio.

Resultados

Producción agrícola y pecuaria. En los últimos 20 años se han sembrado cerca de 80 diferentes cultivos en la zona de estudio. Sin embargo, el 80% del paisaje agrícola está dominado por 10 cultivos, agrupados en 4 categorías: forrajeros, consumo humano, industrial y comercial.

En el Desierto Chihuahuense (DCH) los cultivos forrajeros mostraron tendencias de aumento significativas en superficie cultivada y en volumen

de producción. En contraste, los cultivos destinados al consumo humano mostraron tendencias de disminución significativa a lo largo del periodo analizado tanto en área sembrada como en volumen de producción (Figura 2). Esta misma tendencia se observó en el Matorral de la Meseta Central (MMC) (Figura 3).

El Matorral de la Meseta Central presentó las tasas de producción más bajas en las tres categorías (cabezas de ganado bovino y aves y producción de

leche) durante los tres periodos de estudio. Mostró tendencia de aumento significativa en la producción de leche y disminución significativa en el número de cabezas de ganado bovino y de ave. La producción pecuaria del Desierto Chihuahuense fue alta. Mostró tendencias de aumento en las tres categorías, siendo significativas solamente en la producción de leche y ave (Figura 4).

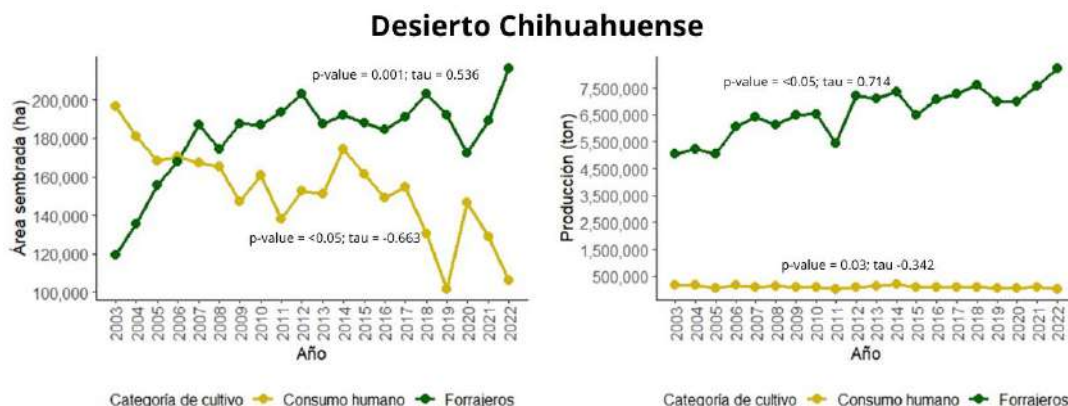


Figura 2. Tendencias de cambio en área sembrada y volumen de producción de cultivos en el DCH.

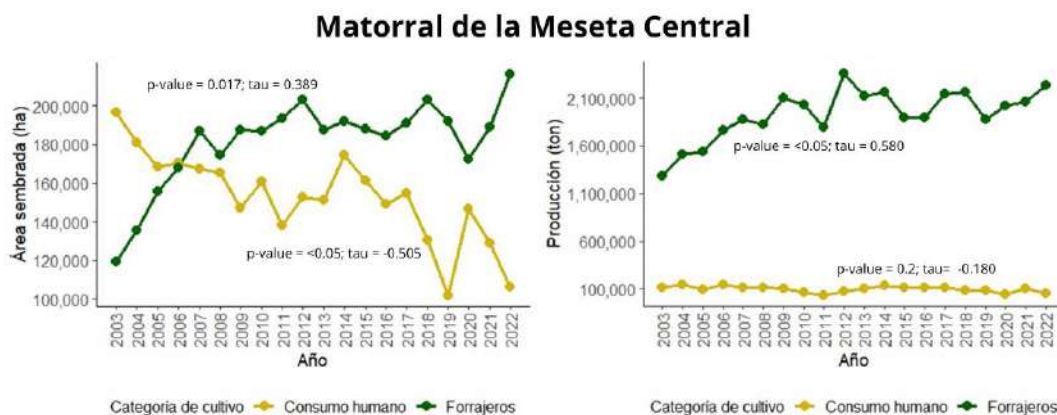


Figura 3. Tendencias de cambio en área sembrada y volumen de producción de cultivos en el MMC.

Tendencias históricas de los cambios de uso y cobertura del suelo. Durante los tres periodos de estudio (2003, 2013, 2023) la cobertura dominante fue el matorral, ocupó más del 90% de la superficie total estudiada. La segunda cobertura más extendida correspondió a los cultivos forrajeros, los cuales mostraron una disminución

de $\sim 220 \text{ km}^2$ durante el primer periodo (2003 a 2013). Sin embargo, en el segundo periodo (2013 a 2023) se identificó una expansión de esta cobertura de $\sim 1300 \text{ km}^2$. Por su parte, la superficie ocupada por establos ganaderos y naves avícolas se redujo en $\sim 140 \text{ km}^2$ durante el primer periodo, mientras que en el segundo

periodo mostró un aumento de $\sim 180 \text{ km}^2$. La cobertura de plantaciones de nogal mostró una disminución de $\sim 230 \text{ km}^2$ entre 2003 y 2013; entre 2013 y 2023 mostró una muy baja

recuperación ($\sim 10 \text{ km}^2$). El matorral fue la única cobertura que aumentó en el primer periodo, $\sim 490 \text{ km}^2$. Sin embargo, durante el segundo periodo, su superficie disminuyó 1700 km^2 (Figura 5).

Producción pecuaria

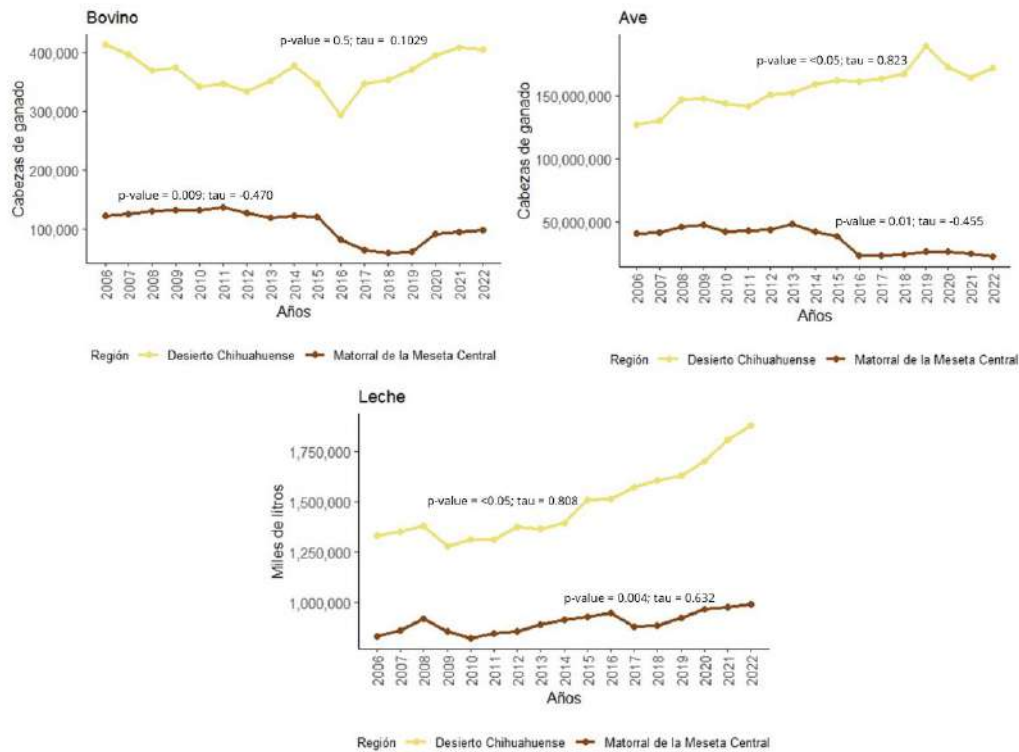


Figura 4. Tasas de producción pecuaria y tendencias de cambio.

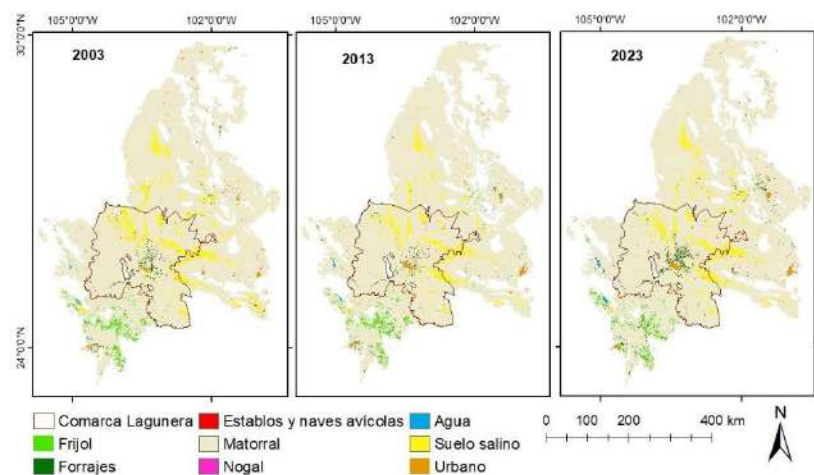


Figura 5. Mapas de uso y cobertura del suelo para los años 2003, 2013 y 2023.

Discusión

En México, como en el mundo, la expansión pecuaria responde al aumento en el consumo de productos de origen animal (Myers & Kent, 2003), lo que ha impulsado la expansión de la producción pecuaria y en consiguiente, la necesidad de mayores superficies forrajeras. Esto se ha documentado ampliamente en América Latina (Graesser *et al.*, 2015). Especialmente en Brasil, Argentina y Paraguay donde la expansión del cultivo de soya para alimentar al ganado impulsa la deforestación de los bosques del chaco (Martínez-Valderrama *et al.*, 2021). En el norte de México se identificó la expansión de tierras de cultivo impulsada por la creciente demanda de forrajes (Bonilla-Moheno & Aide, 2020). A nivel regional (Jalisco), se reportó tanto el incremento de la producción forrajera en respuesta a las demandas del sector ganadero, como el desplazamiento de cultivos de consumo humano, como frijol y maíz grano a causa de la expansión de cultivos forrajeros para alimentar al ganado (Kolb *et al.*, 2018).

Cambios y distribución espacial de las coberturas del suelo. Investigaciones realizadas a escala nacional han señalado que la principal causa de los cambios más relevantes en el uso y la cobertura del suelo en México es la expansión de las actividades agrícolas (Manley *et al.*, 2022), lo que ha repercutido en la pérdida principalmente de bosques, selvas y matorrales (Mendoza-Ponce *et al.*, 2018). A diferencia de lo que ocurre en otros ecosistemas, los matorrales han sido poco estudiados por lo que se sabe poco al respecto de sus tasas de cambio, lo que dificulta evaluar si la pérdida de esta cobertura es alta o baja. Un ejemplo de ello son los resultados obtenidos a escala nacional en Ecuador (Vilema-Ramos *et al.*, 2023) reportan que el matorral seco montano disminuyó a una tasa de cambio anual del -0.75% entre 1990 y 2020. En México, Rosete-Vergés *et al.* (2014), estimaron una tasa de pérdida anual de -0.36% de 1976 a 2007. Cifras comparables a la tasa de cambio (-0.16% año⁻¹) reportada en el presente estudio de 2013-2023.

Conclusión

Las tendencias de aumento en el área y la producción de cultivos forrajeros se han sustentado tanto con el desplazamiento de cultivos de consumo humano, como en el acceso a sistemas de irrigación, maquinaria agrícola, semillas certificadas y agroquímicos, lo que garantiza una elevada producción forrajera en las ecorregiones. Esta expansión agropecuaria a expensas de cultivos de consumo humano podría poner en riesgo la seguridad alimentaria de la región.

Con base en datos satelitales se identificó una pérdida de cobertura natural (matorral) durante el periodo 2013 a 2023 a causa de la expansión forrajera. Lo que podría tener severas repercusiones en la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de las ecorregiones.

Agradecimientos

A SECITHI por la beca de maestría para realizar este proyecto de investigación.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=6o6SmvICAYQ&t=1939s>

Referencias bibliográficas

- Allen, T., & Prosperi, P. (2016). Modeling Sustainable Food Systems. *Environmental Management*, 57(5), 956-975. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0664-8>.
- Bonilla-Moheno, M. & Aide, T. M. (2020). Beyond deforestation: Land cover transitions in Mexico. *Agricultural Systems*, 178, 102734. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102734>
- Eakin, H., Sweeney, S., Lerner, A. M., Appendini, K., Perales, H., Steigerwald, D. G., Dewes, C. F., Davenport, F., Bausch, J. C. (2018). Agricultural change and resilience: Agricultural policy, climate trends and market integration in the Mexican maize system. *Anthropocene*, 23: 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.08.002>
- Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S., Hawthorne, P. (2008). Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. *Science*, 319(5867): 1235-1238. <https://doi.org/10.1126/science.1152747>
- Graesser, J., Aide, T. M., Grau, H. R., Ramankutty, N. (2015). Cropland/pastureland dynamics and the slowdown of deforestation in Latin America. *Environmental Research Letters*, 10(3): 034017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/3/034017>

- Kolb, M., Gerritsen, P. R. W., Garduño, G., Lazos Chavero, E., Quijas, S., Balvanera, P., Álvarez, N., & Solís, J. (2018). Land Use and Cover Change Modeling as an Integration Framework: A Mixed Methods Approach for the Southern Coast of Jalisco (Western Mexico). In M. T. Camacho Olmedo, M. Paegelow, J.-F. Mas, & F. Escobar (Eds.), *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios* (pp. 241-268). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3_12
- Lanz, B., Dietz, S., Swanson, T. (2018). The Expansion of Modern Agriculture and Global Biodiversity Decline: An Integrated Assessment. *Ecological Economics*, 144, 260-277. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.018>.
- Lubowski, R. N., Bucholtz, S., Claassen, R., Roberts, M. J., Cooper, J. C., Gueorgieva, A., & Johansson, R. C. (2006). Environmental effects of agricultural land-use change: the role of economics and policy (Economic Research Report 25). <https://doi.org/10.22004/ag.econ.33591>
- Manley, E., Ogneva-Himmelberger, Y., Ruelle, M., Hanumantha, R., Mazari-Hiriart, M., & Downs, T. J. (2022). Land-cover change and urban growth in the Mexico-Lerma-Cutzamala Hydrological Region, 1993–2018. *Applied Geography*, 147, 102785. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102785>
- Martínez-Valderrama, J., Sanjuán, M. E., del Barrio, G., Guirado, E., Ruiz, A., & Maestre, F. T. (2021). Mediterranean Landscape Re-Greening at the Expense of South American Agricultural Expansion. *Land*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/land10020204>
- Mendoza-Ponce, A., Corona-Núñez, R., Kraxner, F., Leduc, S., & Patrizio, P. (2018). Identifying effects of land use cover changes and climate change on terrestrial ecosystems and carbon stocks in Mexico. *Global Environmental Change*, 53, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.004>
- Myers, N., & Kent, J. (2003). New consumers: The influence of affluence on the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(8), 4963-4968. <https://doi.org/10.1073/pnas.0438061100>
- Rosete-Vergés, F., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20(1), 21-35. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201173>
- Verburg, P. H., Crossman, N., Ellis, E. C., Heinemann, A., Hostert, P., Mertz, O., Nagendra, H., Sikor, T., Erb, K.-H., Golubiewski, N., Grau, R., Grove, M., Konaté, S., Meyfroidt, P., Parker, D. C., Chowdhury, R. R., Shibata, H., Thomson, A., Zhen, L. (2015). Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*, 12, 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.004>
- Vilema-Ramos, B., León-Espinoza, M., Layana-Bajaña, E., & Rosales-Enríquez, O. (2023). Cambios en la cobertura del matorral seco montano del valle Chota (Imbabura y Carchi, Ecuador) entre 1990 y 2020. *Revista Peruana de Biología*, 30(4), e24672. <https://doi.org/10.15381/rpb.v30i4.24672>
- Wang, Q., Guan, Q., Lin, J., Luo, H., Tan, Z., Ma, Y. (2021). Simulating land use/land cover change in an arid region with the coupling models. *Ecological Indicators*, 122, 107231. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107231>

Efecto vasodilatador y perfil químico del extracto etanólico de *Physalis cinerascens*

Mónica Citlali García-García ¹, Francisco Javier Luna-Vázquez ², Alejandra Rojas-Molina ², Brenda Itzel Xolalpa-Vargas ¹, Beatriz Maruri-Aguilar ³, Yazmin Hailen Ugalde de la Cruz ³ y César Ibarra-Alvarado ^{2,*}

¹ Posgrado en Ciencias Químico Biológicas, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario, Cerro de Las Campanas S/N, Querétaro, Qro. 76010, México

² Laboratorio de Investigación Química y Farmacológica de Productos Naturales, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario, Cerro de Las Campanas S/N, Querétaro, Qro. 76010, México

³ Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío", Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, Camino Antigua Hacienda de Tovares S/N, Ejido "Las Fuentes y Pueblo Nuevo", Cadereyta de Montes, Qro. 76500, México

[*cibarra@uaq.mx](mailto:cibarra@uaq.mx)

Resumen

La hipertensión arterial (HTA) es el principal factor de riesgo para padecer enfermedades cardiovasculares, las cuales constituyen la principal causa de muerte en México y en el mundo. Los fármacos para tratar la HTA tienen baja efectividad y presentan efectos secundarios. Por esta razón, es necesario desarrollar nuevos fármacos más efectivos y con menos efectos adversos. Las plantas medicinales son una fuente valiosa de moléculas bioactivas. *Physalis cinerascens* es una especie vegetal utilizada en la Medicina Tradicional Mexicana para tratar la HTA, pero no existen estudios científicos que validen su efecto farmacológico. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto vasodilatador y caracterizar el mecanismo de acción del extracto etanólico de las partes aéreas de *P. cinerascens*. Adicionalmente, se analizó su perfil químico, mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución acoplada a Espectrometría de Masas (UPLC-EM). El extracto indujo un significativo efecto vasodilatador en la aorta aislada de rata, cuyo mecanismo de acción involucra la vía del NO/GMPc. Mediante el análisis de UPLC-EM se identificaron 21 compuestos (witanóidos, flavonoides, ácidos fenólicos y fisalinas). Estos hallazgos validan el uso etnomédico de *P. cinerascens* como un agente antihipertensivo y demuestran su potencial para desarrollar fitomedicamentos o compuestos prototipo para tratar la HTA.

Palabras clave: hipertensión arterial, Medicina Tradicional, *Physalis cinerascens*, efecto vasodilatador, perfil fitoquímico

Abstract

Arterial hypertension (AH) is the primary risk factor for developing cardiovascular diseases, which constitute the leading cause of death in both Mexico and worldwide. The drugs used to treat AH show limited effectiveness and are associated with side effects. For this reason, the development of new, more effective drugs with fewer side effects is essential. Medicinal plants are a valuable source of bioactive molecules. *Physalis cinerascens* is a plant species used in Mexican Traditional Medicine to treat AH; however, there are no scientific studies validating its pharmacological effects. The aim of this project was to evaluate the vasodilatory effect and characterize the mechanism of action of the ethanolic extract of the aerial parts of *P. cinerascens*. In addition, the chemical profile of the extract was analyzed using Ultra-Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (UPLC-MS). The extract induced a significant vasodilatory effect in isolated rat aorta, with a mechanism of action involving the NO/cGMP pathway. Through UPLC-MS analysis, 21 compounds (withanolides, flavonoids, phenolic acids, and physalins) were identified. These findings support the ethnomedical use of *P. cinerascens* as an antihypertensive agent and highlight its potential for the development of phytomedicines or lead compounds for the treatment of AH.

Keywords: arterial hypertension, Traditional Medicine, *Physalis cinerascens*, vasodilator effect, phytochemical profile

Importancia para la conservación

La investigación fitoquímica y farmacológica realizada en este proyecto fomenta el aprovechamiento sustentable de la flora medicinal, al ampliar el conocimiento y brindar nuevas posibilidades para el empleo y la conservación de especies vegetales. Además, este trabajo puede llegar a promover el reconocimiento y generación de medios de sustento para las comunidades indígenas y rurales que han utilizado las plantas medicinales a lo largo de generaciones.

Introducción

Las enfermedades cardiovasculares (ECVs) constituyen la principal causa de muerte en México y en el mundo. La hipertensión arterial (HTA) es el principal factor de riesgo para padecer ECVs y aparece cuando la presión de la sangre sobre las paredes de las arterias aumenta de manera sostenida por arriba de los 140/90 mmHg. Hasta el 2023, cerca del 16 % de la población mundial presentaba HTA y, en México, uno de cada cuatro mexicanos padece de esta enfermedad (OMS, 2023; Secretaría de Salud, 2023). Existe un amplio rango de fármacos para tratar la HTA; sin embargo, esta enfermedad sigue presentando una alta incidencia y mortalidad, por lo que es necesario desarrollar nuevos tratamientos que sean más efectivos y que presenten menos efectos colaterales (Cohen & Bress, 2024).

Desde tiempos milenarios, los seres humanos han utilizado a la naturaleza, particularmente a las plantas, para la cura de sus enfermedades, debido a que, como parte de los mecanismos de selección natural, las plantas producen compuestos químicos conocidos como productos naturales que poseen una amplia diversidad química y la capacidad de actuar sobre blancos farmacológicos novedosos; además, estas moléculas están diseñadas naturalmente para ejercer su actividad en sistemas vivos, por lo que su uso terapéutico produce menores efectos adversos (Chaachouay & Zidane, 2024).

La Medicina Tradicional que hace uso de las especies vegetales tiene muy buena aceptación, gracias a que presenta mínimos efectos secundarios comparada con los tratamientos farmacológicos convencionales. En el mundo se utilizan más de 165

especies vegetales para tratar la HTA y alrededor del 50 % de las personas que padecen HTA complementan su tratamiento farmacológico convencional con el uso de estas plantas medicinales (Choi *et al.*, 2024). En la Medicina Tradicional Mexicana, las especies vegetales de la familia Solanaceae son ampliamente utilizadas con fines medicinales, particularmente aquellas del género *Physalis* y, en especial, *Physalis cinerascens*, cuyas hojas y frutos son utilizados de forma tradicional como agentes diuréticos, con potencial efecto antihipertensivo (Martínez *et al.*, 2023). Sin embargo, a la fecha, no existen estudios científicos que validen su efecto farmacológico. Tampoco se han realizado análisis fitoquímicos sobre esta especie vegetal a fin de identificar sus principales metabolitos.

Métodos

Material vegetal y preparación del extracto etanólico. Las partes aéreas de *Physalis cinerascens* (Dunal) Hitchc. se colectaron en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta, bajo el aviso de colecta: AC-22-004-MGC-002/22. Un espécimen de la especie colectada fue depositado e identificado en el Herbario “Jerzy Rzedowski” de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, Qro., México, con número de voucher QMEX00005742. Para la obtención del extracto etanólico, 2 kg del material vegetal se secaron al aire, se molieron, se maceraron con etanol (1:10, p/v) y el solvente se evaporó a presión reducida.

Evaluación del efecto vasodilatador y del mecanismo de acción del extracto etanólico. Los

protocolos experimentales se llevaron a cabo siguiendo las directrices de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, que indica las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Las ratas se sacrificaron por decapitación y la aorta torácica se removió, se limpió y se cortó en anillos de 4-5 mm, los cuales se montaron en cámaras de incubación de 5 mL con solución de Krebs-Henseleit a 37 °C y burbujeo de carbógeno. Los tejidos se estabilizaron durante 30 minutos a 1.5 g, se estimularon con KCl 100 mM, se indujo su precontracción con L-fenilefrina 1 μ M y el extracto se adicionó de manera acumulativa (1 μ g/mL – 1 mg/mL). Se utilizó acetilcolina como control positivo. Los cambios en la tensión fueron detectados por un polígrafo Grass 7D. La participación del endotelio vascular en la respuesta vasodilatadora se determinó al remover el endotelio con 5 mL de solución salina (0.9 %) con ácido desoxicólico (0.2 %). La participación de la vía NO/GMPc en la respuesta vasodilatadora se evaluó incubando segmentos de aorta durante 20 min con L-NAME 10 mM y ODQ 1 mM.

Determinación del perfil químico del extracto etanólico mediante UPLC-EM. El extracto se analizó en un equipo Acquity UPLC I-Class (Waters), equipado con un detector de arreglo de diodos y acoplado a un Espectrómetro de Masas de tiempo de vuelo VION IMS QTOF (Waters) con fuente de ionización por electrospray en modo negativo. Se utilizó una columna en fase reversa BEH C₁₈ 2.1 x 100 mm, 1.7 μ m (Waters). Se llevó a cabo un barrido de absorbancia de 210-600 nm con canales a 214, 280, 320 y 360 nm. La muestra se diluyó en metanol. Las fases móviles fueron agua (A) y acetonitrilo (B), ambas acidificadas con ácido fórmico (0.1 %). El gradiente de elución fue: 95 % A - 0 min, 95 % A - 2 min a 5 % A - 22 min, 5 % A - 25 min a 95 % A - 27 min, 95 % A - 30 min, con un flujo de 0.4 mL min⁻¹ y un volumen de inyección de 6 μ L. Se empleó el software UNIFI v1.9 SR4 con una biblioteca de construcción propia basada en metabolitos reportados en especies del género *Physalis*. Para la identificación de fragmentos, se

comparó con patrones de fragmentación reportados en PubChem, HMDB v5.0. y MassBank of North America.

Análisis estadísticos. La evaluación del efecto vasodilatador del extracto se realizó en tres ratas diferentes (n = 3). Los resultados de la respuesta vasodilatadora del extracto en presencia de los inhibidores se obtuvieron de cuatro experimentos independientes (n = 4). Todos los valores se expresaron como la media $\pm$ error estándar de la media. Los datos se ajustaron a una ecuación sigmoide que se graficó y analizó para calcular el efecto máximo (E_{max}) y la concentración efectiva media (CE_{50}), cuyos valores se expresaron como la media con límites del 95 % de confianza. Estos resultados se analizaron mediante una prueba *t* no pareada y se consideraron estadísticamente significativos valores con un nivel de confianza $p < 0.05$.

Consideraciones éticas. Este proyecto de investigación fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro el 8 de octubre de 2023 (oficio CBQ23/121).

Resultados

Efecto vasodilatador y mecanismo de acción del extracto etanólico. El extracto indujo una actividad vasodilatadora inmediata, sostenida y dependiente de la concentración (ver Figura 1), con un efecto vasodilatador máximo significativamente mayor que el de la acetilcolina; sin embargo, la potencia de esta respuesta vasodilatadora fue menor que la del control positivo. La remoción del endotelio generó

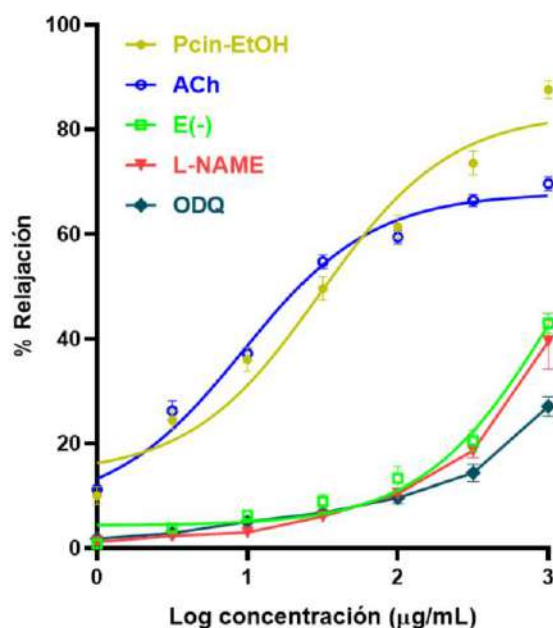


Figura 1. Curva concentración respuesta del efecto vasodilatador del extracto etanólico de *P. cinerascens* (Pcin-EtOH) en ausencia de endotelio [E(-)] y en presencia de los inhibidores L-NAME y ODQ. Se utilizó acetilcolina (ACh) como control positivo.

un desplazamiento hacia la derecha de la curva concentración respuesta, además de que la respuesta máxima disminuyó significativamente, lo que indica que la vasodilatación producida por el extracto se da principalmente a través de una vía dependiente del endotelio. Además, esta respuesta vasodilatadora se redujo significativamente al inhibir a la enzima óxido nítrico sintasa endotelial con L-NAME y a la enzima guanilato ciclasa soluble con ODQ. Estos resultados indican que el efecto vasodilatador del extracto involucra la activación de la vía del NO/GMPc.

Perfil fitoquímico del extracto etanólico. A partir de los 2 kg de material vegetal fresco colectado, se obtuvieron 170 g después del proceso de secado, lo cual equivale a un rendimiento del 8.5 %. Posteriormente, se obtuvieron 19 g de extracto a partir de los 170 g secos, siendo el rendimiento final de 112 g extracto/kg partes aéreas secas. El análisis del extracto etanólico, mediante UPLC-EM, permitió la identificación de 21 compuestos, que fueron clasificados de acuerdo con su estructura

química como witanólidos, fisalinas, flavonoides, ácidos fenólicos, cetonas, alcaloides, lignanos y terpenoides.

Discusión

Tomando en consideración la ausencia de reportes previos sobre el efecto vasodilatador de alguna especie del género *Physalis*, se buscó información sobre estudios realizados en otros géneros pertenecientes a la familia *Solanaceae*. Una investigación realizada por Masoud *et al.* (2019) demostró que el extracto acuoso de *Withania somnifera* induce una vasodilatación moderada; sin embargo, su efecto vasodilatador máximo ($E_{\max} = 39 \pm 2.2$ %) fue menor que el observado en la presente investigación para el extracto etanólico de *P. cinerascens* ($E_{\max} = 83.28 \pm 3.06$ %). En otro estudio, en el que se evaluó el extracto etanólico estandarizado de las raíces de *W. somnifera*, se observó que éste indujo un efecto vasodilatador máximo moderado ($E_{\max} = 40 \pm 0.9$ %); sin embargo, mostró una potencia tres veces mayor ($CE_{50} = 10$ µg/mL) a la potencia de la vasodilatación inducida por el extracto etanólico de *P. cinerascens* [$CE_{50} = 30.4$ (15.66–59.14) µg/mL]. Adicionalmente, se encontró que la respuesta vasodilatadora producida por el extracto de *W. somnifera* fue dependiente del endotelio e involucra la activación de la vía del NO/cGMP (Pathak *et al.*, 2021), lo cual es consistente con los resultados obtenidos en el presente estudio. Los principales tipos de compuestos identificados en el extracto etanólico de *P. cinerascens* coinciden con los hallazgos de otros análisis fitoquímicos de diferentes especies del género *Physalis*, en los cuales se han identificado, caracterizado y, en algunos casos, aislado witanólidos, fisalinas y compuestos fenólicos (Mirzaee *et al.*, 2019).

Conclusiones

El extracto etanólico de *Physalis cinerascens* indujo un efecto vasodilatador inmediato, sostenido y dependiente de la concentración en anillos de aorta aislada de rata, mediante un mecanismo dependiente de endotelio que involucra la activación de la vía del NO/cGMP. El análisis del perfil químico del extracto permitió la identificación de 21 compuestos, entre los cuales destacan los witanólidos, flavonoides, ácidos fenólicos y fisalinas. Estos hallazgos respaldan el uso etnomédico de *P. cinerascens* como agente antihipertensivo y contribuyen con nuevo conocimiento que apoya la importancia de conservar y utilizar de manera sustentable la flora del estado de Querétaro, la cual posee un valioso potencial medicinal que merece una exploración científica más profunda, particularmente en los ámbitos fitoquímico y farmacológico, con miras al desarrollo de fitomedicamentos o compuestos prototipo con aplicaciones terapéuticas.

Agradecimientos

Mónica Citlali García García agradece la beca otorgada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) durante sus estudios de maestría.

Nota de los editores

Este trabajo se hizo acreedor a la Presea “Cátedra de Mármol” 2025.

Plática disponible en Youtube:

<https://youtu.be/6o6SmlvCAYQ?t=4603>

Referencias bibliográficas

- Chaachouay, N. & Zidane, L. (2024). Plant-derived natural products: a source for drug discovery and development. *Drugs and Drug Candidates*, 3:184–207.
- Choi, D., Im, H.B., Choi, S.J., Han, D. (2024). Safety classification of herbal medicine use among hypertensive patients: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Pharmacology*, 15.
- Cohen, B. & Bress, A.P. (2024). Entering a new era of antihypertensive therapy. *American Journal of Kidney Diseases*, 83:411-414.
- Martínez, M., Vargas-Ponce, O., Zamora-Tavares, P., (2023). Taxonomic revision of *Physalis* in Mexico. *Frontiers in Genetics*, 14.
- Masoud, S., Abu-Zarga, M., Harb, A., Abdalla, S.S., (2019). Phytochemical analysis and effects of aqueous extract of *Withania somnifera* on isolated smooth muscle, perfused heart, blood pressure and diuresis in rats. *International Journal of Pharmacognosy*, 6(4):133–140.
- Mirzaee, F., Hosseini, A.S., Askian, R., Azadbakht, M. (2019). Therapeutic activities and phytochemistry of *Physalis* species based on Traditional and Modern Medicine. *Research Journal of Pharmacognosy*, 6(4):79–96.
- OMS. (2023) Hipertensión. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hypertension> [Consulta efectuada el 16 de junio de 2025].
- Pathak, P., Shukla, P., Kanshana, J.S., Jagavelu, K., Sangwan, N.S., Dwivedi, A.K., Dikshit, M. (2021). Standardized root extract of *Withania somnifera* and Withanolide A exert moderate vasorelaxant effect in the rat aortic rings by enhancing nitric oxide generation. *Journal of Ethnopharmacology*, 278.
- Secretaría de Salud. (2023). Disponible en: <https://www.gob.mx/salud/articulos/en-mexico-mas-de-30-millones-de-personas-padecen-hipertension-arterial-secretaria-de-salud?idiom=es> [Consulta efectuada el 16 de junio de 2025].

Venta ilegal de *Ariocarpus retusus* (Cactaceae) a través de internet

Diana Cárdenas-Ramos ^{1,2*}, Mariana Paola Bravo Correa ¹ y María C. Mandujano ¹

¹Laboratorio de Genética y Ecología, Departamento de Ecología de la Biodiversidad. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Coyoacán. CP 04510, Ciudad de México, México

²Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

[*dianacardenasr92@gmail.com](mailto:dianacardenasr92@gmail.com)

Resumen

La extracción ilegal y tráfico de especies a través de internet compromete la biodiversidad. Entre octubre de 2019 y febrero de 2020, realizamos una búsqueda en Google para detectar la venta en línea de *Ariocarpus retusus*. Obtuvimos 372 registros de venta que evidencian la alta demanda del cactus y la facilidad de su adquisición en línea, debido al bajo riesgo para los vendedores de ser sancionados. La especie se vende en 26 tiendas y por 123 vendedores independientes en plataformas como AliExpress, Amazon, eBay, Facebook y Mercado Libre y, solo un par de tiendas acreditaron contar con un permiso CITES, sugiriendo que el comercio del cactus es ilegal. Registramos 1602 individuos a la venta (la mayoría plántulas) y más de 5000 semillas en 23 países, con mayor presencia en Estados Unidos, China e Italia. En México, la venta del cactus ocurre en Facebook y Mercado Libre, donde suelen ofrecerse individuos adultos que probablemente son extraídos, actividad que podría comprometer la permanencia de las poblaciones. Consideramos que en México debería impulsarse la propagación regulada de *A. retusus* como una medida que beneficie a las comunidades y contrarreste la extracción ilegal de esta y otras especies de plantas.

Palabras clave: extracción ilegal de ejemplares, tráfico de cactáceas

Abstract

Illegal harvesting and online trade in species threaten biodiversity. Between October 2019 and February 2020, we conducted a search on Google to detect the online sale of *Ariocarpus retusus*. We found 372 sales listings, revealing both a high demand for this cactus and the ease of acquiring it online, largely due to the low risk of legal consequences for sellers. The species was sold by 26 stores and 123 independent sellers on online platforms such as AliExpress, Amazon, eBay, Facebook, and Mercado Libre. Only two stores claimed to have a CITES permit, suggesting that most of the trade is illegal. We recorded 1,602 individuals for sale (mostly seedlings) and over 5,000 seeds in 23 countries, with the highest presence in the United States, China, and Italy. In Mexico, the cactus is sold on Facebook and Mercado Libre, where adult individuals—likely extracted from wild populations—are commonly offered. This activity could jeopardize the long-term viability of the species in its natural habitat. We propose that Mexico should promote the regulated propagation of *A. retusus* as a measure to support local communities and combat the illegal extraction of this and other plant species.

Key words: illegal extraction of specimens, trafficking of cacti

Importancia para la conservación

Este trabajo dio a conocer la frecuencia y facilidad con la que se trafica en internet el cactus endémico a México *Ariocarpus retusus*. Estos resultados son una llamada de alerta para que las autoridades tomen medidas eficientes y a corto plazo para reducir el tráfico ilegal de esta y otra especie de cactus, que generalmente se extraen ilegalmente, comprometiendo el tamaño y el acervo genético de las poblaciones.

Introducción

Una de las principales amenazas de la biodiversidad a nivel mundial es el tráfico ilegal de especies de flora (*p. ej.* ejemplares, flores y semillas) y fauna silvestre (Nadal Urías *et al.* 2013). Esta actividad compromete el tamaño de las poblaciones porque reduce el número de individuos tras la extracción. Además, tiene efectos negativos en la regeneración poblacional, ya que generalmente se extraen individuos adultos con el potencial de reproducirse y dejar descendencia (Mandujano *et al.* 2007; Martínez-Peralta & Mandujano, 2009; Nadal Urías *et al.* 2013). Las especies de la familia Cactaceae son uno de los grupos biológicos que constantemente es sujeto al saqueo ilegal de ejemplares, esto debido a sus formas de crecimiento (*p. ej.* columnares, deprimidas o globosas) y a la belleza de sus tallos, flores, espinas y frutos, lo que las vuelve raras y atractivas para los coleccionistas ornamentales (Reyes Santiago, 2007). La constante extracción y venta de ejemplares y semillas de cactáceas, puede causar el declive o desaparición de sus poblaciones (Martínez-Peralta & Mandujano, 2009; Nadal Urías *et al.* 2013).

Es por lo que este trabajo busca estimar la cantidad de semillas y ejemplares de *Ariocarpus retusus* (Cactaceae) que se encuentran a la venta en plataformas de internet a nivel nacional e internacional, así como identificar la procedencia legal o ilegal de los ejemplares.

Métodos

Realizamos una búsqueda en internet durante cuatro meses (octubre 2019 a febrero 2020) a través de <https://www.google.com> y en blogs personales (Instagram y Facebook) para detectar la venta de semillas e individuos de *Ariocarpus retusus* (Figura 1). Las búsquedas se realizaron en idioma español,

inglés, francés, italiano y alemán para registrar el comercio a nivel nacional e internacional (Olmos-Lau & Mandujano, 2016). Construimos una tabla que contenía el nombre de la plataforma de venta, el país de origen de la página web y, la presencia o ausencia de permisos emitidos por SEMARNAT (nacionales) o CITES (internacionales). Además, se indicó el estado fenológico de los ejemplares (*p. ej.* con flores) y el número de individuos a la venta considerando las siguientes categorías: Plántulas (individuos < 3 cm de diámetro), Juveniles (entre 3.1 y 6 cm) y Adultos reproductivos (> a 6 cm). Todos los individuos fueron asignados a alguna de las categorías de tamaño con base en las especificaciones de venta descritas para cada ejemplar en la plataforma comercial.

Resultados

En internet registramos en total 1602 individuos de *A. retusus* a la venta, de los cuales 11% son adultos (2.2% con flores), 8.1% juveniles y 80.9% plántulas y, se están vendiendo más de 5000 semillas de la especie. Contabilizamos 372 registros de venta de *A. retusus*, de los cuales, el 7% corresponden a México. Se registraron 26 tiendas y 123 vendedores independientes que comercializan a la especie a través de AliExpress, Amazon, bidorbuy (Sudáfrica), eBay, ETSY, Facebook y Mercado Libre (Tabla 1). Sólo cinco tiendas en el extranjero cuentan con un permiso de venta emitido por CITES (Tabla 1). La venta de *A. retusus* se registró en 23 países, sin embargo, China, Estados Unidos e Italia lideran el comercio de este cactus. Por su parte, India y Estados Unidos son los países que más semillas comercializan de la especie (entre 1480 y 2520; Tabla 1). En México, los individuos se venden con regularidad en Facebook y Mercado libre y, la mayoría son adultos reproductivos.

Discusión

Estados Unidos, China y países europeos como Alemania, Italia y Polonia lideran la venta en línea de individuos y semillas de *A. retusus* debido a que los coleccionistas de estas regiones del mundo suelen interesarse por adquirir cactus con formas y

flores llamativas, considerándolos “raros”, además, poseen un alto poder adquisitivo que les permite adquirir ejemplares que incrementan su valor, cuanto más “raros” son (Nuwer, 2021).

Tabla 1. Plataformas que comercializaron individuos y semillas de *Ariocarpus retusus* en internet entre octubre de 2019 y febrero de 2020. Se indica el país de origen de venta, el nombre de la tienda o plataforma y el número de ejemplares o semillas a la venta, por país y por categoría de tamaño.

País	Plataformas de venta	Categoría de tamaño				
		Ac	A	J	P	S
Alemania	Andreas Wessner, Chiemgau Kaktus, Kakteen-Haage*, Uhlig Kakteen*, eBay	16	11	25	9	110
Canadá	eBay, Etsy					420
China	eBay, AilExpress		2	11	955	5
Eslovaquia	eBay, Kakteen-Haage*, Uhlig Kakteen*				3	110
España	Cactusloft, Biedes, Magic Garden Seeds		13	2		40
Estados Unidos	eBay, Facebook, Cactusspot*, Starr Nursery Botanic Wonders, Cactus Store, AilExpres, Amazon, Mercado Libre		21	7	302	1480
Filipinas	Facebook			1		
Francia	eBay, Kuentz, rarepalmseeds	11	7	9	2	110
Hungría	eBay, Etsy		1	1		
India+	Amazon					2520
Italia	Mondocactus*, Big-cactus, eBay, Giromagi	3	46	33	10	
Japón	eBay, Amazon		1			40
México	Facebook, Mercado Libre, Verdi	5	34	14	5	270
Nueva Zelanda	Coromandel cacti, Succ seed		2			10
Polonia	eBay			14	10	
República Checa	eBay, Hajek-kaktusy*		2			10
Serbia	Etsy					20
Sudáfrica	Bidor.buy				1	
Taiwán	Facebook	1				
Reino Unido	eBay		1			
Ucrania	eBay				1	310
Venezuela	Facebook			1		

Se indica la presencia de permisos de venta emitidos por CITES (*) o permiso aduanal (+). Notación: Ac-Adulto con flor, A-Adulto, J- Juvenil, P-plántula, S-semillas

Los resultados muestran aumento en la oferta y demanda de *A. retusus* en internet. Mientras que, en la 11ª reunión del Comité de Flora en Langkawi, Malasia (CITES, 2001) se reportaron 79 registros, en solo cuatro meses contabilizamos 372, lo que indica una creciente presión comercial sobre el cactus. Aunque, *A. retusus* está incluida en el Apéndice I de CITES que restringe casi por completo su comercio al considerarla una especie vulnerable o en peligro de extinción, solo un par de tiendas contaban con permisos CITES, lo que sugiere que, a nivel

mundial, la mayoría de los ejemplares que se comercializan son ilegales.

En México, la venta de *A. retusus* solo es legal si proviene de sitios autorizados de propagación y venta de ejemplares cultivados (p. ej., los provenientes de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre, UMA), que cuenten con un permiso. Sin embargo, ninguna tienda o vendedor reportó contar con alguno, lo cual es preocupante dado que este cactus es endémico a este país. Además, la mayoría de los ejemplares en

venta son adultos, lo que sugiere una posible extracción ilegal del medio silvestre. Esta práctica puede tener efectos demográficos negativos en las poblaciones de *A. retusus*, al eliminar de la población a los individuos con el potencial de reproducirse y dejar descendencia a través de semillas (Mandujano *et al.* 2007; Martínez-Peralta & Mandujano, 2009; Nadal Urías *et al.* 2013). Aunque registramos una baja proporción de semillas comercializadas en México, su colecta podría ser en su mayoría una práctica ilegal y común que amenaza la permanencia de las poblaciones de *A. retusus*, ya que la especie depende completamente de las semillas para su reproducción (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991; Martínez-Peralta, 2014).

Si bien a nivel internacional CITES regula el comercio de las especies incluidas en sus Apéndices (CITES, 2001), y en México la PROFEPA inspecciona la protección de las especies incluidas en la PROY-NOM-059-SEMARNAT-2025, el

tráfico ilegal de *A. retusus* persiste en internet. Esto se debe a que la venta se realiza en publicaciones temporales que son difíciles de rastrear y, a la facilidad con la que se realiza el intercambio comercial a través de esta vía, sin que los involucrados sean identificados o sancionados (Olmos-Lau & Mandujano, 2016).

La demanda de coleccionistas y los beneficios económicos para quienes extraen estos cactus impulsan el comercio ilegal, que difícilmente se detendrá a corto plazo. Por ello, consideramos que en México debe impulsarse el establecimiento de unidades de manejo para la propagación legal y regulada de *A. retusus* sobre todo en comunidades dentro de su área de distribución natural. Algunos autores proponen que el beneficio económico que obtienen las comunidades locales con el desarrollo de estas actividades puede contrarrestar la extracción ilegal de *A. retusus* y de otras especies de plantas (Terry & Keeper, 2013).



Figura 1. Imagen que ejemplifica la búsqueda realizada en internet sobre la compra de ejemplares de *Ariocarpus retusus*. Tomada de internet el 15 de junio de 2025.

Conclusiones

La venta de *A. retusus* en internet es una práctica muy común e ilegal, ya que la especie está incluida en el Apéndice I CITES, que prohíbe estrictamente su comercio. En México, vendedores independientes recurren a plataformas como Facebook y Mercado libre para ofrecer individuos adultos, generalmente extraídos de forma ilegal, lo que pone en riesgo la permanencia de las poblaciones.

Agradecimientos

A la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) por proveer los recursos para desarrollar el proyecto “Evaluación del estado de conservación y amenazas de *Ariocarpus retusus* en el marco del examen de revisión periódica de especies listadas en los Apéndices de la CITES”, proyecto con número PC25 Doc. 39.2, del cual se desprende esta nota científica. Al Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324> y de SECITHI CONAHCYT-CBF 2023-2024-1303 por el financiamiento otorgado y al presupuesto institucional de MCM.

Plática disponible en Youtube:
<https://youtu.be/6o6SmvICAYQ?t=5441>

Referencias bibliográficas

- Bravo-Hollis, H. & Sánchez-Mejorada, H. (1991). *Las cactáceas de México Volumen II*. UNAM. Ciudad de México, México.
- CITES. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. (2001). Venta de cactus en internet. Disponible en: <https://www.cites.org/sites/default/files/esp/com/pc/11/S-PC11-21-02.pdf> (Consulta efectuada el 5 de junio de 2025)
- Mandujano, M.C., Verhulst, J., Carrillo-Ángeles, I. y Golubov, J. (2007). Population dynamics of *Ariocarpus scaphirostris* Bodeker (Cactaceae): Evaluating the status of a threatened species. *International Journal of Plant Sciences* 168:1035-1044. <https://doi.org/10.1086/519008>
- Martínez-Peralta, C. & Mandujano, M.C. (2009). Saqueo en poblaciones naturales de *Ariocarpus*: El caso de *Ariocarpus agavoides*. *Cact Suc Mex.*, 54(2), 60-62.
- Martínez-Peralta, C. (2014). Evolución de los caracteres florales y reproductivos en el género *Ariocarpus* (Cactaceae): especies raras en peligro de extinción. Tesis de doctorado. Instituto de Ecología-UNAM, México.
- Nadal Urías, L., Antero Carmona, O. y Trouyet Starr, M. (2013). *Tráfico ilegal de vida silvestre*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable y Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). Printing Arts México, México.
- Nuwer, R. (2021). Los traficantes de cactus están saqueando los desiertos. New York Times. <https://www.nytimes.com/es/2021/05/20/espanol/cactus-raros-operacion-atacama.html> (Consulta efectuada en 10 de junio de 2025)
- Olmos-Lau, V. & Mandujano, M.C. (2016). An open door for illegal trade: online sale of *Strombocactus disciformis* (Cactaceae). *Nature Conservation*, 15: 1-9. DOI: 10.3897/natureconservation.15.8259
- Reyes Santiago, J. (2007). Conservación y restauración de cactáceas y otras plantas suculentas mexicanas. Manual práctico. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México. Disponible en: https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Manual_Practico-Conservacionyrestauracion-cactaceas_suculentas.pdf (Consulta efectuada en 14 de junio de 2025)
- Terry, M. y Keeper, T. (2013). Cultivation of Peyote: A Logical and Practical Solution to the Problem of Decreased Availability. *Phytologia*, 95(4): 314-320.

Cultivares tradicionales de maguey pulquero (*Agave* spp.) en Boyé, Cadereyta, México

Luis Crescencio Zúñiga-Rivera¹, Rosalinda González-Santos^{*2} y Luis Hernández-Sandoval²

Licenciatura en Horticultura Ambiental¹, Laboratorio de Botánica, Banco de Germoplasma, Facultad de Ciencias Naturales², Universidad Autónoma de Querétaro, Av. de las Ciencias S/N, CP. 76230, Juriquilla, Querétaro, México

[*rosalinda.gonzalez@uaq.mx](mailto:rosalinda.gonzalez@uaq.mx)

Resumen

La Delegación de Boyé, en Cadereyta, se caracteriza por la producción de pulque y barbacoa. El objetivo de este trabajo fue determinar la diversidad inter e intraespecífica de las especies de *Agave* que se usan en este sitio y sus alrededores. Se aplicaron 16 entrevistas semiestructuradas mediante el método de bola de nieve y se colectaron ejemplares de herbario. Los resultados obtenidos muestran que en la región se usan cinco especies con cinco subespecies o variedades que corresponden a 24 cultivares tradicionales de maguey pulquero. Se identificaron 10 usos, principalmente para elaboración del pulque, barbacoa y forraje. Por lo tanto, Boyé y sus alrededores tienen una alta diversidad intraespecífica conservada, seleccionada, usada y mantenida por los agricultores.

Palabras clave: “chalqueño”, “xaminí”, usos, agricultores

Abstract

The Boyé Delegation in Cadereyta is characterized by the production of *pulque* and *barbacoa*. The objective of this study was to determine the inter- and intraspecific diversity of the *Agave* species used in and around this area. Sixteen semi-structured interviews were conducted using the snowball method, and herbarium specimens were collected. The results show that five species with five subspecies or varieties corresponding to 24 traditional cultivars for *pulque* preparation are used in the region. Ten uses were identified, but they are primarily used for pulque production, *barbacoa*, and fodder. Therefore, Boyé and its surrounding areas have a high level of intraspecific diversity that is conserved, selected, used, and maintained by farmers.

Key words: “chalqueño”, “xaminí”, uses, farmers

Importancia para la conservación

Conocer el estatus de la diversidad y usos de variedades de maguey pulquero en Boyé y sus alrededores, es útil para implementar programas de manejo, de acuerdo con las variedades adaptadas y necesidades de los agricultores. Así como, identificar las variedades potenciales para la propuesta de programas de mejoramiento y conservación genética.

Introducción

Los agaves o magueyes son plantas emblemáticas de Mesoamérica. Estas están adaptadas a condiciones de baja precipitación, heladas y suelos infértiles (Narváez-Suarez *et al.*, 2016). México se considera el centro de origen y domesticación del género *Agave* con alrededor de 200 especies (Álvarez-Duarte *et al.*, 2018). En el estado de Querétaro, el municipio de Cadereyta de Montes es el que posee mayor riqueza de agaves, con un total de 20 especies (Vega, 2024).

Colunga-GarcíaMarín *et al.* (2017) mencionan 22 categorías de uso para los magueyes, principalmente como fuente de alimento, fibra, bebidas destiladas, bebidas sin fermentar y bebidas fermentadas, como el pulque. Para la elaboración de este último, se usan alrededor de 40 especies. Las más comunes son: *A. salmiana*, *A. mapisaga*, *A. americana* y *A. marmorata*. Además, por el manejo, selección, uso y conservación de los agricultores se origina una amplia diversidad intraespecífica que puede agruparse en cultivares tradicionales (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020).

En Boyé, Cadereyta desde el año 2001, se organiza la feria de la barbacoa y el pulque, que cuenta con una afluencia de más de 25 mil asistentes, lo que resalta la importancia de esta planta para la comunidad. El objetivo del presente estudio fue determinar la diversidad inter e intraespecífica de las especies de *Agave* que se usan en este lugar.

Método

Área de estudio. El trabajo se llevó a cabo en la Delegación de Boyé y sus alrededores (Sombrerete y Pathé). Se encuentra ubicada en la región del Semidesierto Queretano, a 7.9 km de la cabecera municipal de Cadereyta de Montes, perteneciente al estado de Querétaro (INEGI, 2020).

Encuestas y obtención de ejemplares de herbario. Se aplicaron 16 entrevistas semiestructuradas a los agricultores de maguey pulquero. En las cuales se les preguntó los nombres comunes del agave, y los usos. Se utilizó el método “bola de nieve” de Newing *et al.* (2011), que consiste en la

recomendación de los propios agricultores para sugerir a los siguientes entrevistados. Las cuales, se dejaron de aplicar al momento en que los informantes ya no mencionaron nuevos cultivares. También se colectaron ejemplares de herbario para la identificación taxonómica.

Resultados

Se registraron cinco especies de *Agave* con cinco subespecies, variedades y un híbrido que corresponden a 24 cultivares tradicionales.

Tabla 1. Especies, cultivares tradicionales y número de agricultores que poseen agave pulquero.

Especie	Cultivar tradicional	Número de agricultores que lo poseen	Número en porcentaje
<i>Agave americana</i> L.	“amarillo”	1	6.25
	“americano”	1	6.25
	“arguanpho”	1	6.25
	“manso”	1	6.25
	“piñuelo”e	1	6.25
	“chino”	1	6.25
<i>Agave americana</i> subsp. <i>abrupta</i>	“liso”	1	6.25
<i>Agave americana</i> var. <i>expansa</i> (Jacobi) Gentry	“burro”	1	6.25
<i>Agave americana</i> aff.	“santo domingo”	1	6.25
<i>Agave americana</i> x <i>salmiana</i>	“zarabanda”	2	12.5
<i>Agave mapisaga</i> Trel.	“penca larga”	3	18.75
	“penca rala”	1	6.25
<i>Agave mapisaga</i> aff.	“sanjuanero”	4	25
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	“piñonero”	1	6.25
<i>Agave aff. salmiana</i>	“verde”	1	6.25
	“pencón-cenizo”	1	6.25
<i>Agave salmiana</i> var. <i>ferox</i> (K. Kroch) Gentry.	“huanthé”	1	6.25
	“misionero”	1	6.25
	“xamani”	12	75
<i>Agave salmiana</i> var. <i>angustifolia</i> A. Berger	“chalqueño”	7	43.75
	“ayoteco”	1	6.25
<i>Agave salmiana</i> subsp. <i>crassispina</i> (Tel. ex L. H. Bailey) Gentry	“xamani”	12	75
<i>Agave asperrima</i> (Jacobi)	“raspón”	1	6.25
<i>Agave</i> sp.	“penca ancha”	1	6.25

La especie *Agave americana* es la que mayor número de cultivares tradicionales tiene con seis, seguido de *A. mapisaga* con tres (Tabla 1).

De las 16 entrevistas a los agricultores pulqueros, el 75% de ellos tienen sembrada el cultivar tradicional “xamini” (*Agave salmiana* var. *ferox*), el 43.75% “chalqueño” (*A. salmiana* var. *angustifolia* A. Berger), 25% “sanjuanero” (*Agave* aff. *mapisaga*), 18.75%, “penca larga” (*A. mapisaga*), 12.5% y “zarabanda” (*A. americana* x *salmiana*). Las otras 19 variedades son menos comunes (Tabla 1).

Estos cultivares son propagados por los agricultores principalmente de manera asexual. A través de una selección de los hijuelos más vigorosos para cultivarlos.

Se identificaron tres agricultores que tienen más de cinco cultivares, uno en el Sombrerete, uno en Boyé y uno en Pathé. Los principales usos son para la elaboración del pulque, barbacoa y forraje. En menor medida se utiliza como alimento, bebida destilada, cerca viva, ornato, retención de suelo, combustible y delimitación de terrenos.

Discusión

En Boyé y sus alrededores se encontró una alta diversidad intraespecífica, representada por cinco especies, pero con 24 cultivares tradicionales reconocidos por los agricultores. Figueredo-Urbina *et al.* (2020) señalan que en un estudio en tres localidades del estado de Hidalgo registraron 19 variedades tradicionales que corresponden a tres especies y cinco subespecies. Los principales cultivares que se usan en Boyé (“xamini” y “chalqueño”) pertenecen a la especie de *A. salmiana* con dos subespecies (Tabla 1). Lo cual coincide con lo señalado por Álvarez-Ríos *et al.* (2020) y Vega *et al.* (2023) para estos cultivares tradicionales.

Conclusión

En Boyé y sus alrededores en Cadereyta, existe diversidad intraespecífica de *Agave* que es conservada, seleccionada, usada y manejada por los

agricultores. No obstante, el cultivar predominante por sus características morfológicas de las plantas asociada a los usos es “xamini” que corresponden a dos subespecies de *A. salmiana*. La principal forma de reproducción que se lleva a cabo es la asexual, por lo cual, se pone en riesgo la diversidad genética del maguey en la zona. Por lo que, se requiere definir estrategias de conservación *in situ* de la diversidad intra e interespecífica en la región.

Agradecimientos

A los agricultores de Boyé y sus alrededores por compartir sus conocimientos del agave. Al proyecto FONFIVE-UAQ 2025.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=6o6SmvlCAYQ&t=6505s>

Bibliografía

- Álvarez-Duarte, M., García-Moya, E., Suarez-Espinoza, J., Luna-Cavazos, M. (2018) Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en los municipios de Puebla y Tlaxcala. *Polibotánica* 45
- Álvarez-Ríos, G. D., Figueredo-Urbina, C., Casas, A. (2020). Sistemas de manejo de maguey pulquero en México. *Revista Etnobiología* 18 (2): 3-23
- Colunga-GarcíaMarín, P., Torres-García, I., Casas, A., Urbina, C., Rangel-Landa, S., Delgado-Lemus, A., Cabrera-Toledo, D., Zizumbo-Villareal, D., Aguirre-Dugua, X., Eguiarte, L., Carrillo-Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. *Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo*. 11: 273-309
- Figueredo-Urbina, C., Álvarez-Ríos, G., García-Montes, M., Octavio-Aguilar, P. (2020). Morphological and genetic diversity of traditional varieties of *Agave* in Hidalgo State, Mexico. *PLoS ONE* 16(7): e0254376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254376>
- INEGI. (2020). *Datos Básicos de la Geografía de México*. Obtenido de: ¿Cuántos habitantes tiene... - Censo de Población y Vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Narváez-Suarez, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velázquez, M. (2016). El cultivo de maguey pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. *Revista de Geografía Agrícola*, 56: 33-44.
- Newin, H., Eagle, C. M., Puri, R., Watson, C.W. 2011. *Conducting research in conservation: Social science methods and practice*. Routledge, USA. 338 p.
- Vega M, Álvarez-Ríos G, Figueredo-Urbina C. (2023). Sistemas de manejo de agaves pulqueros en el estado de Hidalgo. *Padu*

boletín científico de ciencias básicas e ingenierías de ICBI,
10(20): 92-100

Vega, A. (2024). Distribución y pruebas pregerminativas en las especies del género *Agave* (Asparagaceae) en Cadereyta, Querétaro. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. 123 p.

Nopales silvestres (*Opuntia* spp.) comestibles en San Pedrito el Alto, Querétaro

Josseline Reséndiz-Rosas^{1*}, Rosalinda González-Santos^{1**} y Luis Hernández-Sandoval¹

¹ Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Av. de las Ciencias s/n, C.P. 76230 Juriquilla, Querétaro.

[*jresendiz68@alumnos.uaq.mx](mailto:jresendiz68@alumnos.uaq.mx)

**rosalinda.gonzalez@uaq.mx

Resumen

Los nopales forman parte de la dieta de la mayoría de los mexicanos. El objetivo de este estudio fue reconocer la diversidad de nopales silvestres comestibles en San Pedrito el Alto, municipio de Santiago de Querétaro. Para lo cual se aplicaron entrevistas semiestructuradas y se revisaron ejemplares de herbario. Se registraron ocho especies correspondientes a 16 nombres comunes. Las especies con más nombres fueron *Opuntia streptacantha* con seis y *O. tomentosa* con tres. De los cinco usos alimenticios registrados, el pulque de tuna y el queso de tuna están en desuso. En cuanto a la temporalidad, los informantes reconocen la disponibilidad de estos nopales durante al menos diez meses del año, lo que resalta su importancia como alimento accesible y continuo que contribuye con la soberanía alimentaria del área de estudio.

Palabras clave: usos, nombre común, fruto, *Opuntia*, temporalidad

Abstract

Prickly pears are part of the diet of most Mexicans. The study goal was to recognize the diversity of edible wild prickly pears in San Pedrito el Alto, a locality in the municipality of Santiago de Querétaro. Semi-structured interviews were conducted, and herbarium specimens were examined. Eight species corresponding to 16 common names were recorded. The species with the highest number of names were *Opuntia streptacantha* with six and *O. tomentosa* with three. Out of the five recorded food uses, tuna pulque and tuna cheese¹ are no longer used. Regarding seasonality, informants acknowledged the availability of these prickly pears for at least ten months of the year, highlighting their importance as an accessible and consistently available edible plant that contributes to food sovereignty in the study area.

Key words: uses, common names, fruit, *Opuntia*, temporality

Importancia para la conservación

Documentar la diversidad, usos y manejo de los nopales silvestres en San Pedrito el Alto, permite disponer de información para generar planes de manejo y proponer e implementar estrategias que eviten la pérdida de conocimiento tradicional.

¹Editor's note: in Spanish, "tuna" refers to the common name of the fruit in many species of *Opuntia*.

Introducción

Los nopales pertenecen al género *Opuntia* y forman parte de la dieta tradicional de los mexicanos. México es el centro de diversificación del grupo (Bravo-Hollis, 1978; Paz-Navarro *et al.* 2023). Abundan en los desiertos de Chihuahua y Sonora, la zona árida Queretano-Hidalguesa y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Scheinvar *et al.*, 2020).

En el estado Querétaro, Rzedowski y Bedolla (2021) registraron 19 especies de nopales, de las que cinco están presentes en el municipio de Querétaro. Diversos estudios sobre el uso de plantas comestibles destacan a *Opuntia* como el principal alimento consumido entre la diversidad de especies comestibles presentes en la región (Martínez *et al.*, 2021; Hernández Sandoval & González Santos, 2024; Hernández Puente *et al.*, 2025). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar los nopales silvestres consumidos en la localidad de San Pedrito el Alto, municipio de Querétaro, Querétaro, México.

Métodos

Área de estudio. San Pedrito el Alto se localiza al sureste del municipio de Santiago de Querétaro, Querétaro. A una altitud promedio de 1,968 m snm, con una población de 89 habitantes (INEGI, 2025). El sitio de recolección de los nopales se llevó a cabo en un cerro que rodea la localidad, conocido como La Mesa y en una ladera llamada El Divisadero.

Diversidad de nopales silvestres. Para compilar la lista de nopales silvestres comestibles se entrevistaron a cinco informantes que viven o vivieron en la localidad y cuyas edades oscilaban entre los 51 y 85 años. Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas para identificar los nombres locales, los lugares de colecta y sus usos. Se utilizó el sistema de clasificación Bravo-Hollis (1978) y Scheinvar (2020), los nombres científicos se verificaron mediante la base de datos en Plants of the World Online (POWO, 2025).

Resultados

Se identificaron ocho especies de nopales silvestres comestibles, referidas por los informantes con 16 nombres comunes. La especie *Opuntia streptacantha* con seis, *O. tomentosa* con tres y *O. hyptiacantha* con dos. Las demás especies se asociaron a un nombre común (Tabla 1).

Los habitantes reconocen los rasgos morfológicos y aspectos fenológicos de 16 tipos de nopales. En nueve, se consume el fruto (cinco especies); en cuatro, fruto y cladodio (cuatro especies), y en uno, el cladodio. Cabe señalar que la temporalidad de cada uno de los nopales nombrados es distinta, lo que permite su aprovechamiento durante al menos diez meses del año (Tabla 1).

Usos de los nopales silvestres

Los nopales son seleccionados para usos específicos, lo que origina la diversidad registrada. Por ejemplo, el fruto de “aguamielo” (*O. lasiacantha*) se usaba para elaborar pulque de tuna y el “hartón” (*O. streptacantha*) por su tamaño y consistencia, se emplea para nopales en penca (ximbo) (Figura 1). A continuación, se explican los cinco diferentes usos:

1. Fruta. Se utilizan las tunas frescas, disponibles de mayo a noviembre, excepto del “tempranillo”² (*O. streptacantha*), disponible desde enero. La recolección se hace con una herramienta llamada “rozandera” y las tunas con muchas glóquidas se barren con ramas de *Zaluzania augusta* (chuihute) antes o después de cortarlas. El fruto del “pachón” (*O. lasiacantha*) se pela “a pellejo”, técnica que consiste en retirar con navaja la cáscara para aprovechar las paredes delgadas del fruto. La “cocotuna” (*O. leucotricha*), de sabor ligeramente salado, se consume en época seca para calmar la sed.

2. Verdura. Se consumen los “nopalitos tiernos” cocidos o asados. El “hartón”, “aguamielo” y “pachón: son los más usados. Las pencas (cladodios) maduras del “hartón” se emplean para el ximbo,

² La variación en los nombres comunes de una misma especie refleja características específicas reconocidas por los informantes. (N. del E.)

platillo relleno con nopales picados, chile, jitomate y cebolla, cocido en brasas.

3. Salsas y condimentos: El “xoconostle” (*O. joconostle*) se cuece, se pela y se usa en salsas o se le añade a caldos y platos de frijoles de olla.

4. Bebidas y 5. Golosina. Con frutos de “aguamielo” y “redondo” se preparaba pulque y queso (prácticas ya en desuso).

Tabla 1. Nopales silvestres comestibles en San Pedrito el Alto, Querétaro.

Especie	Nombre común	Parte usada	Forma de uso	Temporalidad
<i>Opuntia streptacantha</i> Lem.	“avispo”	fruto	cruda	agosto a septiembre
	“cenizo”	fruto	cruda	Agosto a septiembre
	“hartón”	cladodio (penca) y fruto	verdura: pencas cocidas o asadas y Ximbo	mayo a septiembre
			cruda	
	“mancaño”	fruto	cruda	mayo a julio
	“pachón”	cladodio y fruto	verdura: pencas cocidas o asada	agosto a octubre
			fruta: cruda	
“tempranillo”	fruto	cruda	enero a marzo	
<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck	“chamacuero amarillo”	cladodio y fruto	verdura: pencas cocidas o asadas	octubre a noviembre
			fruta: cruda	
	“chamacuero rosa”	cladodio	verdura: pencas cocidas o asadas	octubre a noviembre
	“güero”	fruto	cruda	octubre a noviembre
<i>Opuntia hyptiacantha</i> F.A.C.Weber	“negrito”	fruto	cruda	agosto a septiembre
	“redondo”	fruto	fruta: cruda	junio a julio
			bebida: pulque de tuna	
			golosina: queso de tuna	
<i>Opuntia lasiacantha</i> Pfeiff.	“aguamielo”	cladodio y fruto	verdura: pencas asadas o cocidas	agosto a octubre
			fruta: cruda	
			bebida: pulque de tuna	
			golosina: queso de tuna	
<i>Opuntia leucotricha</i> DC.	“cocotuna”	cladodio y fruto	verdura: pencas asadas o cocidas	octubre a noviembre
			fruta: cruda	
<i>Opuntia megacantha</i> Salm-Dyck	“apastillado”	fruto	cruda	agosto a septiembre
<i>Opuntia robusta</i> J.C. Wendl.	“tapón”	cladodio	verdura: pencas asadas o cocidas	junio a octubre
<i>Opuntia joconostle</i> F.A.C. Weber	“xoconostle”	fruto	salsa: cocida condimento: cruda	octubre a diciembre

Discusión

En San Pedrito El Alto se identificaron 16 nombres comunes para ocho especies, resultado similar al de Paz-Navarro *et al.* (2023) para la comunidad de San Felipe en Guanajuato con 19 nombres comunes y ocho especies, lo cual se explica por la similitud

ecológica entre ambas localidades dentro de zonas semiáridas. De igual forma, Hernández-Puente *et al.* (2025) en una comunidad Nãñho al sur del estado reportaron siete especies de *Opuntia*, lo que evidencia la relevancia regional del género en distintos contextos culturales.



Figura 1. Usos tradicionales de especies silvestres de *Opuntia*. a) nopales tiernos recolectados para consumo como verdura, b) frutos de *Opuntia joconostle* en cocción para la elaboración de salsa, c) preparación de nopal en penca de cladodio maduro de *Opuntia streptacantha*.

En el municipio de Querétaro, Martínez *et al.* (2021) destacan que, entre las plantas silvestres registradas, el género *Opuntia* tiene el mayor número de especies comestibles con 15 tipos mencionados por los informantes; este registro, junto con los resultados desarrollados en este trabajo, refuerza la diversidad e importancia alimentaria de estas especies a nivel local. Esta diversidad intraespecífica es originada por aspectos biológicos y la selección, manejo y uso por parte de los habitantes (Manzanarez Villasana, 2020; Paz-Navarro *et al.*, 2023).

Los frutos fueron la parte más consumida, como también lo menciona Hernández-Puente *et al.* (2025). Esto se debe a que es un alimento dulce que se consume crudo. La especie con el mayor número de nombres comunes fue *O. streptacantha*, con seis, similar a lo señalado por Paz-Navarro *et al.* (2023) que identificó cinco nombres comunes para la especie; esto debido a que en los límites de Guanajuato y Querétaro las heladas son poco frecuentes y los nopales están dominadas por *O. streptacantha*.

Conclusiones

Pese al crecimiento urbano, en San Pedrito el Alto se registraron 16 nombres comunes de ocho especies de nopales silvestres comestibles. Los cerros que las albergan son reservorios genéticos clave para la soberanía alimentaria y la conservación de saberes tradicionales de la localidad. De los cinco usos, dos están discontinuados, lo que evidencia su probable pérdida con el tiempo. Se considera prioritario llevar a cabo estrategias que contribuyan su conservación y aprovechamiento sustentable. Se sugiere llevar a cabo análisis nutricionales de las especies para valorar su aporte alimenticio y fortalecer su uso en la dieta local.

Agradecimientos

A las y los informantes: Mere, Lupita, Juan y Mago, por compartir los tesoros de su comunidad y sus saberes empíricos, valiosos y de gran contribución para el estudio científico.

Plática disponible en Youtube:
<https://youtu.be/6o6SmylCAYQ?t=7515>

Referencias bibliográficas

- Bravo-Hollis, H. (1978). *Las cactáceas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Hernández-Puente, K., Hernández-Sandoval, L., González, R., Casas, A., Martínez, M. (2025). Diversity, management, and uses of edible plants in a Nãñho community of Southern Querétaro, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12(18): 1–23. <https://doi.org/10.1186/s13002-025-00756-6>
- Hernández-Sandoval, L. & González-Santos, R. (2024). Mexico and the diversity of edible plants: The case of the state of Querétaro. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 72(5): 1377–1389. <https://doi.org/10.1007/s10722-024-02063-7>
- INEGI (2025). México en cifras. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/default.aspx#collapse-Resumen> Instituto Nacional de Geografía y Estadística.
- Manzanarez Villasana, G. (2020). Variación morfológica y algunos aspectos de la ecología de la polinización en los morfos florales de *Opuntia streptacantha* Lem. (Cactaceae) Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000803511>
- Martínez, S., Aguilar-Galván, F. y Hernández-Sandoval, L. (2021). Plantas silvestres comestibles de la Barreta, Querétaro, México y su papel en la cultura alimentaria local. *Revista Etnobiología*, 19(1): 41–62.
- Paz-Navarro, A., Linares, O., Álvarez-Ríos, G., Vallejo, M. y Casas, A. (2023). Traditional Management and Diversity of *Opuntia*: General Panorama in Mexico and a Case Study in the Meridional Central Plateau. En A. Casas & J. J. Blancas-Vázquez (Eds.), *Ethnobotany of the mountain regions of Mexico* (pp. 233–264). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99357-3_21
- POWO. (2025). Plants of the World Online. <https://powo.science.kew.org/>.
- Rzedowski, J. y Bedolla, B. (2021). Catálogo de especies de plantas vasculares registradas en el estado de Querétaro. Flora del Bajío y de regiones adyacentes.
- Scheinvar, L., Gallegos-Vázquez, C., Gámez-Tamariz, N. y Olalde-Parra, G. (2020). *Atlas de los nopales silvestres mexicanos*. Universidad Nacional Autónoma de México; Fondo de Cultura Económica.

¿Qué hacen las hormigas por el semidesierto?

Kenya Córdova Lopez¹, Itzel Santillán Delgadillo¹ y Javier G. Miguelena^{1*}

¹ Arkansas State University Queretaro.

*jvmiguelena@gmail.com

Resumen

Las hormigas cumplen funciones ecológicas clave y contribuyen significativamente a los servicios ecosistémicos. Este estudio evaluó dichos servicios en un área del semidesierto queretano mediante la clasificación funcional de especies de hormigas recolectadas con trampas pitfall. Se midieron variables morfológicas y ecológicas, y se aplicó un análisis de clústeres para identificar grupos funcionales. Se detectaron seis grupos: depredadoras, descomponedoras, recolectoras, defensoras de plantas, dispersoras de semillas y formadoras del suelo. Estas últimas estuvieron entre las más frecuentes, indicando la importancia de las hormigas en la formación y fertilidad del suelo. La diversidad funcional encontrada sugiere resiliencia en la provisión de servicios, aunque algunas especies especializadas, como *Odontomachus clarus* y *Pogonomyrmex barbatus*, podrían requerir atención particular. Los hallazgos subrayan la importancia de considerar tanto la biodiversidad taxonómica como funcional para la conservación, ya que el mantenimiento de funciones ecológicas clave depende de especies con roles distintos en el ecosistema.

Palabras clave: hormigas, servicios ecosistémicos, diversidad funcional

Abstract

Ants play key ecological roles and significantly contribute to ecosystem services. This study assessed those services in a semi-arid region of Querétaro by functionally classifying ant species that were collected with pitfall traps. Morphometric and ecological variables were measured, and a cluster analysis identified six functional groups: foragers, predators, decomposers, seed dispersers, plant defenders, and soil formers. The latter were among the most frequently encountered, suggesting a major role of ants in soil formation and fertility. The observed functional diversity indicates potential resilience in service provision, although specialized species like *Odontomachus clarus* and *Pogonomyrmex barbatus* may require targeted conservation attention. These findings emphasize the importance of considering both taxonomic and functional diversity in conservation efforts, as maintaining key ecological functions relies on species with distinct roles in the ecosystem.

Key words: ants, ecosystem services, functional diversity

Importancia para la conservación

Los resultados de este estudio destacan el papel fundamental de las hormigas en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la biodiversidad vegetal, como la dispersión de semillas, el control de herbívoros y la mejora del suelo. Al identificar especies clave y grupos funcionales, se provee información valiosa para diseñar estrategias de conservación que favorezcan la regeneración y mantenimiento de comunidades vegetales en ecosistemas semiáridos.

Introducción

Las hormigas son importantes ecológicamente debido a su diversidad, abundancia y a las funciones que cumplen en los diferentes ecosistemas donde habitan (Del Toro *et al.*, 2012). Diversas investigaciones reflejan el impacto favorable de los nidos sobre el desarrollo de las plantas, principalmente por el enriquecimiento del suelo. Estas funciones impactan la fertilidad del suelo y la reproducción vegetal (Rojas, 2001). Una manera de estimar los tipos de servicios ecosistémicos que proveen diferentes especies de hormigas es considerar el tamaño relativo de las diferentes partes del cuerpo. (Camargo-Vanegas *et al.*, 2024).

El objetivo de este trabajo fue cuantificar y describir los principales servicios ecosistémicos que las hormigas proveen en un área del semidesierto queretano. Para ello, clasificamos las especies de hormigas colectadas en un área rural del municipio de Colón, Querétaro en grupos funcionales basados en características morfométricas y de historia natural.

Métodos

Método de muestreo. El estudio se realizó en un área rural adyacente al campus de Arkansas State University en Colón, Querétaro. El ambiente en la zona es principalmente matorral xerófilo y pastizal inducido afectado por la presencia de ganado a largo plazo.

La colecta se realizó por medio de trampas pitfall, es decir, recipientes abiertos enterrados al nivel del suelo. Se escogieron cinco sitios en cada uno de los cuales se colocó un conjunto de 6 trampas en una distribución rectangular. Las hormigas colectadas se contaron y se identificaron al nivel de especies.

Colecta y análisis de datos. Se midieron nueve variables morfométricas asociadas a las funciones de las especies de hormigas en el ecosistema por medio de un microscopio estereoscópico equipado con un micrómetro ocular. Con base en la literatura, también se obtuvo información del tamaño de la

colonia y el sitio de anidamiento (arbóreo, suelo o hojarasca) para cada especie.

Utilizamos el paquete estadístico FD (Laliberté *et al.*, 2014) en la plataforma R (R Core Team, 2013) para generar una matriz de similitud basada en las características de las especies colectadas. Con esta matriz, calculamos un análisis de clústeres para agrupar especies similares. Con base en los clústeres generados y una revisión de la información ecológica de cada especie, clasificamos a las especies de hormigas en grupos funcionales. Finalmente, consideramos la frecuencia de captura de las especies en cada grupo funcional para estimar la contribución relativa de las hormigas a cada uno de los servicios ecosistémicos que ellas proveen.

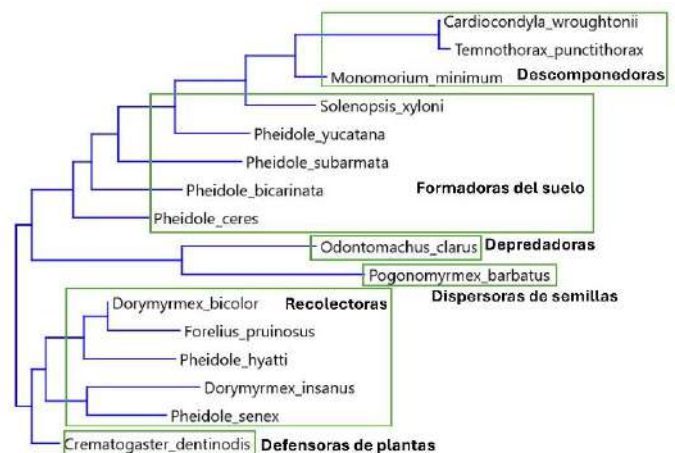


Figura 1. Ordenación en clústeres con la agrupación de las especies en grupos funcionales.

Resultados

Nuestro muestreo colectó veinticuatro especies de hormigas, de las cuales diecisiete fueron lo suficientemente comunes para ser incluidas en el análisis. El análisis de clústeres reveló seis grupos funcionales (Figura 1). Las especies de mayor tamaño (*Pogonomyrmex barbatus* y *Odontomachus clarus*) se separaron claramente de los demás grupos. Con base en su morfología especializada, estas se clasificaron como dispersoras de semillas y depredadoras respectivamente (Tabla 1). De similar manera, la hormiga acróbata *Crematogaster*

dentinodis, fue asignada a su propio grupo funcional como defensora de plantas.

Las hormigas pequeñas se agruparon como descomponedoras, asociadas a hojarasca o madera en descomposición. Otro grupo, las recolectoras, presenta rasgos que favorecen la exploración y búsqueda eficiente de recursos, y actúan como dispersoras de semillas, depredadoras o carroñeras. Finalmente, especies sin especializaciones claras y con nidos en el suelo fueron clasificadas como formadoras del suelo (Tabla 1).

Al considerar las frecuencias de captura para cada grupo funcional, encontramos que las hormigas encontradas con mayor frecuencia fueron las recolectoras, seguidas por las formadoras del suelo (Figura 2).

Tabla 1. Clasificación en grupos funcionales con sus características distintivas.

Grupo funcional	Características distintivas
Descomponedoras	Tamaño pequeño, antenas y patas cortas.
Formadoras del suelo	Nidos en el suelo, miles de individuos por colonia
Dispersoras de semillas	Tamaño grande, cabeza ancha, pelos especializados para cargar semillas
Depredadoras	Tamaño grande, mandíbulas especializadas para cacería
Recolectoras	Patatas y antenas largas
Defensoras de plantas	Presencia en el estrato arboreo, cabeza ancha, ojos separados



Figura 2. Porcentajes de los grupos funcionales basados en las frecuencias de captura de sus especies.

Discusión

De acuerdo con nuestra clasificación, las contribuciones más prominentes de las hormigas son como recolectoras y formadoras del suelo. Sin embargo, la mayoría de las hormigas registradas en la zona anidan en el suelo y contribuyen en mayor o menor manera a su formación. Por ello, de hacer una medida más directa de los servicios ecosistémicos, es probable que la formación del suelo fuera el servicio más importante provisto por las hormigas. Aunque existen mediciones directas para los servicios provistos por algunas especies (e.g. MacMahon *et al.*, 2000, Swanson *et al.*, 2019), para la mayoría de las que encontramos existe escasa información sobre su biología e interacciones con otros organismos.

Conclusiones

Desde un punto de vista de conservación, nuestros resultados sugieren cierta resiliencia en la provisión de servicios ecosistémicos, ya que varias especies cumplen funciones similares. Sin embargo, también encontramos especies altamente especializadas como *O. clarus* o *P. barbatus* que son únicas en sus grupos funcionales y probablemente deberían ser consideradas en esfuerzos de conservación.

Agradecimientos

Los autores agradecen las contribuciones de L. Elías Quintana, Ximena Zamora, Bruno A. Trejo, Alejandra Rodríguez y Luz M. González al trabajo de campo y laboratorio.

Plática disponible en Youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=432s>

Referencias bibliográficas

- Camargo-Vanegas, J., de la Hoz-Pedraza, S., Sierra-Chamorro, H., Guerrero, R. J. (2024). The Taxonomic and Functional Diversity of Leaf-Litter Dwelling Ants in the Tropical Dry Forest of the Colombian Caribbean. *Diversity*, 16(11): 687.
- Del Toro, I., Ribbons, R. R., Pelini, S. L. (2012). The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 17(0): 133-146.
- Laliberté, E., Legendre, P., Shipley, B. (2014). *FD: Measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology* (Version 1.0-12.3) [R package]. <https://cran.r-project.org/package=FD>
- MacMahon, J. A., Mull, J. F., Crist, T. O. (2000). Harvester ants (Pogonomyrmex spp.): their community and ecosystem influences. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1): 265-291.
- 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/>
- Rojas, P. (2001). Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 84: 189–238. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401851>
- Swanson, A. C., Schwendenmann, L., Allen, M. F., Aronson, E. L., Artavia-León, A., Dierick, D., ... Zelikova, T. J. (2019). Welcome to the Atta world: A framework for understanding the effects of leaf-cutter ants on ecosystem functions. *Functional Ecology*, 33(8): 1386-1399.

Cactus, abejas y flores engañosas: estrategias de reproducción en el semidesierto

Mariana Paola Bravo-Correa^{1*}, Alicia Callejas-Chavero², Sonia Vázquez-Santana³ y María C. Mandujano¹

¹ Laboratorio de Genética y Ecología, Departamento de Ecología de la Biodiversidad. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Coyoacán. CP 04510, Ciudad de México, México.

² Laboratorio de Ecología Vegetal, Departamento de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Carpio y Plan de Ayala s/n, Casco de Santo Tomás, México D.F. 11340, México.

³ Laboratorio de Desarrollo en Plantas. Departamento de Biología Comparada. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México.

*mapa.bc98@gmail.com

Resumen

Este trabajo analiza el efecto del mimetismo intersexual y de las funciones sexuales sobre el éxito reproductivo en una población dioica de *Opuntia robusta*, una cactácea del Semidesierto Queretano. El dioicismo, representa la separación máxima de las funciones sexuales, formando poblaciones con individuos masculinos y femeninos, por lo que la reproducción depende de vectores y ocurre por entrecruza. Esto genera presiones selectivas entre ambos sexos para atraer visitantes de forma eficiente. Se ha sugerido que las flores femeninas imitan a las masculinas, ya que estas suelen ofrecer más recompensas, para así garantizar la reproducción. En *O. robusta*, las flores femeninas produjeron más néctar y más concentrado, además reflejaron más luz ultravioleta (UV) que las masculinas, lo que podría indicar una estrategia visual para atraer polinizadores. La mayor producción de frutos y semillas ocurrió durante a las 12:00 h. Este horario también coincidió con una alta viabilidad del polen y una mayor actividad de visitantes florales, principalmente abejas y fueron las abejas del género *Diadasia* los es más eficientes. Los resultados indican que *O. robusta* ha desarrollado un sistema de mimetismo intersexual, junto con mecanismos de sincronía funcional y producción diferencial de recompensas, que maximizan el éxito reproductivo.

Palabras clave: cactácea, dioicismo, mimetismo intersexual, néctar, polinización

Abstract

This study analyzes the effect of intersexual mimicry and sexual functions on reproductive success in a dioecious population of *Opuntia robusta*, a cactus species from the semi-desert of Querétaro. Dioecy represents the maximum separation of sexual functions, resulting in populations with male and female individuals; therefore, reproduction depends on vectors and occurs through outcrossing. This creates selective pressures between the sexes to attract visitors efficiently. It has been suggested that female flowers mimic male flowers—since males usually offer more rewards—to ensure reproduction. In *O. robusta*, female flowers produced more nectar, with higher sugar concentration. They reflected more ultraviolet (UV) light than male flowers, which may indicate a visual strategy to attract pollinators. The highest production of fruits and seeds occurred at 12:00. This time also coincided with high pollen viability and increased floral visitor activity, mainly bees. Bees of the genus *Diadasia* were the most efficient floral visitors. The results indicate that *O. robusta* has developed a system of intersexual mimicry, together with mechanisms of functional synchrony and differential reward production, which maximizes reproductive success.

Key words: cacti, dioecy, intersexual mimicry, nectar, pollination

Importancia para la conservación

La importancia de este trabajo es que propone un replanteamiento del concepto de mimetismo intersexual y es el primer trabajo de este tema que se realiza en el género *Opuntia*, además evalúa características en la interacción planta-polinizador que describen la contribución de ambos (tanto del sistema vegetal como de los visitantes) para lograr una reproducción exitosa.

Introducción

En las angiospermas, la flor representa la unidad fundamental de reproducción sexual y es una de las estructuras más diversas en forma, tamaño, color y funcionalidad (Orozco & Vázquez, 2013). La variación en los rasgos florales responde tanto a presiones ambientales como a las interacciones con visitantes florales (Baker, 1976). En especies dioicas, donde existen individuos masculinos y femeninos separados, la dependencia de vectores bióticos para su reproducción es total, ya que no es posible la autofecundación (Ashman, 2000). Este sistema representa una estrategia evolutiva que promueve la recombinación genética, pero también conlleva desafíos, como asegurar que los visitantes visiten ambos sexos por igual (Bawa 1980; Zhang *et al.* 2013). Sin embargo, las flores masculinas suelen ser más atractivas al ofrecer diferentes recompensas (polen y néctar), lo que puede generar un sesgo de visitas y poner en riesgo el éxito reproductivo de las flores femeninas (Bawa 1980; Aizen & Basilio, 1998).

Para contrarrestar esta desventaja, se ha propuesto que las flores femeninas imitan morfológica, visual o químicamente a las masculinas, en un fenómeno conocido como mimetismo intersexual (Baker, 1976). En este estudio, se explora este fenómeno en *Opuntia robusta*, una cactácea dioica en la cual las flores de ambos sexos son visualmente similares. El objetivo fue evaluar si esta similitud influye en la frecuencia de visitas, si hay diferencias en la producción de recompensas, y si esto repercute en la reproducción (Ashman, 2000; Bawa, 1980; Bravo-Correa, 2021).

Métodos

Área y especie de estudio. El estudio se llevó a cabo en el área silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, Querétaro, México. Esta zona presenta una vegetación de tipo matorral xerófilo y un clima BS1 kw (w) (semiseco o semiárido templado con lluvias en verano), en donde crece de manera natural una población dioica de *Opuntia robusta* J.C Wendl., esta cactácea es un nopal arbustivo que mide hasta dos metros de altura, tiene cladodios de color verde-azulado que miden más de 40 centímetros de longitud, tiene flores de color amarillo y frutos carnosos de color púrpura (Figura 1).

Mimetismo intersexual. Para evaluar el mimetismo intersexual, se colectaron 29 flores de cada sexo en el horario de máxima apertura floral, estas se analizaron bajo luz ultravioleta (UV) en una caja oscura, midiendo la reflectancia de distintas estructuras florales mediante análisis de imagen digital en el programa ImageJ. Los porcentajes de reflectancia fueron comparados entre ambos sexos con una prueba de *t* de Student de variables independientes y un GLM con distribución Poisson (Schemske *et al.* 1996; Napoleone y Burrascano 2022).

La producción de recompensas florales se evaluó mediante extracciones de néctar a 30 flores de cada sexo en el horario de máxima producción que se tiene registrado en trabajos previos (12 a 14 horas; Mendoza, 2019; Bravo-Correa, 2021), cuantificando volumen y concentración de azúcares. Ambas variables se compararon entre individuos femeninos y masculinos con una prueba de *t* de Student de variables independientes (Mandujano *et al.* 2010).

La funcionalidad sexual. La funcionalidad se evaluó de forma separada para cada sexo: en flores masculinas, se determinó el ciclo de vida del polen por el método de Tinción de Alexander. Además, se comparó el número de granos de polen viables e inviables en cinco horarios diferentes que abarcan todo el ciclo floral con un GLM de distribución Poisson (López *et al.* 2005). Por otro lado, para las flores femeninas, se aplicaron tratamientos de polinización manual en distintos horarios del ciclo floral, que abarcaron desde la apertura hasta la senescencia floral. El número de frutos y semillas, resultante de cada tratamiento se cuantificó mediante el *fruit set* y el *seed set*, y, finalmente se evaluó la presencia de exudado estigmático y su pH a lo largo del ciclo de vida de las flores (Aponte y Jáuregui, 2004).

Visitantes florales. Se realizaron observaciones detalladas de los visitantes florales a 22 flores de cada sexo, registrando su frecuencia de visita, tipo de visitantes y comportamiento. Estas observaciones se registraron desde la apertura floral hasta la senescencia, (10 minutos de observación por 20 de descanso de cada hora) (Figura 2). Con esta información, se construyeron redes de interacción planta-polinizador y se calculó el índice de servicio de polinización (PSI) para identificar los visitantes más eficientes (Dormann, 2011).



Figura 1. a) Flor masculina. b) Flor femenina, ambas de *Opuntia robusta*. (Fotografías: Mariana Paola Bravo Correa).



Figura 2. *Diadasia* sp. en flor femenina de *Opuntia robusta*. (Fotografía: Mariana Paola Bravo Correa).

Resultados

Los resultados mostraron que las flores femeninas reflejan una mayor cantidad de luz UV que las masculinas en todas las estructuras analizadas, especialmente en el estigma y la parte basal del perianto, lo cual puede tener un efecto positivo en la atracción de polinizadores sensibles al espectro UV, como las abejas.

Por otro lado, las flores femeninas produjeron más néctar que las masculinas y con una mayor concentración de azúcares, lo cual sugiere una estrategia compensatoria frente a la ausencia de polen enriqueciendo la única recompensa floral que ofrecen. Esto hace a las flores femeninas más atractivas y contribuye a la reproducción de la especie de estudio (Figura 3).

En cuanto a la funcionalidad sexual, la receptividad del estigma en flores femeninas fue mayor en las primeras horas del día, particularmente a las 12:00 h, el pH fue más ácido y se presentó exudado en la mayoría de las flores evaluadas. Este horario también coincidió con la máxima viabilidad del polen en las flores masculinas.

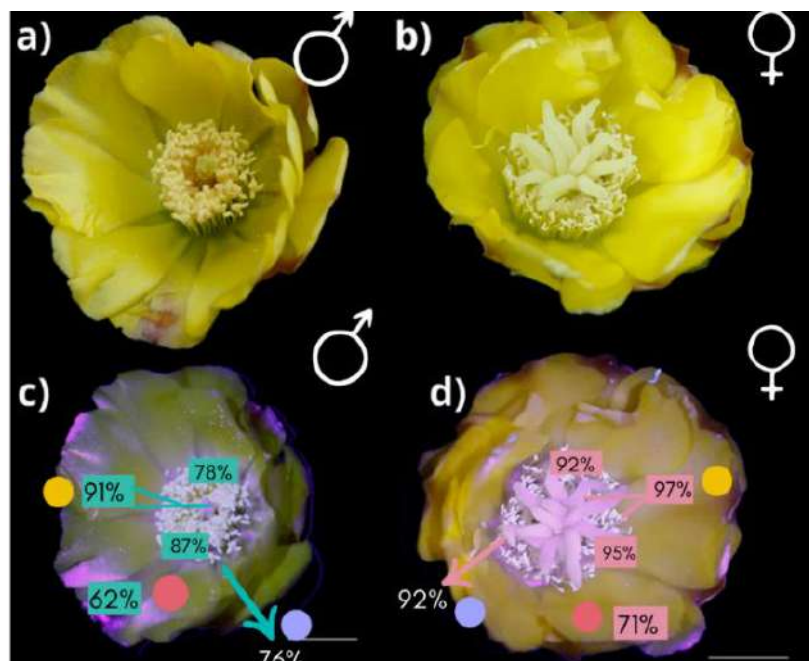


Figura 3. Porcentajes de reflectancia de luz UV en las cinco regiones (estigma, anteras, anteras-estigma, segmentos del perianto y región interna de los segmentos del perianto), evaluadas por sexo de las flores *Opuntia robusta*. a y b: flores en luz natural. c y d: flores expuestas a luz UV. Índices a y c: flores masculinas; c y d: flores femeninas. Circulo amarillo: región de anteras-estigma; círculo morado: región interna de los segmentos del perianto; círculo rojo: segmentos del perianto. (Fotografía: Gerardo Manzanarez Villasana).

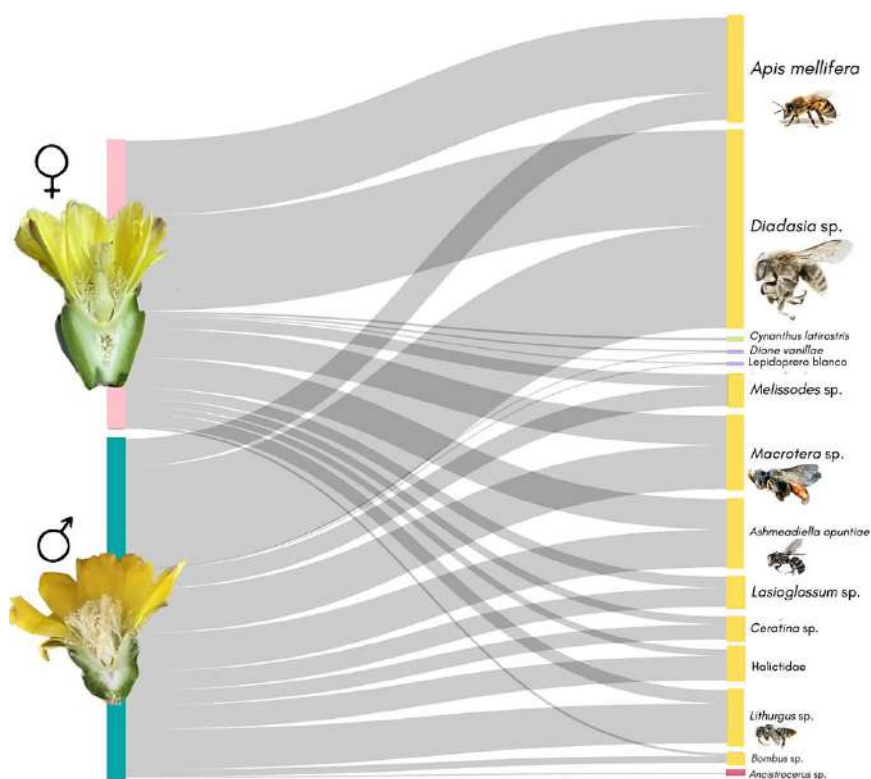


Figura 4. Red de interacción de visitantes florales (lado derecho) con los sexos de *Opuntia robusta* (lado izquierdo). Los visitantes de la franja amarilla son abejas, la franja roja es una avispa; la morada, lepidópteros y la verde, el colibrí *Cynanthus latirostris*.

Las observaciones de visitantes florales revelaron una mayor frecuencia de visitas en el horario de máxima receptividad del estigma y viabilidad del polen, destacando la actividad de abejas solitarias, especialmente del género *Diadasia*, las cuales mostraron el mayor índice de servicio de polinización (PSI). La mayoría de los visitantes no diferenciaron entre sexos, lo que indica un alto grado de mimetismo floral funcional. En conjunto, estos resultados muestran que la sincronía entre la funcionalidad sexual y la actividad de los visitantes, junto con la similitud morfológica entre sexos, contribuyen a optimizar la reproducción cruzada en esta especie dioica (Figura 4).

Discusión

Los hallazgos de este estudio respaldan la hipótesis de la presencia de mimetismo intersexual en *Opuntia robusta* y este actúa como una estrategia para mantener una tasa equilibrada de visitas florales entre los sexos, favoreciendo así la reproducción cruzada. A pesar de que las flores femeninas no producen polen, lograron atraer a los polinizadores mediante una mayor reflectancia UV y una producción elevada de néctar con alto contenido de azúcares, lo que sugiere que compensan su desventaja funcional con incentivos más visibles y nutritivos.

La similitud morfológica y la variación en la producción de recompensas florales entre ambos sexos favorece a la reproducción de la especie al eliminar la formación de patrones de discriminación entre individuos femeninos y masculinos. Esta estrategia es importante en un sistema dioico, donde el éxito reproductivo femenino depende de la transferencia eficiente del polen por parte de los vectores, en este caso de los visitantes. La coincidencia temporal entre los horarios de máxima receptividad estigmática, la alta viabilidad del polen y la máxima actividad de visitantes indica una sincronía funcional clave que maximiza la eficiencia reproductiva.

La red de interacción mostró que la interacción planta-polinizador en la población

estudiada es generalista, los visitantes interactúan con ambos sexos, aunque algunas especies como *Diadasia* presentaron un papel dominante en la polinización efectiva. Estos resultados contribuyen al entendimiento de cómo los rasgos florales, la funcionalidad sexual y la interacción con polinizadores se integran en estrategias reproductivas complejas en especies dioicas.

Conclusiones

El estudio demuestra que *Opuntia robusta* presenta un sistema de mimetismo intersexual, en el que las flores femeninas imitan visualmente a las masculinas, en color y reflectancia UV. También producen recompensas florales más atractivas que las masculinas, lo que puede compensar la ausencia de polen. La sincronía entre la liberación de polen y la receptividad del estigma, junto con la actividad de los visitantes florales, son cruciales para garantizar una reproducción eficiente.

Las abejas, especialmente las del género *Diadasia*, se identifican como los polinizadores más eficientes en esta población. En conjunto, el mimetismo, la producción diferencial de recompensas y la sincronía funcional permiten que esta cactácea dioica supere las limitaciones de su sistema sexual, favoreciendo el éxito reproductivo. Este trabajo aporta conocimiento clave sobre la biología floral y reproductiva de una de las pocas cactáceas dioicas conocidas, y ofrece evidencia del papel ecológico y evolutivo del mimetismo floral en la interacción planta-polinizador.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=1334s>

Agradecimientos

Al Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324> y de SECITHI CONAHCYT-CBF 2023-2024-1303 por el financiamiento otorgado y al presupuesto institucional de MCM.

Referencias bibliográficas

- Aizen, M.A., & Basilio, A. (1998). Sex differential nectar secretion in protandrous *Alstroemeria aurea* (Alstroemeriaceae): Is production altered by pollen removal and receipt? *American Journal of Botany*, 85(2), 245-252.
- Aponte, Y., y Jáuregui, D. (2004). Algunos aspectos de la biología floral de *Passiflora cincinnata* Mast. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(3), 211-220.
- Ashman, T. L. (2000). Pollinator selectivity and its implications for the evolution of dioecy and sexual dimorphism. *Ecology*, 81(9), 2577-2591.
- Baker, H. G. (1976). "Mistake pollination" as a reproductive system with special reference to the Caricaceae, p. 161-169. In J. Burley and B. T. Styles (eds.), *Tropical Trees: Variation, Breeding and Conservation* (pp. 161-169). Academic Press, London.
- Bawa, K. (1980). Mimicry of Male by Female Flowers and Intrasexual Competition for Pollinators in *Jacaratia dolichaula* (D. Smith) Woodson (Caricaceae). *Evolution*, 34:467-474
- Bravo-Correa, M. P. (2021). Efecto del dioicismo en la fenología y la biología reproductiva de *Opuntia robusta* J. C. Wendl. (Cactaceae), en Cadereyta de Montes, Querétaro, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. 90 pp
- Dey, K., Mondal, S., y Mandal, S. (2016). Flower-visitor diversity with reference to pollen dispersal and pollination of *Carica papaya* L. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 3(2), 65-71.
- Dormann, C. (2011). How to be a specialist? Quantify sub specialization in pollination networks. *Network Biology* 1:1-20.
- López, L., Márquez-Guzmán, J., y Munguía, G. (2005). Técnicas para el estudio del desarrollo en angiospermas. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 178 p.
- Mandujano, M.C., Carrillo-Ángeles I., Martínez-Peralta, C., y Golubov, J. (2010). Chapter 10 Reproductive biology of Cactaceae. En Ramawat KG, ed. *Desert Plants – Biology and Biotechnology*. Springer.
- Mendoza, R. C. (2019). Biología reproductiva de *Opuntia robusta* Wendl. en dos poblaciones del estado de Hidalgo. UNAM. México.
- Napoleone, F., Manzini, D., y Burrascano, S. (2022). How to measure flower ultraviolet reflectance using digital photography. *Applied Vegetation Science* e12648
- Orozco, G., & Vázquez, S. (2013). Procesos reproductivos: Sistemas de reproducción sexual. En: Márquez-Guzmán, G.J., Collazo M., Orozco, A., Martínez, M.J., Orozco, A. y Vázquez, S. 2013. *Biología de Angiospermas*. UNAM. México.
- Schemske, D. W., Ågren, J., y Corff, J. L. (1996). Deceit pollination in the monoecious, neotropical herb *Begonia oaxacana* (Begoniaceae). En: Lloyd, D.G., Barrett, S.C.H. (eds) *Floral biology: studies on floral evolution in animal-pollinated plants*, 292-318
- Zhang, Y., Lin, W., Chu, C., y Ni, M. (2023). Sex-specific outbreeding advantages and sexual dimorphism in the seedlings of dioecious trees. *American Journal of Botany*. 110(4): e16153.

Respuesta germinativa de morfotipos de *Astrophytum ornatum* bajo diferentes condiciones ambientales

Erick Baruch Rodríguez Romero^{1*} y María C. Mandujano²

¹ Facultad de Ciencias, UNAM. Av. Universidad 3000, Circuito Exterior s/n, Alcaldía Coyoacán, CP 04510, Ciudad Universitaria, CDMX, México.

² Departamento de Ecología de la Biodiversidad, Laboratorio de Genética y Ecología, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Circuito Exterior s/n, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

Resumen

Astrophytum ornatum es una cactácea endémica de México, amenazada por el comercio ilegal y la pérdida de hábitat. En el estado de Querétaro, esta especie muestra una amplia variación fenotípica, incluyendo morfotipos blanco, verde, con rayas y con pocas rayas. Para apoyar su conservación y reducir la presión sobre las poblaciones silvestres, se evaluó la germinación y sobrevivencia temprana de plántulas obtenidas de semillas recolectadas *ex situ*, bajo tres tratamientos experimentales. El experimento 1 se realizó en cámara ambiental con agar bacteriológico; los experimentos 2 y 3 se realizaron en invernadero, usando suelo de un sitio donde se distribuye naturalmente la especie (Agua del Ángel, Peñamiller, Querétaro) ligeramente humedecido en frascos sellados. Se midió la germinación y se aplicaron análisis ANOVA y parámetros germinativos con el paquete “GerminaR” del software R. Los resultados mostraron diferencias significativas entre morfotipos, siendo el morfo “Raya” el de mayor germinación, y el “Blanco” el de menor desempeño, salvo en condiciones controladas. La germinación fue mayor en condiciones de invernadero. Estos hallazgos son clave para diseñar estrategias de conservación, privilegiando tanto la diversidad morfológica como los ambientes más favorables para la propagación.

Palabras clave: conservación, germinación, morfotipos, *Astrophytum*

Abstract

Astrophytum ornatum is a cactus species endemic to Mexico, threatened by illegal trade and habitat loss. In the state of Querétaro, this species exhibits broad phenotypic variation, including white, green, striped, and lightly striped morphotypes. To support its conservation and reduce pressure on wild populations, germination and early seedling survival were evaluated using seeds collected from plants in an *ex situ* collection under three experimental treatments. Experiment 1 was conducted in an environmental chamber with bacteriological agar; experiments 2 and 3 were carried out in a greenhouse using slightly moistened native soil (Agua del Ángel, Peñamiller, Querétaro) in sealed containers. Germination was measured, and ANOVA and “GerminaR” package in R software were used to analyze germination parameters. The results showed significant differences among morphotypes, with the “Striped” morphotype achieving the highest germination rate and the “White” morphotype performing the worst, except under controlled conditions. Germination was higher in greenhouse conditions. These findings are essential for developing conservation strategies that prioritize both morphological diversity and the most favorable environments for propagation.

Keywords: conservation, germination, morphotypes, *Astrophytum*

Importancia para la conservación

Los resultados de este estudio tienen implicaciones para la conservación *ex situ* de *Astrophytum ornatum*, especialmente en cuanto a la selección de morfotipos para propagación y el uso de sustratos apropiados. Se destaca la necesidad de preservar la diversidad morfológica para garantizar la resiliencia evolutiva de la especie.

Introducción.

México alberga una gran diversidad de cactáceas, que es uno de los grupos vegetales más amenazados debido al comercio ilegal, la pérdida de hábitat y la presión extractiva (Bárceñas, 2006).

Astrophytum ornatum es una especie endémica y amenazada que se distribuye en zonas montañosas del estado de Querétaro, donde presenta una notable variabilidad fenotípica, expresada en distintos morfotipos según la abundancia de tricomas en el tallo (Arias, 1989; Zepeda *et al.*, s.f.). Esta variación no solo tiene valor ornamental, sino que también representa un componente clave de la diversidad genética que debe ser conservado.

Dada la presión sobre las poblaciones silvestres, la conservación *ex situ* y la propagación a partir de semillas se han vuelto estrategias esenciales. Los jardines botánicos juegan un papel central como reservorios de diversidad biológica y centros de investigación (Cepeda-Cornejo & Cuautle-García, 2021). A través del estudio de la capacidad germinativa de los diferentes morfotipos de *A. ornatum* es posible generar información valiosa para programas de conservación y producción que ayuden a mitigar la extracción ilegal, garantizando la persistencia de esta especie en peligro. (Mendoza Madrigal, 2007; Villanueva *et al.*, 2016).

Materiales y método

Se colectaron semillas de plantas mantenidas en condiciones de invernadero en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta. Con ellas se realizaron 3 experimentos para evaluar el porcentaje de germinación y la sobrevivencia de las plántulas durante los 6 primeros meses.

Los morfotipos de *A. ornatum* evaluados fueron:

Blanco (A) que se caracteriza por presentar una gran abundancia de estigmas (tricomas) que recubren su epidermis casi en su totalidad otorgándole un aspecto nevado (“*niveum*”).

Rayas (B) que presenta los estigmas dispuestos a manera de líneas horizontales muy abundantes a lo largo de su tallo.

Pocas rayas (C) similar al morfotipo anterior pero las franjas son mucho más delgadas y espaciadas, se presentan en una densidad muy baja.

Verde (D) su epidermis es glabra, con una ausencia total de estigmas en su superficie, en cultivo a esta forma se le da el nombre de “*nudum*”.

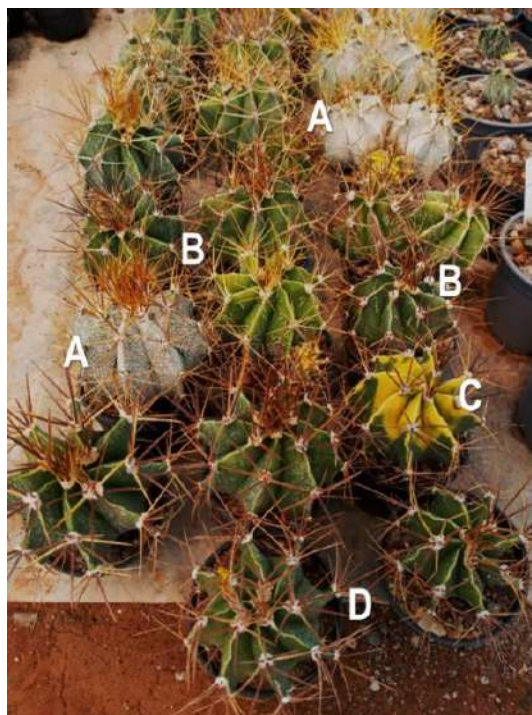


Figura 1. Amplia variación fenotípica de *A. ornatum*.

El primer experimento consistió en la siembra de semillas en agar bacteriológico. Para cada morfo se emplearon 20 réplicas, que consistían en una caja de *Petri* con 5 semillas, por lo cual en total se contó con un total de 100 semillas por morfo y 400 en total. Todas las réplicas fueron colocadas dentro de una cámara ambiental a una temperatura de 26°C constantes y un fotoperiodo de 12h luz y 12h oscuridad. Las semillas se monitorearon durante un mes y medio, contando las plántulas 2 veces por semana. Una vez que la germinación se estabilizó y las plántulas empezaron a tocar la tapa de la caja *Petri*, se extrajeron y se sembraron en contenedores tipo bisagra con una ligera capa de sustrato. En estos contenedores se revisó una vez por semana durante un mes y 15 días la sobrevivencia de las plántulas. Una vez que las plántulas desarrollaron areolas fueron trasladadas a condiciones de invernadero para darles seguimiento.

El segundo experimento consistió en la siembra de semillas en frascos de vidrio utilizando suelo colectado en uno de los sitios de distribución natural de *A. ornatum* (Agua del Ángel, Peñamiller, Qro.). Para cada morfotipo se establecieron 20 réplicas, cada una conformada por un frasco con 5 semillas, sumando 100 semillas por morfo, con excepción del morfo blanco, que contó con un número menor, dando un total de 386 semillas. El suelo se humedeció ligeramente y los frascos permanecieron sellados durante un mes dentro de un invernadero a una temperatura máxima de 45°C y una mínima de 13°C. Posteriormente, se destaparon para registrar el número de plántulas germinadas.

El tercer experimento siguió el mismo procedimiento que el segundo experimento, pero con una réplica completa para los cuatro morfotipos y semillas con 6 meses más de almacenamiento. Se establecieron 20 frascos por morfo, cada uno con 5 semillas, dando un total de 100 semillas por morfotipo y 400 semillas en total. Los frascos también contenían suelo ligeramente humedecido del sitio (Agua del Ángel, Qro.) y se mantuvieron sellados durante un mes en el interior del invernadero. Al finalizar este periodo, se destaparon y se realizó el conteo de plántulas germinadas.

Estadística utilizada. Con el propósito de identificar diferencias significativas en la germinación de *A. ornatum* entre distintos morfotipos (rayas, pocas rayas, verde y blanco) y tratamientos (cámara ambiental y suelo en condiciones de invernadero), se emplearon análisis estadísticos comparativos. Para cada tratamiento, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía, lo cual permitió evaluar si existían diferencias significativas en las medias de germinación entre los diferentes morfos. Este mismo enfoque se utilizó para comparar los tres tratamientos aplicados a un mismo morfotipo, permitiendo así analizar el efecto del ambiente sobre el comportamiento germinativo.

Resultados

En el primer experimento, con un porcentaje total de germinación del 55%, el morfo blanco alcanzó el valor más alto (16%), seguido de raya (15.5%), verde (13%) y poca raya, que tuvo el porcentaje más bajo (10.75%). No hubo diferencias significativas entre morfotipos ($F= 2.35$, $gl=3$, $p = 0.079$) (Figura 2).

Mientras que en el segundo experimento donde el porcentaje total fue del 77%, el morfo raya lideró con 23.57%, seguido de verde (20.98%) y poca raya (20.46%), mientras que el morfo blanco obtuvo el menor porcentaje (12.69%). Hubo diferencias altamente significativas ($F=10.76$, $gl=3$, $p = 0.000012$) (Figura 3).

Finalmente, el tercer experimento, obtuvo un porcentaje total de 48%, el morfo raya volvió a destacar con 30.25%, seguido por verde (28.2%) y poca raya (27.17%), mientras que el blanco continuó siendo el menos eficiente con 14.35%. Las diferencias fueron marginalmente significativas ($F=2.51$, $gl=3$, $p = 0.064$) (Figura 4).

De manera que, el morfo raya mostró los mayores porcentajes de germinación en los tres experimentos, evidenciando una alta capacidad de desarrollo. En contraste, el morfo blanco tuvo los valores más bajos en general, excepto en el Experimento 1.

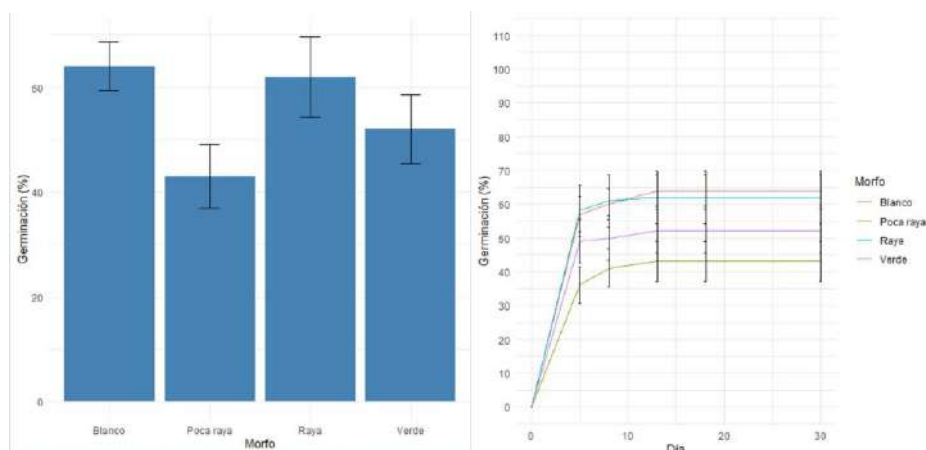


Figura 1. Izquierda, porcentajes de germinación totales, por morfo de *Astrophytum ornatum*. Derecha, porcentaje de germinación con relación a los días de duración del experimento.

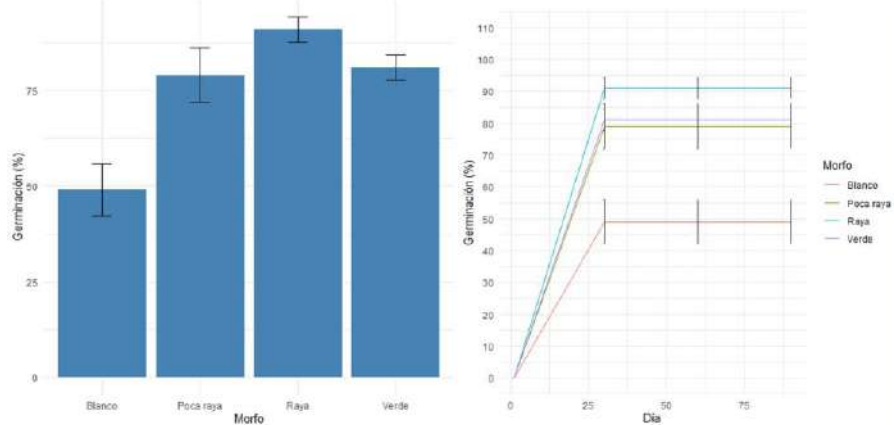


Figura 2. Izquierda, porcentajes de germinación totales, por morfo de *Astrophytum ornatum*. Derecha, porcentaje de germinación con relación a los meses de duración del experimento.

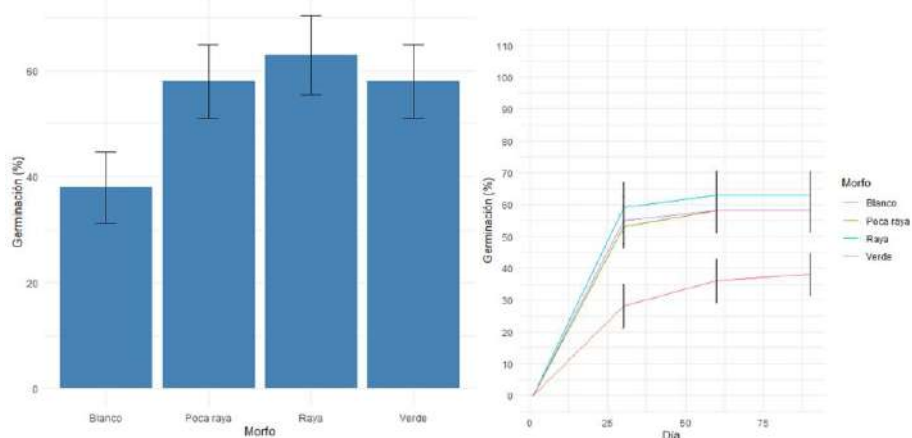


Figura 3. Izquierda, porcentajes de germinación totales, por morfo de *Astrophytum ornatum*. Derecha, porcentaje de germinación con relación a los meses de duración del experimento. Se destaca una tendencia en la prolongación del tiempo de germinación.

Los mejores resultados generales se obtuvieron en el Experimento 2, lo que sugiere que el uso de semillas frescas aunado a las condiciones de suelo natural, temperatura elevada y humedad controlada favorecen significativamente la germinación de esta especie.

Discusión

Los resultados del presente estudio sugieren que la germinación de *Astrophytum ornatum* está influenciada tanto por el morfotipo como por las condiciones del entorno. La superioridad germinativa del morfo “raya” sugiere que ciertas características fenotípicas podrían estar asociadas a una mayor viabilidad de las semillas. En contraste, el bajo porcentaje de germinación del morfo “Blanco” plantea la necesidad de optimizar técnicas de propagación que permitan incrementar su disponibilidad sin recurrir a la extracción de ejemplares silvestres. Alternativas como la aplicación de tratamientos pre-germinativos y la adición de fitohormonas (ej. giberelinas) al medio de cultivo podrían mejorar su respuesta germinativa (Palma Soto *et al.*, 2022).

Además, determinar de forma cuantitativa y no solo mediante observaciones puntuales si este morfotipo es naturalmente poco frecuente en las poblaciones podría orientar las prioridades de manejo y reforzar la pertinencia de su conservación *ex situ*.

Asimismo, el éxito germinativo observado en condiciones de invernadero con suelo del hábitat natural destaca el papel del sustrato y la humedad en el desarrollo temprano de plántulas, lo cual es clave para programas de conservación. Estos hallazgos respaldan la implementación de estrategias que integren la propagación selectiva con enfoque morfológico y el uso de condiciones ambientales semejantes al hábitat original, para maximizar la eficiencia de los esfuerzos *ex situ* y disminuir la presión sobre las poblaciones silvestres amenazadas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que existen diferencias significativas en la capacidad germinativa entre los distintos morfotipos de *Astrophytum ornatum*, lo cual refleja una variabilidad fenotípica con posibles implicaciones genéticas y adaptativas. En particular, el morfo “raya” mostró un desempeño germinativo superior en todos los tratamientos, mientras que el morfo “blanco” fue consistentemente el menos eficiente, salvo en condiciones controladas. Además, se confirmó que las condiciones de germinación influyen notablemente en el éxito reproductivo, siendo el suelo natural con humedad controlada el ambiente más favorable. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar tanto la diversidad morfológica como el entorno en las estrategias de conservación y propagación *ex situ*, aportando información clave para reducir la presión sobre las poblaciones silvestres y fomentar su recuperación mediante programas de producción legal y sustentable.

Agradecimientos

Al Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324> y de SECITHI CONAHCYT-CBF 2023-2024-1303 por el financiamiento otorgado y al presupuesto institucional de MCM.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=2241s>

Referencias bibliográficas.

- Arias, M. (1989). Variación morfológica de *Astrophytum ornatum* (DC.) Web. (Cactaceae) en cuatro poblaciones de las zonas áridas queretana hidalguense. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bárceñas, R. T. (2006). Comercio de cactáceas mexicanas y perspectivas para su conservación. *Biodiversitas*, 68(5), 11-15.
- Cepeda-Cornejo, V., & Cuautle-García, L. M. (2021). Los jardines botánicos reservorios de diversidad biológica. *Revista Tonantzin Tlalli de la FCB-BUAP*, 1(1), 26-31.

- Mendoza Madrigal, G. (2007). Propagación in vitro de *Astrophytum ornatum* (De Candolle) Weber (Cactaceae), especie amenazada de extinción. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/270/Astrophytum%20ornatum.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Palma Soto, J. A., Parra Acosta, H., & Orduño Cruz, N. (2022). Análisis del ácido giberélico desde la cartografía conceptual con enfoque bioético y sustentable. *Acta Universitaria*, 32, e3420. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3420>
- Villanueva, R. M., Navarro, M. C., & Eliosa, H. R. (2016). Germinación de tres especies de cactáceas endémicas de México en condiciones asépticas. *Zonas Áridas*, 16(1), 1-16.
- Zepeda, V., Golubov, J., & Mandujano, M. C. Distribución espacial, estructura de tamaños y reproducción de *Astrophytum ornatum* (Cactaceae) Spatial distribution, size structure and reproduction of *Astrophytum ornatum* (Cactaceae)

Atributos florales y atracción de polinizadores en cactáceas mexicanas

Pactli Fernando Ortega González^{1*} y María C. Mandujano¹

¹Laboratorio de Genética y Ecología, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM, CP 04510, Ciudad de México, México.

[*pfog12@ciencias.unam.mx](mailto:pfog12@ciencias.unam.mx)

Resumen

Las flores de las cactáceas presentan una variedad de señales sensoriales que atraen a los polinizadores, y facilitan la reproducción sexual por medio de la formación de frutos y semillas. El presente trabajo evaluó cómo distintos atributos florales influyen en las visitas de polinizadores en dos comunidades del semidesierto queretano. Se monitorearon cactáceas en floración y se registraron diversos parámetros: color floral, sistema sexual, densidad, apertura floral, promedio de flores y la exhibición floral a nivel de especie y comunidad. Además de complementar otros datos como la cantidad de néctar y granos de polen, con ayuda de bibliografía. Los datos se analizaron por medio de modelos lineales generales mixtos. Los principales resultados del GLMM demostraron que la exhibición floral por cactácea contribuye significativamente sobre las visitas de sus polinizadores, mientras que otros como la exhibición floral a nivel de comunidad y el promedio de flores, presentaron efectos negativos. También se observó que las flores de color naranja recibieron mayor cantidad de visitas que las rosas o amarillas. Estos hallazgos resaltan la importancia de abarcar la complejidad floral en el estudio de la atracción de polinizadores para contribuir en estrategias de conservación de cactáceas y sus polinizadores en ecosistemas semiáridos.

Palabras clave: atrayentes, abejas, Cactaceae, exhibición floral, recompensas

Abstract

The flowers of cacti exhibit a variety of sensory signals that attract pollinators and facilitate sexual reproduction through the formation of fruits and seeds. The present study evaluated how different floral attributes influence pollinator visits in two communities of the Querétaro semidesert. Flowering cacti were monitored, and various parameters were recorded, including floral color, sexual system, density, floral opening, average number of flowers, and floral display at both species and community levels. Additional data such as nectar and pollen grain quantity were obtained from bibliographic sources. The data were analyzed using generalized linear mixed models (GLMMs). The GLMM results showed that the floral display per cactus significantly contributed to pollinator visitation, while other factors such as community-level floral display and average number of flowers had negative effects. It was also observed that orange flowers received more visits than pink or yellow ones. These findings highlight the importance of considering floral complexity in the study of pollinator attraction, contributing to conservation strategies for cacti and their pollinators in semiarid ecosystems.

Key words: attractants, bees, Cactaceae, floral display, rewards

Importancia para la conservación

Los principales resultados de esta investigación resaltan la importancia de incluir la complejidad de rasgos florales en estudios de polinización, sobre todo en especies amenazadas como las cactáceas.

Además, esto podría orientar y complementar las estrategias de conservación, tanto de las cactáceas como sus polinizadores nativos, los cuales participan en redes de interacción en ecosistemas semiáridos.

Introducción

La flor es la estructura reproductiva de las angiospermas, cuya función principal es facilitar la reproducción sexual por medio de la producción de polen y óvulos, la atracción de los polinizadores y la formación de frutos y semillas (Barrett & Harder, 2017). Por lo que involucra una variedad de señales sensoriales que atraen la atención de los polinizadores y promueven su aprendizaje asociativo (Leonard *et al.*, 2011). Ejemplo de estas señales pueden ser el néctar, polen, color, tamaño floral, número de flores producidas y exhibición floral (Willmer 2011).

Por otro lado, las cactáceas son una familia de plantas suculentas con altos porcentajes de endemismo en México, que residen principalmente en ecosistemas áridos y semiáridos (Granados-Sánchez *et al.*, 2011). Estas plantas producen flores grandes, coloridas, llamativas y generalmente hermafroditas, que tienden a la entrecruza y dependen de la polinización biótica para realizar su reproducción sexual (Mandujano *et al.*, 2010). Debido a lo anterior, las cactáceas son especies ideales para investigar cómo los diferentes rasgos florales influyen en la atracción de sus polinizadores en campo. Por lo tanto, el presente trabajo se enfocó en monitorear y analizar la interacción entre cactus y polinizadores en dos sitios del semidesierto queretano en diferentes temporadas de floración.

Métodos

Los dos sitios de estudio establecidos fueron el área silvestre del Jardín Regional Botánico de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” (Cadereyta de Montes), y la localidad Agua del Ángel (Peñamiller). Las localidades tienen vegetación correspondiente al matorral desértico crassicaule y

micrófilo, respectivamente, y están ubicadas en el Semidesierto Queretano.

Se realizaron salidas de campo mensuales desde marzo 2023 hasta abril 2025, donde en cada localidad se estableció un intervalo de trabajo de 0900 hasta las 1700 h y se delimitaron diversos transectos de cinturón de 20 m de largo, que abarcaron las cactáceas en floración como puntos de observación. Cada planta se monitoreó durante 20 minutos y se cuantificaron diferentes parámetros: número de visitas de polinizadores por flor, apertura floral, color floral, sistema sexual, densidad de individuos por especie de cactácea, número promedio de flores por individuo, exhibición floral (densidad de cactáceas por m² x número promedio de flores x área de transecto en m²) a nivel de especie y comunidad. El muestreo se complementó con una búsqueda bibliográfica para estimar la cantidad de néctar y el número de granos de polen por especie de cactácea.

Para evaluar el efecto de distintos atributos florales sobre la frecuencia de visitas de polinizadores, los datos obtenidos se analizaron por medio de la elaboración de modelos lineales generales mixtos (GLMMs) de tipo Poisson. Todas las variables numéricas fueron estandarizadas (Z-score) para facilitar la comparación de efectos, y se corroboró que el GLMM de interés no presentó problemas de multicolinealidad ni sobredispersión. Todo el análisis estadístico se realizó con el software R versión 4.3.2.

Resultados

El GLMM (Figura 1) demostró que la exhibición floral por especie de cactácea tuvo un efecto positivo significativo sobre la frecuencia de visitas ($\beta = 0.28 \pm 0.0205$, $p < 0.001$), lo que sugiere que mayores densidades de flores por especie de cactácea

incrementan la atracción de sus polinizadores, que en su mayoría son abejas solitarias.

En contraste, la exhibición floral a nivel comunidad ($\beta = -0.33 \pm 0.02$, $p < 0.001$) y el promedio de flores ($\beta = -0.17 \pm 0.04$, $p < 0.001$) presentaron efectos negativos significativos, lo que podría indicar un efecto perjudicial para sus polinizadores. Por ejemplo, que una mayor densidad de flores diferentes realmente no incentiva las visitas o sus polinizadores compiten más por los recursos florales. Como complemento, las flores de cactáceas de color naranja, como *Opuntia tomentosa*, recibieron mayor cantidad de visitas por polinizadores a comparación de las cactáceas con flores rosas y amarillas como *Mammillaria parkisonii* y *Ferocactus echidne*, respectivamente.

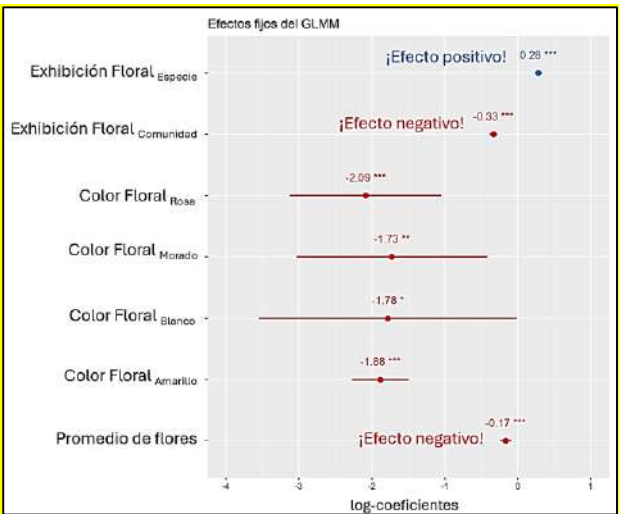


Figura 1. Gráfica de efectos fijos del GLMM que muestran los efectos significativos de distintos atributos florales de cactáceas en la atracción de sus polinizadores.

Discusión

Las cactáceas exhiben varios atrayentes florales al mismo tiempo, para facilitar la polinización. Por consiguiente, se debe considerar que las flores son manifestaciones multisensoriales empleadas por las plantas para influir en las visitas y comportamiento de sus polinizadores (Leonard *et al.*, 2011).

Pocos experimentos abordan directamente la función de la complejidad de los atrayentes florales, y a su vez se han enfocado directamente en estudiar

el efecto de cada atrayente por separado (Leonard *et al.*, 2011). Además, el presente trabajo demostró que distintos atributos florales pueden favorecer o perjudicar la atracción de sus polinizadores, como fue el caso de la exhibición floral por especie de cactácea, o sus contrapartes de exhibición floral a nivel comunidad y el promedio de flores. Por ejemplo, grandes exhibiciones florales de *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) promueven la entrecruza través de una mayor atracción de polinizadores (Luo *et al.*, 2009). En cambio, una menor exhibición floral favorece las visitas de los polinizadores y mantiene el polimorfismo floral en orquídeas como *Dactylorhiza sambucina* (Gigord *et al.*, 2001).

Es crucial tener avances en el entendimiento de la complejidad floral de las cactáceas en la atracción de sus polinizadores en el semidesierto queretano, donde participan varias especies interactuantes que son nativas del país, como las cactáceas *Echinocereus cinerascens* y *Strombocactus disciformis*, y las abejas solitarias *Diadasia rinconis* y *Macrotera sinaloana*. Por lo tanto, se espera que la información recabada sea esencial para entender las estrategias reproductivas de las cactáceas endémicas mexicanas y orientar sus estrategias de conservación.

Conclusiones

Distintos atributos florales de las cactáceas del semidesierto queretano desempeñan un papel clave en la atracción de sus polinizadores nativos. En específico, la exhibición floral de cada especie de cactácea contribuyó significativamente en la frecuencia de visitas, mientras que otros atributos como la densidad floral a nivel comunidad y el promedio de flores mostraron efectos negativos, lo que sugiere que la competencia por polinizadores influye negativamente en la atracción de estos.

Agradecimientos

Los autores agradecemos al financiamiento del estudio al CONAHCyT en el proyecto CBF 2023-2024-1203, presupuesto operativo del Instituto de Ecología, UNAM, y al proyecto UNAM DGAPA-

PAPIIT <<IN217324>> asignados a María del Carmen Mandujano. Agradecemos al Jardín Botánico Regional de Cadereyta, CONCYTEQ, por el apoyo y facilidades otorgadas para realizar esta investigación. A Mariana Rojas-Aréchiga por apoyo en la logística de las salidas y trámites para el permiso de colecta científica.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=3232s>

Referencias bibliográficas

- Barrett, S. & Harder, L. (2017). The ecology of mating and its evolutionary consequences in seed plants. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*: 48(1), 135-157.
- Gigord, L.D., Macnair, M.R., Smithson, A. (2001). Negative frequency-dependent selection maintains a dramatic flower color polymorphism in the rewardless orchid *Dactylorhiza sambucina* (L.) Soo. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(11): 6253-6255.
- Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados Victorino, R., Borja de la Rosa, A. (2011). Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17: 111-130.
- Leonard, A., Dornhaus, A., Papaj, D. (2011). Forget-me-not: Complex floral displays, inter-signal interactions, and pollinator cognition. *Current Zoology*, 57(2): 215-224.
- Luo, C.W., Li, K., Chen, Y., Sun, Y.Y. (2007). Floral display and breeding system of *Jatropha curcas* L. *Forestry Studies in China*, 9(2): 114-119.
- Mandujano, M., Carrillo-Angeles, I., Martínez-Peralta, C., Golubov, J. (2010). *Reproductive Biology of Cactaceae*. Desert Plants, 197-230.
- Willmer, P. (2011). *Pollination and Floral Ecology*. Princeton University Press.

Notas sobre la población y nodricismo de *Turbinicarpus alonsoi* Glass & S.Arias

Jorge Emmanuel Benítez Robles^{1*}, Patricia Herrera-Paniagua¹ y Enrique Ortiz Bermúdez²

¹ Laboratorio de Botánica, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias S/N, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230. Querétaro, México.

² Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-233. C.P. 04510, CDMX, México.

*jbenitez05@alumnos.uaq.mx

Resumen

Turbinicarpus alonsoi es un cactus microendémico del noreste de Guanajuato, México, catalogado como En Peligro Crítico (CR) por la IUCN. En este estudio se analiza la estructura poblacional y las asociaciones vegetales de esta especie en el municipio de Xichú, Guanajuato. Se hizo un muestreo no invasivo entre octubre de 2024 y enero de 2025, en cuatro sitios. Se utilizaron conteos directos y registros fotográficos georreferenciados, y los individuos se clasificaron como juveniles o adultos según sus características morfológicas. También se documentaron las plantas asociadas a la especie. Se registraron 2775 individuos, de los cuales el 99.24 % eran adultos y solo el 0.76 % juveniles, lo que sugiere una estructura poblacional regresiva y una regeneración natural limitada. Se encontró que el 36.2 % de los individuos está asociado a otras plantas, principalmente *Selaginella* (86.56 %). Se observaron costras microbianas de forma consistente en el microhábitat. Estos resultados sugieren un declive poblacional y resaltan la necesidad urgente de estrategias de conservación *in situ* y *ex situ* y de más estudios sobre las interacciones ecológicas de la especie.

Palabras clave: *Turbinicarpus alonsoi*, *Selaginella*, estructura poblacional, planta nodriza, conservación

Abstract

Turbinicarpus alonsoi is a microendemic cactus from northeastern Guanajuato, Mexico, classified as Critically Endangered (CR) by the IUCN. In this study, we analyzed the population structure and plant associations of this species in the municipality of Xichú, Guanajuato. A non-invasive survey was conducted between October 2024 and January 2025 at four sites. Direct counts and georeferenced photographic records were used, and individuals were classified as juveniles or adults based on their morphological characteristics. Associated plant species were also documented. A total of 2,775 individuals were recorded, of which 99.24% were adults and only 0.76% were juveniles, suggesting a declining population structure and limited natural regeneration. 36.2% of individuals were found to be associated with other plants, mainly *Selaginella* (86.56%). Microbial crusts were consistently observed in the microhabitat. These results suggest a population decline and highlight the urgent need for both *in situ* and *ex situ* conservation strategies, as well as further studies on the ecological interactions of the species.

Key words: *Turbinicarpus alonsoi*, *Selaginella*, population structure, nurse plant, conservation

Importancia para la conservación

El presente trabajo aporta información clave sobre la estructura poblacional y los requerimientos ecológicos de *Turbinocactus alonsoi*. Se muestra la dominancia de individuos adultos y asociaciones con otras plantas, lo que refuerza la necesidad de estrategias de conservación *in situ* y *ex situ* de la especie. Los resultados son clave para preservar la biodiversidad vegetal en zonas áridas de México.

Introducción

México destaca como el país con mayor diversidad de cactáceas, tanto en número de especies como en niveles de endemismo. Esta elevada diversidad se atribuye a su compleja ubicación geográfica, condiciones climáticas variables y topografía accidentada, lo que ha favorecido altos índices endemismo genérico (73 %) y específico (78 %). El endemismo genérico se refiere a géneros exclusivos de una región geográfica, mientras que el específico a especies que sólo habitan en una zona determinada (Donati *et al.*, 2017).

Un ejemplo notable de endemismo específico dentro de las cactáceas mexicanas es el de las especies del género *Turbinicarpus*, conformado en su mayoría por especies pequeñas, globosas, con tubérculos y espinación variable, a menudo con adaptaciones miméticas que les permiten confundirse con su entorno (Mosco, 2009). Estas plantas suelen medir entre 2 y 10 cm de diámetro y de 2 a 12 cm de altura. Presentan un tallo globular deprimido y una raíz principal profunda. Se distinguen por sus flores apicales con ovario desnudo y frutos dehiscentes, además de una marcada variabilidad morfológica entre especies (Donati *et al.*, 2017).

La conservación de las especies del género *Turbinicarpus* conlleva múltiples desafíos, por su lento crecimiento y limitada capacidad de reclutamiento. Esto se debe en gran parte a su baja producción de semillas y a su escasa tasa de germinación, que en algunas especies no supera el 8 % (De la Rosa Carrillo *et al.*, 2012). Además, estas cactáceas son apreciadas por su belleza, flores y talla reducida, lo que fomenta la colecta ilegal que afecta sus poblaciones silvestres (Donati *et al.*, 2017).

Entre las especies de este género, *Turbinicarpus alonsoi* resalta por ser microendémica del estado de Guanajuato, México, y categorizada como En Peligro Crítico (IUCN, 2023). Esta cactácea se reconoce por sus tubérculos triangulares, de 3 a 5 espinas de hasta 2 cm de largo, y flores con tépalos internos magenta (Arias & Aquino, 2019). Su distribución está restringida a un área menor a 10 km² en las cercanías del municipio de Xichú, Guanajuato, aproximadamente a 1,900 m snm. Habita en matorrales semidesérticos, sobre laderas rocosas y calizas de alta pendiente (IUCN, 2023). Pocos son los estudios que existen de *T. alonsoi*, de manera que solo se conoce su descripción y aspectos de su germinación (Flores, Jurado y Arredondo, 2006). El objetivo de este trabajo es contribuir con algunos datos sobre su demografía y señalar su interacción con plantas potencialmente nodrizas.

Métodos

El estudio se hizo en el municipio de Xichú, Guanajuato, en localidades con una altitud de entre 893 y 2,400 m snm. El clima de la región es semiseco, con temperaturas anuales promedio entre 14 y 24 °C y precipitaciones acumuladas de 500 a 900 mm; predominan los suelos calizos, los cuales influyen en la vegetación (INEGI, 2010) (Figura 1).

Se recopilaron registros de *T. alonsoi* mediante bases de datos internacionales como GBIF y Tropicos, y nacionales como CONABIO, SEMARNAT, SNIB MX, UNAM e iNaturalist MX. Con base en esta información, se identificaron localidades con presencia histórica y actual de la especie.

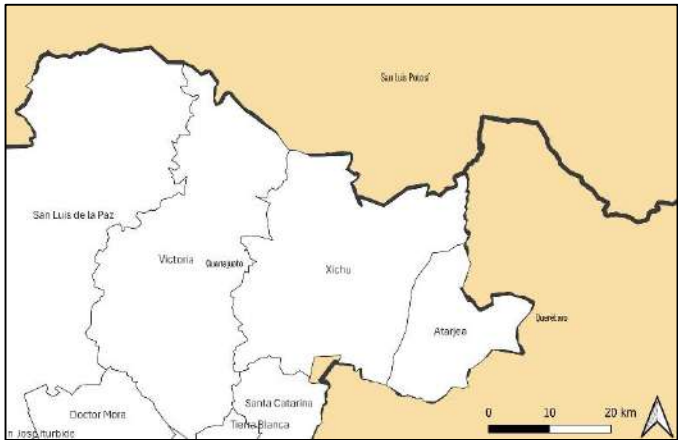


Figura 1. Municipio de Xichú Gto.

El trabajo de campo se hizo entre octubre de 2024 y enero de 2025. Se identificaron cuatro sitios geográficos como unidades independientes para el análisis poblacional.

Los sitios de estudio se caracterizan por su difícil grado de accesibilidad por lo que la estimación de individuos se realizó mediante conteo directo en campo, cuando era posible su alcance, y a través de tomas fotográficas, llevando un registro de coordenadas geográficas de acuerdo a Prasetiyo *et al.* (2021). Durante el conteo, los ejemplares se clasificaron como juveniles o adultos con base en características morfológicas visibles (Figura 2) como la forma de las espinas, los tubérculos y la presencia de botones de acuerdo con Arias y Aquino (2019) y Mosco (2009). También se registraron las especies vegetales asociadas al entorno de *T. alonsoi*. El gráfico de las categorías poblaciones (Figura 3) se generó con el programa R vers. 4.5.0 (R Core Team).

Resultados

Se censaron un total de 2,775 individuos de *T. alonsoi* en los cuatro sitios de muestreo. Cada unidad de muestreo abarcó un área de aproximadamente 2 km². Cabe destacar que debido al difícil acceso del terreno y al método de estudio, solo fue posible identificar dos etapas de desarrollo: juvenil y adulto. Del total, el 99.24% se clasificaron como adultos y únicamente el 0.76% como

juveniles. El Sitio 1 concentró la mayor cantidad de individuos (1349) mientras que la menor cantidad se registró en el Sitio 2 (75) (Figura 3).



Figura 2. Individuo a) adulto y b) juvenil de *T. alonsoi* observándose su diferenciación morfológica.

Se observó que el 63.8% de los individuos censados de *T. alonsoi* no presentaron asociación con estrato herbáceo o arbustivo y solo el 36.2% sí lo mostraron. De los individuos de la cactácea de estudio asociados a una planta, el 86.56% se presentaron relacionados con *Selaginella*. Otras especies acompañantes registradas en menor frecuencia fueron *Agave* sp., *Bursera* sp., *Hechtia* sp. y otras especies de cactáceas (Tabla 1).

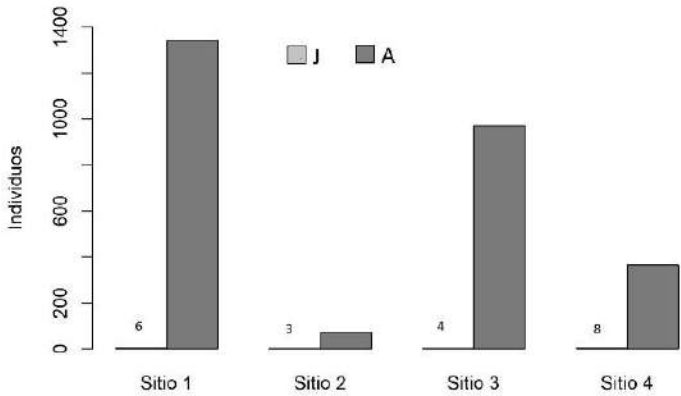


Figura 3. Número de individuos juveniles (J) y adultos (A) de *Turbinicarpus alonsoi*. registrados en cuatro sitios de muestreo en el municipio de Xichú, Guanajuato.

Tabla 1. Especies asociadas a *Turbinicarpus alonsoi* en los cuatro sitios de muestreo en el municipio de Xichú, Guanajuato.

Sitio	Plantas asociadas	No de Individuos de <i>T. alonsoi</i>
1	<i>Selaginella</i>	695
	<i>Agave</i>	1
	<i>Bursera</i>	1
	<i>Hechtia</i>	1
	<i>Cactus</i>	1
2	<i>Selaginella</i>	8
3	<i>Selaginella</i>	181
4	<i>Selaginella</i>	121
	<i>Agave</i>	1

Discusión

El hábitat característico de *T. alonsoi* en el municipio de Xichú, Guanajuato se conforma de laderas y acantilados, lo cual limita estudiar su distribución y demografía; pero la técnica de fotografía y registro de coordenadas permitió estimar datos sobre su población. Los resultados obtenidos evidencian que las poblaciones de *T. alonsoi*, presentan una estructura poblacional regresiva, caracterizada por un alto número de individuos adultos, y una baja proporción de juveniles. (Castañeda-Romero *et al.*, 2016). Este patrón es común en cactáceas de crecimiento lento y regeneración limitada, lo cual ha sido documentado también en otras especies como *Echinocactus platyacanthus* (e.g. Castañeda-Romero *et al.*, 2016). Esta tendencia puede estar relacionada con una germinación limitada, pérdida de viabilidad de semillas o condiciones ambientales poco favorables para el reclutamiento y la colecta ilegal de la especie (Castañeda-Romero *et al.*, 2016; De la Rosa Carrillo *et al.*, 2012).

La mayoría de los individuos de *T. alonsoi* no mostraron asociación con ninguna planta, pero se observó que a su alrededor tenían biopelículas o costras microbianas, lo que podría estar facilitando su anclaje, persistencia en pendientes tan pronunciadas y largos periodos de sequía, como se ha reportado en otras especies del género, como *T. nieblae*, (Martínez-Ávalos *et al.*, 2011). En cuando a las especies asociadas se reveló la importancia que tienen las plantas herbáceas como *Selaginella*, lo

cual no había sido reportado para el género *Turbinicarpus* (Donati *et al.*, 2017). Es importante considerar las características físicas de las laderas en estudios posteriores relacionados con el establecimiento de plántulas de *T. alonsoi*.

Conclusiones

Los datos poblacionales y de asociaciones presentados en este trabajo representan una contribución al conocimiento biológico y ecológico de la especie microendémica *T. alonsoi*. Esta especie requiere acciones de conservación debido a la alta proporción de individuos adultos y la notable escasez de juveniles registrados. No se descarta que la colecta ilegal y las condiciones ambientales influyen en su estructura poblacional. La continuidad de estudios demográficos e interacciones cactácea-planta-biocostra es necesaria para entender la sobrevivencia y conservación de *T. alonsoi*.

La información generada en este trabajo constituye un insumo valioso para futuras evaluaciones del estado de conservación de la especie, así como para el diseño de estrategias de manejo y conservación, tanto *in situ* como *ex situ*.

Agradecimientos

Todos los autores les agradecen a los ejidatarios del municipio de Xichú, Guanajuato, que permitieron hacer el presente estudio. El primer autor agradece a sus padres por el apoyo económico para hacer el estudio.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=4169s>

Referencias bibliográficas

- Arias, S. & Aquino, D. (2019). *Familia Cactaceae I*. En J. Rzedowski & P. Hernández Ledesma (Eds.), *Flora del Bajío y de regiones adyacentes* (Fascículo 209, pp. 1–280). Instituto de Ecología A.C.
<https://libros.inecol.mx/index.php/FB/catalog/book/2019.209>
 Castañeda-Romero, M., Luna-Contreras, M., Vela-Godínez, D., Montoya-Santiago, G., González-Bermúdez, A., Martínez-Peña, R., Esperón-Rodríguez, M. (2016). Nota sobre la

- estructura poblacional de *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) en la Reserva de la Biósfera "Barranca de Metztitlán", Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*, 115: 65–73.
- De la Rosa-Carrillo, M. L., Domínguez-Rosales, M. S., Pérez-Reyes, M. E., Pérez-Molphe-Balch, E. (2012). Cultivo y propagación *in vitro* de cactáceas amenazadas del género *Turbinicarpus*. *Interciencia*, 37(2): 114–120. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33922717006.pdf>
- Donati, D., Bianchi, C., Pezzi, G., Conte, L., Hofer, A., Chiarucci, A. (2017). Biogeography and ecology of the genus *Turbinicarpus* (Cactaceae): Environmental controls of taxa richness and morphology. *Systematics and Biodiversity*, 15(4): 361–371. <https://doi.org/10.1080/14772000.2016.1251504>
- Flores, J., Jurado, E., & Arredondo, A. (2006). *Effect of light on germination of seeds of Cactaceae from the Chihuahuan Desert, Mexico*. *Seed Science Research*, 16(2): 149–155. <https://doi.org/10.1079/SSR2006242>
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010: Xichú, Guanajuato* (p. 2). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/11/11045.pdf
- IUCN. (2013). *IUCN Red List of Threatened Species: Turbinicarpus alonsoi*. <https://www.iucnredlist.org/es/search?query=Turbinicarpus%20alonsoi&searchType=species>
- Martínez-Ávalos, J.G., Martínez Gallegos, R., & Bergmann Backer, K. (2011). Nota sobre la descripción taxonómica de *Turbinicarpus nieblae* (Cactaceae), una especie endémica de Tamaulipas, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 57(1): 16–24.
- Mosco, A. (2009). Micromorfología y anatomía de las espinas de *Turbinicarpus* (Cactaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(1): 119–128. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2009.001.589>
- Prasetyo, B., Alamsyah, A., Muslim, M. A., Subhan, S., & Baroroh, N. (2021). Automatic geotagging using GPS EXIF metadata of smartphone digital photos in tree planting location mapping. *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(4): 042001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/4/042001>

Flujo de polen de *Thelocactus leucacanthus ssp. schmollii*

Tania Abarca Chagala^{1*} y María C. Mandujano^{2**}

¹ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

² Laboratorio de Genética y Ecología, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM, CP 04510, Ciudad de México, México.

*tabarca@ecologia.unam.mx

**mcmandujano@iecologia.unam.mx

Resumen

Un proceso muy importante para obtener un intercambio genético entre individuos de las poblaciones de cactáceas es el flujo de polen. En *Thelocactus leucacanthus ssp. schmollii* los insectos son los facilitadores de este intercambio. El objetivo de este trabajo es identificar las distancias a las cuales viaja el polen de una población de *Thelocactus leucacanthus ssp. schmollii* y su efecto en el éxito reproductivo de la especie. El sitio de estudio se localiza en Agua del Ángel, Peñamiller, Querétaro. Se seleccionará una planta focal y se pintará el polen de cada una de las flores con colorantes vegetales. A partir de esta planta focal se construirá un mapa, registrando la orientación angular y la distancia de los individuos ubicados dentro del vecindario en una parcela circular de 30 m de diámetro, respecto de la planta focal. Por la tarde, se realizarán recorridos de exploración en las parcelas circulares de la planta focal, todas las flores de ese vecindario se colectarán y etiquetarán para ser revisadas en el laboratorio. Para la fenología, mensualmente se tomarán datos de botones, flores y frutos. Los primeros datos coinciden con resultados de previas investigaciones donde la dominancia de frutos coincide con la estacionalidad reproductiva reportada.

Palabras clave: flujo de polen, colorantes, microendémico, cactáceas, fenología

Abstract

Genetic exchange within plant populations, particularly in cacti, is greatly influenced by pollen flow. In *Thelocactus leucacanthus ssp. schmollii*, insects act as the facilitators of this exchange. This study aims to identify the distances over which pollen travels from a *Thelocactus leucacanthus ssp. schmollii* population and its effect on the reproductive success of the species. The study site is located in Agua del Ángel, Peñamiller, Querétaro. A focal plant will be selected, and pollen from each of its flowers will be marked with plant-based dyes. From this focal plant, a map will be constructed, recording the angular orientation and distance of individuals from the focal plant within a circular plot of 30 m. In the afternoon, exploratory surveys will be conducted in the circular plot around the focal plant, and all flowers from that vicinity will be collected and tagged for laboratory analysis. For phenological monitoring, monthly data on buds, flowers, and fruits will be collected. The initial data align with results from previous investigations in which the dominance of fruits coincides with reported reproductive seasonality.

Key words: pollen flow, dyes, microendemic, Cactaceae, phenology

Importancia para la conservación

El estudio del flujo de polen en una población de *T. leucacanthus* ssp. *schmollii* nos brindará información relevante para conocer el éxito reproductivo y la conservación de esta especie, permitiendo visualizar factores de riesgo.

Introducción

La riqueza de las angiospermas se estima en más de 250,000 especies en México dominando los ecosistemas terrestres (Villaseñor, 2014). Este éxito se puede atribuir a varios factores, como la presencia de las células totipotenciales, que permiten la reproducción asexual, y un ciclo de vida con alternancia de generaciones que permite la reproducción sexual, teniendo a la flor como su unidad funcional básica (Richards 1986, Barrett 2003).

A pesar de que las plantas son organismos sésiles, presentan una gran capacidad de movimiento en algunas fases de su ciclo de vida como gametofitos (polen) y como embriones (en las semillas). En especial, los mecanismos de dispersión del polen a media y larga distancia influyen directamente en los niveles de flujo génico. Por ejemplo, la calidad de este flujo génico está determinada por el número de fuentes de donde provienen los genes, así como la diversidad genética y diferenciación respecto a la población receptora (Nora *et al.*, 2011).

Por otro lado, la cantidad de polen que transporta un vector biótico depende de su tamaño y del grado de contacto que haya tenido con las partes reproductivas de la flor, e incide sobre el número de óvulos fecundados. A largo plazo, una mayor carga de polen puede tener un efecto positivo, pues favorece la competencia gametofítica y esto podría resultar en una progenie más vigorosa (Guariata 2002).

Estudios recientes indican que *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii* presenta un sistema de cruce mixto con una ligera tendencia a la autocruza (García-Becerril, 2020). Esta especie posee flores de color magenta con antesis diurna y con forma de plataforma, néctar secretado en el fondo de la corola y grandes cantidades de polen. Estos atributos

favorecen que las abejas sean los principales polinizadores de la especie de estudio, como *Lasioglossum* sp. (*Dialictus*) (García-Becerril, 2020; Delgado-Ramírez, 2021).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es identificar las distancias a las cuales viaja el polen de una población de *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii* y evaluar su efecto en el éxito reproductivo de la especie.

Métodos

La especie de estudio es *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii* (Werderm.) Mosco & Zanovello (Figura 1). Son plantas que comúnmente forman grupos, con tallos globosos a cilíndricos cortos, de color verde amarillento; sus flores son de color magenta que crecen en la parte apical y produce frutos verdes. Esta es una especie microendémica del estado de Querétaro, México (Anderson 2001).



Figura 1. Individuo de *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii*.

El sitio de estudio se localiza en Agua del Ángel, un ejido que se ubica en el municipio de Peñamiller, Querétaro. El tipo de vegetación predominante es el matorral xerófilo.

Para registrar el movimiento del polen se seleccionará una planta focal por la mañana (10 h) y se marcará el polen de cada una de sus flores con colorantes vegetales. A partir de esta planta focal, se establecerá un vecindario delimitando una parcela de 30 m de diámetro. Dentro de esta se mapearán todos los individuos de *T. leucacanthus* ssp. *schmollii*, registrando su orientación angular y la distancia respecto a la planta.

Durante la tarde, previo al cierre de flores, se realizarán recorridos de exploración dentro de las parcelas. Todas las flores del vecindario de ese día se colectarán y etiquetarán para ser revisadas en el laboratorio y detectar el polen teñido con un microscopio estereoscópico bajo luz blanca para buscar colorantes. Este procedimiento permite identificar la dirección y a qué distancia viajó el polen a través de los polinizadores.

Así mismo, se tomarán datos de observaciones mensuales del estado fenológico de los individuos, donde se anotará la presencia de botones, flores y frutos para distinguir las temporadas reproductivas a lo largo del año.

Resultados

Hasta el momento, el muestreo de la fenología en la población de *T. leucacanthus* ssp. *schmollii* durante el mes de julio de 2025, mostró que la etapa predominante de las estructuras reproductivas fue la de fruto, con un promedio cercano a 1.5 por planta; en contraste con las de botón y flor, que mostraron una frecuencia similar y menor que la de fruto (Figura 2).

Discusión

Los resultados preliminares nos sugieren que, durante el mes de julio, la mayoría de sus individuos ya habían superado las etapas de floración. En estudios previos se registra que uno de los dos picos de floración que presenta en el año ocurre en el mes de junio (García-Becerril, 2020), lo que es consistente con nuestros resultados. Se espera que entre las temporadas de floración exista un cambio

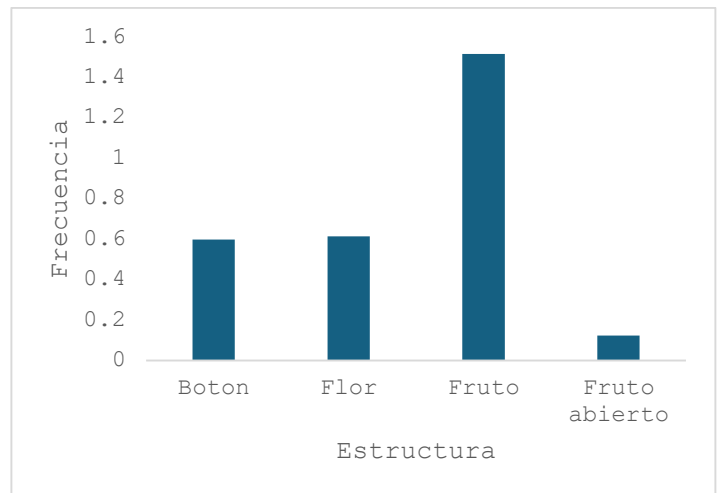


Figura 2. Fenología reproductiva de una población de *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii* en la localidad Agua del Ángel, Peñamiller, Qro., México (N=122 individuos). (Julio de 2025).

en los visitantes florales y el flujo de polen, teniendo influencia en el éxito reproductivo de la planta.

En trabajos con especies del género *Opuntia*, se ha determinado que el flujo de polen puede verse afectado por atributos intraespecíficos de las plantas como el número de flores abiertas y diferencias morfológicas de las diversas especies que florecen en un mismo tiempo (Martínez-Ramos, 2016). Aún el campo de los rasgos florales es poco explorado por lo que no se conoce como estos rasgos afectan el flujo del polen a nivel poblacional.

Conclusiones

La fenología reproductiva de *T. leucacanthus* ssp. *schmollii* en Agua del Ángel, Querétaro, durante julio de 2025, muestra una dominancia en la fase de fructificación. Esta observación coincide con los estudios de García-Becerril (2020) y Delgado-Ramírez (2021) con respecto a los picos de floración. La confirmación de este patrón fenológico es crucial, nos proporciona mayor robustez y validez a la descripción del ciclo reproductivo de la especie. Esta información nos permite la apertura del estudio de la eficiencia de los polinizadores y la tasa de transferencia de polen para determinar si existe un flujo limitado o robusto, esencial para el diseño de estrategias de conservación y manejo para esta especie del semidesierto queretano.

Agradecimientos

Tania Abarca Chagala agradece el financiamiento a cargo de presupuesto institucional y proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <CBF2023-2024-1303> y SECITHI-CONAHCyT en el proyecto CBF 2023-2024-130 a MC Mandujano. Agradecemos a la Dra. Mariana Rojas Aréchiga por el apoyo brindado para las salidas de campo.

Presentación de cartel disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=5179s>

Referencias bibliográficas

- Anderson, E. (2001). The Cactus family. Timber Press. EUA, Oregon. 776 pp.
- Barrett Spencer C. H. (2003) Mating strategies in flowering plants: the outcrossing–selfing paradigm and beyond. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 358: 991–1004.
- Delgado-Ramírez, V., Camacho-Velázquez, A., Vázquez-Santana, S. (2021). Biología reproductiva de *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii* (Cactaceae), un cactus microendémico de Querétaro, México. *Botanical Sciences*, 99(4): 791-806. Epub 18 de octubre de 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.17129/botsci.2798> (Consulta efectuada el 15 de agosto del 2025)
- García Becerril, L. G. (2020). Biología floral de *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii* (Werderm.) Mosco & Zanovello (Cactaceae) en una localidad del semidesierto queretano, México [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guariata, M. R. (2002). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Costa Rica: LUR
- Martínez Ramos, L. M. (2016). Flujo de polen de *Opuntia tomentosa* Salm-Dick en Cadereyta de Montes, Querétaro, México [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nora, S., Albaladejo, R., González Martínez, S., Robledo-Arnuncio, J., Aparicio, A. (2011). Movimiento de genes (polen y semillas) en poblaciones fragmentadas de plantas. *Ecosistemas*, 20(2-3). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/21>
- Richards, A. J. (1986). *Plant Breeding Systems*. Londres: Chapman & Hall
- Villaseñor, J. L., & Ortiz, E. (2013). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 85. <https://doi.org/10.7550/rmb.31987>

Aspectos poblacionales y etnobotánicos de *Mammillaria mathildae* en una nueva localidad queretana

Juan Pablo Ortega-Fajardo^{1*} y Patricia Herrera-Paniagua²

¹ Jardín Botánico FCN-UAQ, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias S/N, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230. Querétaro, México.

² Laboratorio de Botánica, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias S/N, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230. Querétaro, México.

* juan.ortega@uaq.mx

Resumen

Mammillaria mathildae es una especie de cactácea descrita únicamente en nueve localidades, la mayoría de ellas sujetas a una intensa modificación de hábitat y al saqueo de individuos. Este trabajo describe aspectos poblacionales-demográficos y etnobotánicos de una nueva población de *M. mathildae* ubicada en el municipio queretano de Pedro Escobedo. Los ejemplares de dicha población fueron contabilizados, medidos (diámetro) y categorizados en 10 grupos de tamaño. El patrón de distribución se calculó con el índice de agregación de Clark y Evans, mientras que se entrevistó a 15 personas de las comunidades cercanas para conocer los nombres comunes y usos asociados a la especie. La localidad está compuesta por 336 individuos, con una densidad poblacional de 0.0168 plantas/m² y un patrón de distribución espacial agregado característico de cactáceas con nodricismo. La estructura de tamaños se compone de 27.38% plántulas, 44.35% plantas juveniles y 28.27% plantas adultas. En cuanto a la etnobotánica, se registraron tres categorías de uso para la especie: comestible, ornamental y medicinal. Se registró por primera vez el uso medicinal para *M. mathildae*.

Palabras clave: biznaga, especie en riesgo, patrón de distribución espacial

Abstract

Mammillaria mathildae is a cactus species described only in nine localities, most of them subject to habitat modification and poaching of individuals. This paper describes the demographic and ethnobotanical aspects of a new population of *M. mathildae* located in the municipality of Pedro Escobedo, Querétaro. Specimens from this population were counted, measured for diameter, and categorized into 10 size groups. The distribution pattern was calculated using the Clark and Evans aggregation index, while 15 people from nearby communities were interviewed to learn the common names and uses associated with this species. The locality is composed of 336 individuals, with a population density of 0.0168 plants/m² and an aggregated spatial distribution pattern characteristic of nurse-dependent cacti. The population structure is composed of 27.38% seedlings, 44.35% juvenile plants, and 28.27% adult plants. Ethnobotanically, three categories of use were recorded for the species: edible, ornamental, and medicinal. Medicinal use was recorded for *M. mathildae* for the first time.

Key words: biznaga, risk species, spatial distribution pattern

Importancia para la conservación

Se registra una nueva población de *Mammillaria mathildae*, una especie enlistada en peligro de extinción (P) por la Norma Oficial NOM-059-SEMARNAT-2010 y conocida únicamente en pocas poblaciones localizadas en áreas cercanas a la Zona Metropolitana de Santiago de Querétaro y en el municipio de León, Guanajuato. Se documentan datos poblacionales y etnobotánicos de esta cactácea.

Introducción

El género *Mammillaria* está compuesto por aproximadamente 170 especies distribuidas desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Sudamérica. Está conformado por cactáceas de tallo globoso, cilíndrico o globoso-deprimido, con tubérculos piramidales, cónicos o gibosos acomodados en forma espiralada. Algunas de las especies de *Mammillaria*, conocidas localmente como biznagas o biznagas de chilitos han sido utilizadas en el Bajío Mexicano como plantas ornamentales y comestibles. Las flores coloridas de estos ejemplares resultan atractivas para los coleccionistas (poniendo a algunas especies en riesgo de extinción por tráfico ilegal), mientras que los frutos, comúnmente denominados chilitos o chilitos de biznaga, se consumen como golosina o se utilizan en la elaboración de mermeladas (Arias & Aquino, 2019).

En el sur del estado de Querétaro se han registrado 17 especies del género *Mammillaria*, de las cuales seis (*M. crinita*, *M. decipiens*, *M. longimamma*, *M. mathildae*, *M. microhelix* y *M. zephyranthoides*) se encuentran dentro de una categoría de riesgo por la NOM-059-SEMARNAT-2010. La especie *M. mathildae* Kraehenb. & Krainz se caracteriza por presentar tubérculos de entre 0.8 y 1 cm de longitud, de 4 a 5 espinas centrales, una uncinada (ganchuda) de color rojo intenso a café-rojizo y de hasta 1 cm de longitud y de 9 a 10 espinas radiales blancas, de hasta 1.4 cm (Arias & Aquino, 2019; Rzedowski & Bedolla-García, 2021).

Mammillaria mathildae ha sido registrada en nueve localidades asociadas a bosques tropicales caducifolios, encinares y matorrales xerófilos: una en el municipio de León, Guanajuato y ocho en el oriente de la Zona Metropolitana de Querétaro, en los municipios de Querétaro, El Marqués, Huimilpan y Corregidora. Comúnmente las

poblaciones de *M. mathildae* presentan pocos individuos, siendo susceptibles a la transformación de hábitat y al saqueo de ejemplares (García, 2009; Gómez-Sánchez, et. al., 2013; Martínez et. al., 2017).

Para el municipio de Pedro Escobedo no se tenían registros de *M. mathildae*, por lo que el objetivo del presente trabajo es proporcionar información sobre algunas características poblacionales y etnobotánicas de esta nueva población.

Métodos

Sitio de estudio. La nueva población documentada de *M. mathildae* se ubica a una altitud estimada de 2100 m snm, en la ladera nororiental de la Sierra de Galindo (Eje Neovolcánico), que corresponde al sur del municipio de Pedro Escobedo. La población se desarrolla en vegetación secundaria de bosque tropical caducifolio sujeta a forrajeo por ganado bovino, con un estrato superior dominado por *Bursera fagaroides*, *Condalia velutina*, *Forestiera phillyreoides*, *Ipomoea murucoides*, *Karwinskia humboldtiana*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia tomentosa*, *Vachellia farnesiana*, *Vachellia schaffneri* y *Zaluzania augusta* y un estrato inferior con *Asclepias linaria*, *Jatropha dioica* y helechos de la familia Pteridaceae.

Patrón de distribución espacial y estructura de tamaños. El muestreo se hizo durante los meses de abril y mayo de 2025. Después de recorridos por la zona, se delimitó un polígono de 2 ha, que abarca el área total de la población de *M. mathildae*. Cada individuo en esta área fue contabilizado, midiendo su diámetro y la distancia al vecino más cercano (VMC). La densidad de organismos por m² se determinó dividiendo el número total de individuos entre el área total de la población, mientras que el

patrón de distribución espacial de la especie se calculó con el Índice de Agregación (R) de Clark y Evans, donde valores cercanos a 0 infieren distribuciones agrupadas, cercanos a 1 distribuciones aleatorias y cercanos a 2.15 distribuciones homogéneas. Para determinar la estructura de tamaños, los diámetros de los individuos se dividieron en 10 categorías, siguiendo trabajos previos realizados con la especie: Plántula I (menos de 0.79 cm), Plántula II (0.8-1.29), Plántula III (1.3-1.79), Juvenil I (1.8-2.29), Juvenil II (2.3-2.79), Juvenil III (2.8-3.29), Adulto I (3.3-3.79), Adulto II (3.8-4.29), Adulto III (4.3-4.79) y Adulto IV (más de 4.79). Los análisis y gráficos se hicieron usando los programas Microsoft Excel y *R* (Clark & Evans, 1954, Hernández-Oria *et. al.*, 2003; García, 2009).

Aspectos etnobotánicos. Usando fotografías de la especie se entrevistó a 15 personas de las comunidades cercanas a la localidad de estudio. La selección de los informantes se hizo por recomendación de las autoridades locales (comisariado ejidal, delegado) considerando que

tuvieran conocimiento histórico sobre las cactáceas de la región. La edad de los informantes oscila entre los 45 y los 82 años. Las entrevistas incluyeron cuatro preguntas sobre los nombres comunes y los usos de esta cactácea: 1) ¿usted reconoce esta planta? 2) ¿cómo se llama o con qué nombre la conoce? 3) ¿presenta un uso en la comunidad? 4) ¿cómo es su forma de uso?

Resultados

Patrón de distribución espacial y estructura de tamaños. La población se compone de 336 individuos, con una densidad poblacional de 0.0168 ind/m². Al tener un valor de R cercano al 0 (0.08), la población presenta un patrón de distribución agregado. En general, la población está conformada por plántulas (27.38%), plantas juveniles (44.35%) y plantas adultas (28.27%) (Figura 1). La categoría más representada fue Juvenil I con 69 ejemplares (Figura 2). El diámetro promedio de los individuos fue de 2.62 cm.



Figura 1. Plantas por categoría de tamaño. a) plántula, b) planta juvenil y c) planta adulta.

Aspectos etnobotánicos. De las 15 personas entrevistadas, 14 reconocieron a la planta como una cactácea presente en la zona y 13 mencionaron una o más categorías de uso. 14 personas indicaron que el nombre común de la especie es *biznaga*, aunque también fue referida por un informante como *biznaga shirga* (pequeña) para diferenciarla de cactáceas de mayor tamaño.

Se registró un uso comestible, ornamental y medicinal para la planta. Los frutos, conocidos localmente como *chilitos*, *botellitas*, *coquitas*, *chiles*, *chilillos* o *tunas*, se consumen como

golosina; mientras que el gineceo (referido como *palito verde*) se separa del resto de la flor y también es consumido. Dos de las personas de mayor edad entrevistadas (de 77 y 75 años) mencionaron que hace 60 años toda la planta era el ingrediente principal en platillos regionales y era adicionada a la masa para tortillas. Como parte de su uso medicinal, la planta se suele calentar en el fuego, para posteriormente molerla y aplicarla de forma tópica sobre golpes. Al ser una planta usada en jardines y macetas, es una especie ornamental.

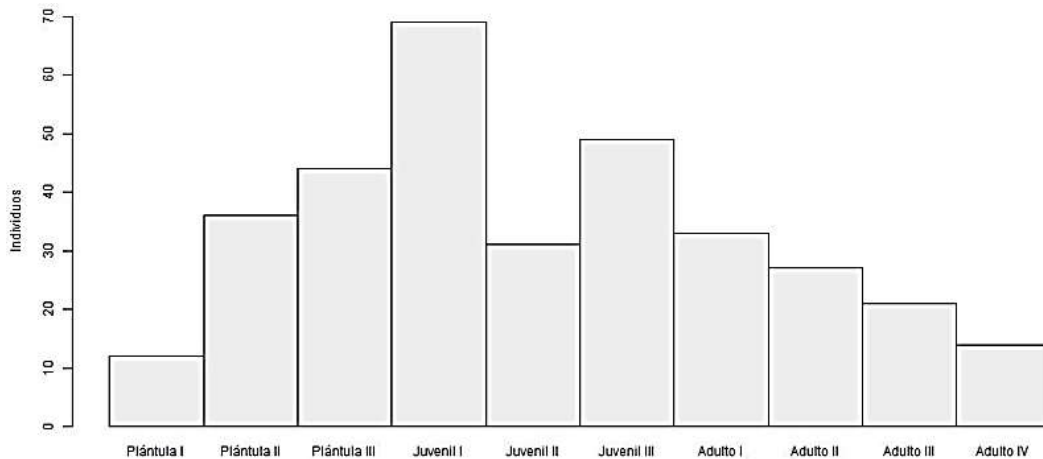


Figura 2. Estructura de tamaños de la población de *Mammillaria mathildae* estudiada.
(Consultar en el texto las tallas por categoría).

Discusión

La baja densidad poblacional de la localidad documentada coincide con lo reportado en otras especies del género como *M. crinita* y *M. uncinata*, lo cual ha sido atribuido principalmente a disturbios de origen humano (Larios Ulloa, 2019). También se muestra que la estructura de la población estudiada coincide con la población descrita en Juriquilla (Hernández-Oria *et. al.*, 2003; García, 2009). Dicha estructura de tamaños, con una baja proporción de plántulas de pequeño tamaño (Plántula I) y de plantas grandes, a menudo es atribuida a bajos índices de reclutamiento y a una recolecta ilegal de individuos, respectivamente. El saqueo continuo de ejemplares fue mencionado por cuatro de los pobladores encuestados. Además, una baja proporción de plántulas en otras poblaciones de *M. mathildae* ha sido atribuida a cambios en los patrones de precipitaciones, pues temporadas con lluvias muy intensas y tardías provocan una baja producción de frutos, disminución en la viabilidad de las semillas y escurrimientos de lodo que arrastran plántulas con raíces débiles, impidiendo su establecimiento (García, 2009; Larios Ulloa, 2019, Zepeda *et. al.*, 2017). La elevada cantidad de juveniles (Juvenil I) puede ser evidencia de eventos recientes de reclutamiento como resultado de años con precipitaciones homogéneas y tempranas, según

datos proporcionados por la CONAGUA hasta el 2021 (CONAGUA, s.f; García, 2009).

El patrón de distribución agregado de la población de *M. mathildae* estudiada coincide con otras especies de cactáceas que presentan nodricismo, como *Astrophytum ornatum* (Zepeda *et. al.*, 2017). El establecimiento de *M. mathildae* depende de plantas nodrizas como *Bursera fagaroides*, que genera bajo su dosel un microclima idóneo para el crecimiento de los individuos (Hernández-Oria *et. al.*, 2003; García, 2009). Especies arbóreas como *B. fagaroides* y otras, son comunes en la localidad estudiada, con lo que se podría desarrollar un trabajo enfocado a las relaciones de nodricismo de *M. mathildae*.

El uso ornamental y comestible documentado en este trabajo ya había sido descrito para la especie y para el género en el estado de Querétaro. Sin embargo, hasta el momento solo se había reportado un uso comestible para los frutos y no el consumo de toda la planta ni de las estructuras florales como se ha registrado con *Mammillaria dehortiana* subsp. *dodsonii* en el estado de Oaxaca (Arias & Aquino, 2019; Martínez *et. al.*, 2017; Rendón Aguilar *et. al.*, 2022). En cuanto al uso medicinal de *M. mathildae* para el tratamiento de golpes, este tampoco había sido reportado en el estado de Querétaro. Otras especies del género,

como *M. deherdtiana* subsp. *dodsonii*, *M. heyderi* y *M. nunezii* han sido utilizadas para tratar el reumatismo, los problemas de oído, el estreñimiento y las hernias abdominales en otros estados del país (Arias & Aquino, 2019; Rendón Aguilar *et. al.*, 2022).

Conclusiones

La estructura de tamaños observada puede ser resultado de factores ambientales y humanos. La localidad muestra características de estar bajo presión antropogénica. La especie presenta una baja densidad poblacional y una baja proporción de individuos de gran tamaño. La colecta ilegal de ejemplares de la especie fue mencionada por pobladores de la región. Se registraron usos comestibles, ornamentales y medicinales para la especie, documentando por primera vez un uso medicinal para *M. mathildae*.

Presentación de cartel disponible en Youtube:

<https://youtu.be/khTv0F5jA0o?t=5363>

Referencias bibliográficas

- Arias, S., y Aquino, D. (2019). *Familia Cactaceae. Flora del Bajío y de Regiones adyacentes*, 209.
- Clark, P.J. and Evans, F.J. (1954) Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35, 445-453.
- CONAGUA (s.f.). Datos Históricos de la estación climatológica C22029 (Estación Huimilpan). <https://sih.conagua.gob.mx/climas.html>
- García, O. (2009). Protocolo para la restauración de una población de *Mammillaria mathildae* en la provincia de Juriquilla, Qro [Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ciencias Biológicas]. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Gómez-Sánchez, M., González-Hernández, B. A., Martínez, M., & Hernández-Sandoval, L. G. (2013). Nuevos Registros de Cactaceae Y Solanaceae Para El Estado De Guanajuato, México. *Journal Of The Botanical Research Institute Of Texas*, 7(2), 821-825.
- Hernández-Oria J.G., Chávez-Martínez R., Galindo-Sotelo G., Hernández-Martínez M.M., Lagunas-Solis G., Martínez-Romero R., Mendoza-Aguilar T., Sánchez-Hernández J.L., Sánchez-Martínez E. (2003). Evaluación de aspectos ecológicos de una nueva población de *Mammillaria mathildae* Kraehenbuehl y Krainz en Querétaro. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 48: 100-110.
- Larios Ulloa, M. (2015). Estudio comparativo de la distribución ecológica de cactáceas globosas y columnares en dos zonas representativas de la Región Altos Norte de Jalisco. [Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ciencia y Tecnología]. Universidad de Guadalajara.
- Martínez, M., Hernández-Sandoval L., Pantoja Y., Gómez M., Bárcenas R., Cabrera-Luna A. (2017). *Guía ilustrada de la flora del valle de Querétaro*. Querétaro, Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Rendón Aguilar, B., Bernal Ramírez, L. A., Arias-Montes, Á. S., Jiménez-Sierra, C. L., Ballesteros-Barrera, C., Ortega-Jiménez, S., Bravo-Avilez, D. (2022). Aspectos florísticos, ecológicos y etnobotánicos de *Mammillaria deherdtiana* subsp. *dodsonii* (Cactaceae), una planta endémica y amenazada. *Acta botánica mexicana*, 129.
- Rzedowski, J. y Bedolla-García B. Y. (2021). Catálogo de especies de plantas vasculares registradas del estado de Querétaro. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario*, 37: 1-166.
- Zepeda, V., Golubov, J., y Mandujano, M. C. (2017). Distribución espacial, estructura de tamaños y reproducción de *Astrophytum ornatum* (Cactaceae). *Acta botánica mexicana*, 119: 35-49.

¿Planificación familiar vegetal? controlando a la madre de millones: *Kalanchoe delagoensis*

Karen A. Ortega-Ramírez* y María C. Mandujano

Laboratorio de Genética y Ecología, Depto. Ecología de la Biodiversidad. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad Universitaria. 04510, Ciudad de México, CDMX.

[*kortega@ecologia.unam.mx](mailto:kortega@ecologia.unam.mx)

Resumen

Las especies exóticas invasoras (EEI) amenazan la biodiversidad nativa, por lo que diseñar protocolos de control y erradicación es una necesidad urgente. Dentro del Jardín Botánico Regional de Cadereyta (Querétaro), se ha reportado la presencia de varias especies catalogadas como EEI. Con este estudio se propuso conocer la eficiencia y el costo económico de la remoción manual como método de control y erradicación de *Kalanchoe delagoensis*. Se establecieron 10 parcelas fijas de 1 m² en las que se monitoreó durante 32 meses la cantidad de plantas presentes y el tiempo requerido para su remoción. Este método demostró ser eficiente puesto que, a partir del quinto mes de remoción, se logró una reducción del 97% en el número de plantas presentes. El tiempo de remoción acumulado durante 32 meses fue de 48 horas y 55 minutos y con una inversión estimada de \$1,804 MXN.

Palabras clave: invasión biológica, control de especies exóticas invasoras, remoción manual, *Kalanchoe delagoensis*

Abstract

Invasive alien species (IAS) threaten native biodiversity, making the design of effective control and eradication protocols an urgent priority. The presence of several species classified as IAS has been reported within the Cadereyta Regional Botanical Garden (Querétaro). This study aimed to determine the efficiency and economic cost of manual removal as a control and eradication method for *Kalanchoe delagoensis*. We established 10 permanent 1 m² plots. Within these plots, we monitored the number of plants present for 32 months and the time required for their removal. This method proved highly efficient; a 97% reduction in the number of plants was achieved beginning from the fifth month of removal. The cumulative removal time was 48 hours and 55 minutes, with an estimated investment of \$1,804 MXN.

Key words: biological invasion, control of invasive alien species, manual removal, *Kalanchoe delagoensis*

Importancia para la conservación

Mediante este estudio se demuestra que la remoción manual aplicada de forma regular es un método efectivo y de bajo costo para controlar a la EEI *Kalanchoe delagoensis*. Al reducir significativamente la densidad de esta planta, contribuimos a disminuir la presión por competencia con las especies nativas resguardadas por el Jardín Botánico Regional de Cadereyta. Implementar este protocolo de control contribuirá a la recuperación de la biodiversidad nativa.

Introducción

Las especies exóticas invasoras (EEI) representan un riesgo para las especies nativas, con efectos diversos como la depredación directa, la propagación de enfermedades, la competencia por recursos y la modificación del hábitat (CONABIO, 2023). Las invasiones biológicas son causadas principalmente por el transporte de especies exóticas debido a su valor ornamental y económico (Schüttler, 2009); sin embargo, pueden ocurrir con o sin la intervención humana (Richardson *et al.*, 2000; Richardson *et al.*, 2011).

Existen diferentes métodos de control de EEI, algunos requieren del uso de sustancias químicas como herbicidas o plaguicidas (Guerra-García *et al.*, 2018), además de la introducción de agentes de control biológico (Schüttler, 2009), el uso de fuego controlado y la remoción manual o deshierbe selectivo. Diseñar estos protocolos de control y erradicación de EEI requiere del conocimiento de la biología y ecología de la especie (Begon, 2006) y son una de las acciones de manejo con mayor prioridad, puesto que se ha observado que entre más avanzada se encuentre una invasión biológica, mayor inversión se requiere para controlarla (Ortega-Ramírez & Mandujano, 2025).

El Jardín Botánico Regional de Cadereyta, es un centro de investigación y conservación de flora y fauna nativa del semidesierto Queretano-Hidalguense. Este recinto ha sido escenario de la introducción y establecimiento de algunas especies exóticas, algunas de ellas con comportamiento invasor como: *Aloe vera*, *Anredera cordifolia*, *Brassica rapa*, *Erodium cicutarium*, *Melinis repens*, *Cenchrus ciliaris*, *Leonotis nepetifolia*, *Raphanus raphanistrum*, *Schinus molle*, *Apis*

mellifera, *Passer domesticus*, *Columba livia*, *Bagrada hilaris*, *Zaprionus indian*, *Kalanchoe x houghtonii* y la especie de interés: *K. delagoensis*. (JBRC en Naturalista, 2017; DOF, 2024).

El objetivo de este proyecto de investigación es conocer el costo monetario y la eficiencia de la remoción manual como método de control y erradicación de *Kalanchoe delagoensis*, una EEI nativa de Madagascar que presenta propagación sexual y clonal.

Métodos

Este protocolo de control se llevó a cabo en la zona silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, México. Se encuentra a una altitud de 2046 m snm; (20° 41' 15.8''N, 99° 48' 17.7''O). Presenta un clima semiseco templado con régimen de lluvias en verano. La temperatura promedio es de 16.7°C y puede llegar hasta los 38°C, mientras que la precipitación anual acumulada corresponde a 450-500 mm en promedio (CONCYTEQ, 2008 citado en Ortega-Ramírez & Mandujano, 2025). *Kalanchoe delagoensis* es una herbácea perenne nativa de Madagascar que fue introducida a México por su belleza (CONABIO, 2023). Puede medir hasta 2 m de altura (*obs. per.*), habita en ambientes áridos y áreas perturbadas, se caracteriza por propagarse de forma sexual y clonal. Posee tallos simples, pero en caso de decapitación pueden formar hasta 7 ramas (*obs. per.*). Las inflorescencias terminales producen flores de color rojo a naranja (CABI, 2019 citado en Ortega-Ramírez & Mandujano, 2025).

En agosto de 2022 se establecieron 10 parcelas fijas de remoción (cada una con tamaño de 1 m²) y

se monitorearon mensualmente hasta febrero de 2025 y después a los 3 meses (mayo). Se registró la cantidad de individuos presentes de *K. delagoensis* y se retiraron, además se registró el tiempo invertido por parcela y el número de personas que realizaron el trabajo de remoción para evaluar la viabilidad de la remoción manual como método de control y erradicación; así como estimar el costo monetario de este protocolo.

El análisis estadístico realizado para observar si existen diferencias entre la cantidad de plantas que se removieron mensualmente dentro de las parcelas, fue un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución Poisson. Para la estimación de la inversión necesaria se realizó un GLM con distribución Gaussiana y se calculó la cantidad de dinero por horas trabajada, tomando como base el salario mínimo en México (2025), que de acuerdo con la Secretaría del Trabajo es de \$278.80 MXN.

Resultados

Al finalizar el periodo de monitoreo, se observó que la remoción de *Kalanchoe delagoensis* (Figura 1)

difiere significativamente entre meses del año 2022 ($\chi^2 = 17144$, $g.l = 4$, $p < 0.001$). A partir del quinto mes (diciembre 2022) la cantidad de plantas presentes dentro de las parcelas se redujo 97% en comparación con el primer mes de remoción (agosto 2022). En la tabla 1 se puede ver la reducción anual en el rebrote, el dinero y el tiempo invertido en este protocolo de manejo.

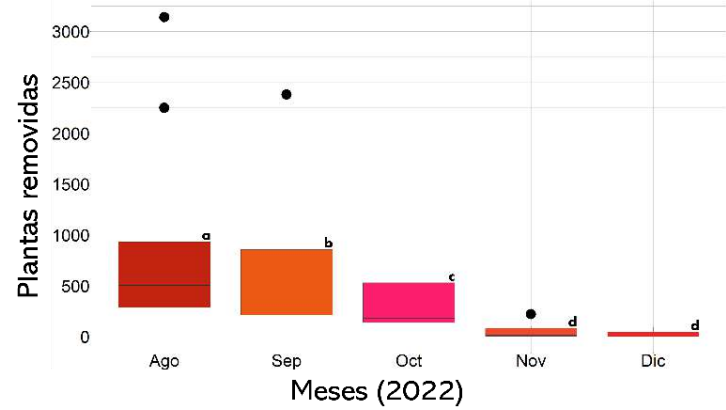


Figura 1. Remoción de *Kalanchoe delagoensis* durante los cinco primeros meses de monitoreo (agosto a diciembre de 2022).

Tabla 1. Desglose anual del protocolo para controlar la invasión por *Kalanchoe delagoensis* desde agosto de 2022 a mayo de 2025.

	2022		2023		2023		2025	
	Cantidad	Reducción (%)	Cantidad	Reducción (%)	Cantidad	Reducción (%)	Cantidad	Reducción (%)
Plantas removidas	20, 083	97% (dic)	572	97%	347	98%	16	~ 100%
Inversión monetaria	\$1,133.00	81% (dic)	\$360.00	68%	\$256.00	77%	\$55.00	95%
Tiempo de trabajo	30 h 30 min	82% (dic)	10 h 20 min	65%	6 h 30 min	77%	1 h 35 min	95%

Se muestra la cantidad de plantas removidas durante el año correspondiente, además del porcentaje que representa la reducción de plantas removidas en el mes indicado respecto de agosto de 2022 (primera remoción). La inversión monetaria calculada es la suma anual del dinero estimado y el porcentaje de reducción corresponde a la reducción mensual en 2022 y reducción anual para 2023, 2024 y 2025.

Durante toda la remoción se acumularon 48 horas y 55 minutos y se estimó una inversión total de 1,804 pesos (Figura 2). En agosto de 2022 se calculó que se debían pagar hasta \$85.2 a una sola persona para realizar la remoción dentro de una de las parcelas con mayor densidad de *Kalanchoe* y \$371.65 a una persona para que trabaje en las 10 parcelas. Por su parte, a partir de diciembre, la cantidad de dinero invertida disminuye

drásticamente a \$7.71 para que una sola persona realice el trabajo de remoción en una de las parcelas con más individuos presentes y \$70.6 para las 10 parcelas.

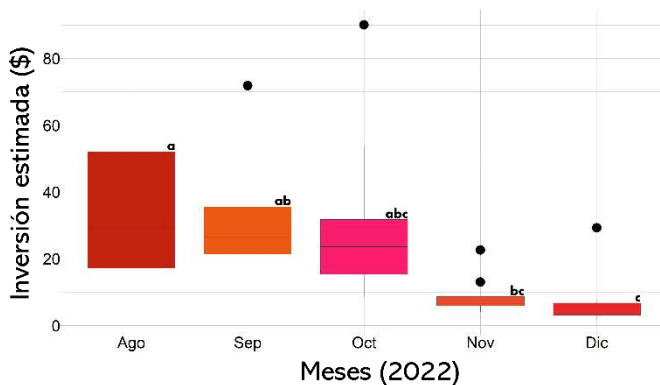


Figura 2. Inversión estimada por parcela para la remoción de *Kalanchoe delagoensis* desde agosto a diciembre de 2022. Se consideró el salario mínimo en México (2025) según la Secretaría de Trabajo y Previsión Social.

Discusión

Para un control exitoso de plantas invasoras perennes, se requiere la interrupción de los procesos demográficos que influyen en el crecimiento poblacional, como el crecimiento y la reproducción (Ramula *et al.*, 2008).

Los resultados obtenidos de la remoción mensual comprueban que, durante la primera jornada de remoción manual, se interrumpió el proceso de reproducción y la integración de otra generación de *K. delagoensis* al banco de semillas. De esta forma se disminuyó significativamente el tamaño poblacional a partir del quinto mes (97%).

Considerando que la propagación de plantlets y la dispersión de semillas son la principal fuente del crecimiento poblacional, las acciones de control y erradicación deben concentrarse a evitar dichos eventos, la remoción debe realizarse antes de la floración en del JBRC, que se reportó durante el invierno por Ortega-Ramírez y Mandujano (2025).

Este método de control no requiere el uso de sustancias químicas, agua o equipo de protección personal y por ello, no representa ningún riesgo para la salud ecosistémica o para el personal que aplique este protocolo. Es importante la implementación de este protocolo en etapas tempranas de invasión biológica ya que, si el tamaño poblacional incrementa, la inversión en tiempo y dinero

requeridos también lo hará. La mejor acción de manejo es la prevención de las invasiones, mediante la realización de acciones que disminuyan la invasibilidad de los ecosistemas, y permitan la restauración ecológica.

Conclusiones

La remoción manual aplicada de forma regular es un método eficiente y barato para controlar a la madre de millones, *Kalanchoe delagoensis*, y probablemente lo sea también para otras especies vegetales consideradas como EEI.

La invasión debe controlarse desde etapas tempranas y remover cualquier individuo de *Kalanchoe delagoensis* que sea detectado ya que, cuando la invasión avanza, se incrementa el tiempo necesario y el dinero requerido para controlar y erradicar esta EEI.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó gracias al financiamiento otorgado por los proyectos: CONABIO-GEF-PNUD 00089333 “Enhancing National Capacities to Manage Invasive Alien Species (IAS) by Implementing the National Strategy on IAS”, CONAHCyT CBF 2023 – 2024 – 1203 y al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica UNAM – DGAPA -PAPIIT <<IN217324>> y al presupuesto operativo del Instituto de Ecología, UNAM, brindados por la Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=9415s>

Referencias bibliográficas

- Begon, H. (2006). Ecología: De los individuos a los ecosistemas. Freshwater Biology. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01592.x>
- Diario Oficial de la Federación (2024). Lista de las especies exóticas invasoras para México. [En línea]. Recuperado desde: <https://sivicooff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/Fichas%20tecnicas/PlagasExoticas/Lista%20de%20las%20Especies%20Ex%C3%B3ticas%20Invasoras%20para%20M%C3%A9xico.pdf> (Consultada efectuada el 20 de junio de 2025).

- CONABIO. (2023). Información sobre Especies Invasoras en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad México. [En línea] Recuperado desde: <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras> (Consultada efectuada el 20 de junio de 2025).
- Guerra-García, A., Barrales-Alcalá, D., Argüeta-Guzmán, M., Cruz, A., Mandujano, M. C., Arévalo-Ramírez, B., Golubov, J. (2018). Biomass Allocation, Plantlet Survival and Chemical Control of the Invasive Chandelier Plant (*Kalanchoe delagoensis*) (Crassulaceae). 11 (1): 33-39. <https://doi:10.1017/inp.2018.6> (Consultada efectuada el 14 de junio de 2025).
- JBRC en Naturalista, (2017). Biodiversidad del Jardín Botánico de Cadereyta. [En línea]. Recuperado desde: <https://mexico.inaturalist.org/projects/biodiversidad-del-jardin-botanico-regional-de-cadereyta> (Consultada efectuada el 20 de junio de 2025).
- Ortega-Ramírez, K. A. & Mandujano, M. C. (2025). Fenología, biología reproductiva y control de la exótica invasora *Kalanchoe delagoensis* Eckl y Zeyh: ¿Cuál es la época oportuna para su posible control en Cadereyta de Montes, Querétaro, México? Universidad Nacional Autónoma de México. [Tesis de licenciatura].
- Ramula, A., Knight, T. M., Burns, J. H. y Buckley, Y. M. (2008). General guidelines for invasive plant management based in comparative demography of invasive and native plant populations. *Journal of Applied Ecology*, 45: 1124–1133.
- Richardson, D. M., Pysek, P., Rejmánek, M., Baurbour, M. G., Panetta, F. D., West, C. J. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 6: 93–107.
- Richardson, D. M., Pysek, P., y Carlton, J. T. (2011). A compendium of essential concepts and terminology in invasion ecology. En Richardson, D. M. (eds). *Fifty Years of Invasion Ecology the Legacy of Charles Elton*, Blackwell Publishing, 409–420.
- Schüttler, E. (2009). *Especies exóticas invasoras en las reservas de biosfera de América Latina y el Caribe un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las reservas de biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas*. UNESCO, París.

El precio de la urbanización: amenaza silenciosa en la cactácea nativa *Myrtillocactus geometrizans*

Anais Verenice Vázquez Ramírez^{1*} y Linda Mariana Martínez Ramos²

¹Facultad de Ciencias y ²Laboratorio de Genética y Ecología, Departamento Ecología de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, 04510 CDMX, México.

^{1*}anais.vazquez@ciencias.unam.mx

²lindam.mtz@gmail.com

Resumen

Las cactáceas, como *Myrtillocactus geometrizans*, son clave en los ecosistemas semiáridos mexicanos, pero su fase de establecimiento es vulnerable a la contaminación urbana. En este estudio se simularon condiciones de estrés ambiental (riego con agua acidificada, detergente comercial y lixiviado fecal de perro/gato) y un control (sin estrés) para comparar la sobrevivencia y crecimiento de plántulas de garambullo en sustrato comercial para cactáceas, bajo condiciones controladas. Se utilizaron más de 3,600 semillas para obtener 80 plántulas germinadas, que fueron monitoreadas en su etapa inicial. Los resultados mostraron diferencias significativas en la supervivencia entre tratamientos: el control mantuvo el 100% de supervivencia, la lluvia ácida 85%, el detergente 60%, y el lixiviado fecal solo 30%. No se observaron diferencias significativas en el crecimiento final de las plántulas sobrevivientes. Estos hallazgos confirman la sensibilidad de *M. geometrizans* a ciertos contaminantes domésticos y refuerzan su utilidad como bioindicador vegetal, además de aportar evidencia útil para estrategias de conservación en zonas semiáridas urbanizadas.

Palabras clave: cactáceas, contaminación urbana, supervivencia, bioindicador vegetal

Abstract

Cacti such as *Myrtillocactus geometrizans* are key components of Mexico's semi-arid ecosystems, but their establishment phase is vulnerable to urban pollution. This study simulated domestic environmental stress conditions (irrigation with acidified water, commercial detergent, and dog and cat fecal leachate) to compare the survival and growth of garambullo seedlings on a cactus-specific substrate under controlled conditions. Over 3,600 seeds were used to obtain 80 seedlings, which were monitored during their early establishment phase. Results showed significant differences in survival across treatments: the control group had 100% survival, acid rain 85%, detergent 60%, and fecal leachate only 30%. No significant differences in seedling growth were observed. These findings highlight the sensitivity of *M. geometrizans* to specific urban pollutants and support its potential as a plant bioindicator. The study contributes valuable insights for conservation strategies in urbanized semi-arid environments.

Keywords: cacti, urban pollution, seedling survival, plant bioindicator

Importancia para conservación

La contaminación urbana afecta directamente el establecimiento de especies nativas, comprometiendo su permanencia en ecosistemas semiáridos. Estos territorios, muchas veces marginados y usados como depósitos de desechos, también sostienen culturas que dependen de su vegetación. Conservar la flora nativa no es solo proteger plantas, sino preservar raíces bioculturales profundas. Urge repensar nuestra relación con el entorno antes de que incluso las especies más resilientes, como *M. geometrizarans* dejen de resistir.

Introducción

Las cactáceas representan uno de los grupos vegetales más representativos y resilientes de los ecosistemas semiáridos mexicanos. Entre ellas, *Myrtillocactus geometrizarans* destaca por su importancia ecológica como nodriza y refugio de fauna, así como por su capacidad para adaptarse a condiciones extremas de temperatura y escasez hídrica. Sin embargo, su fase de germinación y establecimiento puede verse comprometida por alteraciones ambientales derivadas de la urbanización, como la modificación del pH del suelo, la contaminación del agua y la presencia de residuos domésticos (Martínez & Carrillo, 2010).

Entre los contaminantes más comunes en escurrimientos urbanos se encuentran los detergentes domésticos y la materia fecal de mascotas. Diversos estudios han identificado la presencia de alquilbencenosulfonatos lineales (LAS), compuestos xenobióticos presentes en detergentes, como agentes que afectan la microbiota del suelo, reducen su fertilidad y alteran la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas (Sánchez Peinado, 2007). Según la Procuraduría Federal del Consumidor, los detergentes más utilizados en hogares mexicanos son Roma® y Foca®, los cuales, aunque eficaces, contienen ingredientes potencialmente tóxicos para la vida acuática y el equilibrio edáfico (Ariet, 2025; Lara, 2025).

El objetivo de este estudio fue evaluar la sobrevivencia de plántulas de *M. geometrizarans* en condiciones simuladas (riego con agua acidificada, detergente doméstico, lixiviado fecal de perro y gato, y riego sin estresores). para generar evidencia sobre la vulnerabilidad de especies nativas a contaminantes urbanos, y apoyar el diseño de estrategias de conservación en ecosistemas semiáridos afectados por la urbanización.

Métodos

Myrtillocactus geometrizarans, es una cactácea endémica de las regiones semiáridas del centro de México, donde actúa como especie nodriza y desempeña un papel ecológico importante en la regeneración de la vegetación.

Para evaluar su establecimiento en escenarios de contaminación urbana, se diseñó un experimento en condiciones controladas, con cuatro tratamientos y dos réplicas por tratamiento. Cada réplica consistió en una caja petri con diez plántulas, distribuidas en un diseño de 10 plántulas × 4 tratamientos × 2 réplicas, para un total de 80 individuos experimentales.

Los tratamientos correspondieron a cuatro tipos de soluciones de riego: (1) agua de la llave (control), (2) lluvia ácida simulada, (3) solución con detergente doméstico y (4) lixiviado fecal de perro y gato (Tabla 1). Para el tratamiento de lluvia ácida se ajustó únicamente el pH del agua entre 4.5 y 5.0, de acuerdo con Raquel (2021). Las unidades experimentales fueron regadas con 10 ml de su respectivo tratamiento una vez cada tres días por semana por 6 semanas, bajo iluminación indirecta y temperatura ambiental constante.

Las plántulas provienen de semillas obtenidas de dos fuentes: frutos frescos recolectados manualmente en 2025 en Cadereyta de Montes, Querétaro y semillas almacenadas desde 2021 provenientes de Agua del Ángel (Peñamiller, Querétaro).

Estas semillas se germinaron en sustrato comercial para cactáceas hasta la obtención de plántulas viables, las cuales constituyeron el sujeto experimental del estudio. Las plántulas se mantuvieron a temperatura ambiental constante, con iluminación indirecta.

Los tratamientos se aplicaron a partir de los 46 días de edad de las plántulas.

Se registró la proporción de plántulas sobrevivientes por unidad experimental, y el crecimiento final para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el desempeño de las plántulas. La supervivencia se analizó mediante un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución binomial y el crecimiento final con un GLM con distribución Gaussiana. Todos los análisis se realizaron en el software R (R Core Team, 2025).

Tabla 1. Preparación de los tres tratamientos y el control.

Tratamiento	Preparación de solución
Control (Agua de la llave)	Agua de la llave sin aditivos, aplicada como riego estándar
Lluvia ácida simulada	500 ml de agua + 1.5 ml de vinagre blanco (ácido acético al 4–6 %), ajustado a un pH de entre 4.5 y 5.0
Detergente doméstico	4 g de detergente Roma en polvo por litro de agua. (Ecodeli.com, 2020)
Lixiviado fecal	1 g de excremento fresco de perro/gato disuelto en 100 ml de agua filtrada y decantada antes de la aplicación

El detergente Roma fue seleccionado por ser uno de los más utilizados en hogares mexicanos, debido a su disponibilidad y bajo costo (Lara, 2025). La solución de lluvia ácida se preparó conforme a Raquel (2021).

Resultados

El experimento tuvo una duración de 3 meses. Las plántulas al inicio del experimento tenían una altura promedio de 1.27 ± 0.41 cm. Al final del experimento las plántulas tuvieron una altura promedio de 1.25 ± 0.43 cm. No se observaron diferencias significativas en el crecimiento entre los tratamientos $\chi^2 = 6.42$, g.l. = 3, $p = 0.09$ (Figura 1), sin embargo, encontramos diferencias en la supervivencia según el tipo de riego aplicado ($\chi^2 = 34.11$, g.l. = 3, $p < 0.001$; Figura 2).

El tratamiento control mantuvo el 100% de supervivencia. En contraste, el tratamiento con lixiviado fecal presentó la mayor mortalidad, con solo el 30% de plántulas sobrevivientes. El tratamiento con detergente doméstico mostró una mortalidad del 40%, mientras que la lluvia ácida simulada tuvo un impacto moderado, con 85% de supervivencia (Figura 2).

Se observa que el crecimiento no difiere notablemente entre tratamientos, pero sí existen diferencias claras en la supervivencia.

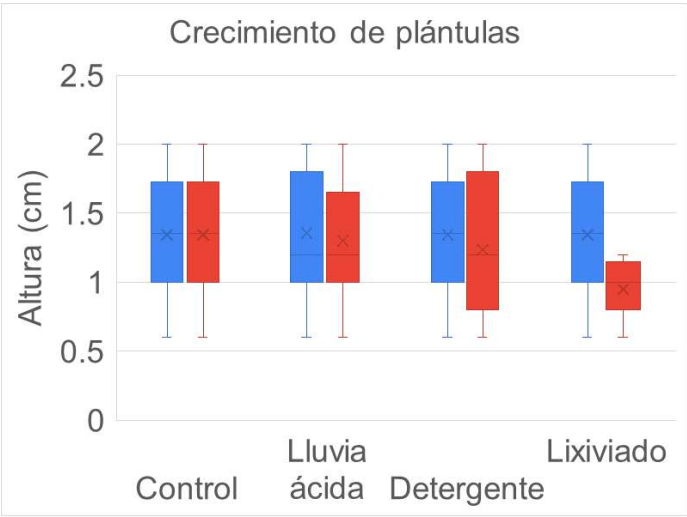


Figura 1. Altura promedio de plántulas de *Myrtillocactus geometrizans* en cada tratamiento de contaminantes (media $\pm$ error estándar) al inicio (azul) y al final (rojo) del experimento.



Figura 2. Porcentaje de supervivencia de plántulas de *Myrtillocactus geometrizans* por tratamiento y al final del experimento.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran que los contaminantes urbanos simulados impactan negativamente la supervivencia de *M. geometrizans* durante su fase de establecimiento, aunque no se detectaron diferencias significativas en su crecimiento inicial. Esto nos dice que las plántulas pueden mantener su desarrollo en condiciones moderadamente adversas, pero su tasa de

supervivencia se ve claramente afectada por la presencia de contaminantes domésticos.

El tratamiento control (agua de la llave) permitió una supervivencia total, lo que confirma que el sustrato utilizado es adecuado para la germinación y establecimiento. En contraste, los tratamientos con detergente y lixiviado fecal mostraron elevada mortalidad (40% y 70%, respectivamente), mientras que la lluvia ácida tuvo un efecto más leve (15% de mortalidad). Este patrón de respuesta gradual refleja una relación directa entre el tipo de contaminante y el nivel de estrés fisiológico experimentado por las plántulas.

La alta mortalidad observada en el tratamiento con lixiviado fecal podría atribuirse a condiciones anaeróbicas generadas en el sustrato y a la presencia de microorganismos patógenos, que pueden afectar las raíces y la absorción de nutrientes (De Frenne *et al.*, 2022). Por otro lado, el detergente doméstico Roma contiene alquilbencenosulfonatos lineales (LAS), compuestos tóxicos para la microbiota del suelo, que alteran la disponibilidad de nutrientes y el balance hídrico de las plantas (Martínez-Ruiz *et al.*, 2021; Sánchez-Peinado, 2007).

La respuesta moderada ante la lluvia ácida simulada sugiere cierta tolerancia de *M. geometrizzans* a la acidificación del sustrato, probablemente relacionada con su adaptabilidad a suelos con variabilidad química natural en zonas semiáridas (Méndez-Hurtado *et al.*, 2013; González-González *et al.*, 2022). Sin embargo, se requieren estudios adicionales para determinar los límites de esta tolerancia y su impacto a largo plazo en el establecimiento de poblaciones naturales.

Los análisis estadísticos confirman que las diferencias en mortalidad entre tratamientos son significativas ($\chi^2 = 34.11$, g.l. = 3, $p < 0.001$), por lo que los efectos observados no se deben al azar. Estos resultados respaldan la hipótesis de que los contaminantes urbanos comunes pueden representar una amenaza real para las etapas tempranas de las especies nativas, incluso en condiciones controladas.

Aunque no se detectaron diferencias significativas en el crecimiento, la pérdida temprana de individuos puede comprometer la regeneración natural de las poblaciones de cactáceas, afectando a su vez a las especies de fauna que dependen de ellas como fuente de refugio o alimento. En conjunto, estos resultados evidencian los efectos negativos de la contaminación urbana sobre los procesos de regeneración vegetal, particularmente en especies clave que sostienen la biodiversidad y la funcionalidad ecológica de los ecosistemas semiáridos (Martínez & Carrillo, 2010; González-González *et al.*, 2022).

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de considerar el impacto de los residuos domésticos en ambientes urbanos y periurbanos, particularmente en zonas semiáridas donde la recuperación ecológica es lenta y los recursos hídricos limitados (González-González *et al.*, 2022; Ariet, 2025).

Conclusión

Este experimento demostró que la contaminación urbana afecta negativamente el establecimiento temprano de *M. geometrizzans*. Particularmente, el lixiviado fecal tuvo un impacto importante provocando el 70% de mortalidad, lo que sugiere que los efectos negativos están relacionados más con condiciones microbianas o químicas del sustrato que con alteraciones fisiológicas. Estos hallazgos son relevantes para la conservación de especies nativas en entornos urbanos y refuerzan la necesidad de minimizar y evitar prácticas domésticas contaminantes en zonas periurbanas.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=10403s>

Referencias

- Ariet, J. (2025, 17 de febrero). *El impacto ambiental de los detergentes que usamos*. Opciones. Recuperado el 19 de junio de 2025 de <https://opcions.org/es/impacto-ambiental-de-los-detergentes/>
- De Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Coomes, D. A., Baeten, L., Verstraeten, G., Vellend, M., ... Verheyen, K. (2022). Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Nature Climate Change*, 12(1), 1–7.

- Ecodeli. (2020). Sitio web Ecodeli.com. Recuperado el 10 de noviembre de 2025, de <https://www.ecodeli.com/catalogos/FichasTecnicas/DR1.pdf>
- González-González, M. J., Reyes-Pérez, M. A., Contreras-López, M. A. (2022). Contaminación del suelo urbano: efectos en plantas nativas y microorganismos edáficos. *Revista Mexicana de Ecología*, 58(2), 77–88.
- Lara, A. (2025, 27 de enero). *Ni Ariel, ni Ace: ¿Cuál es el mejor detergente para lavar la ropa según Profeco?* PostaMx. Recuperado el 18 de junio de 2025 de <https://www.posta.com.mx/mexico/ni-ariel-ni-ace-cual-es-el-mejor-detergente-para-lavar-la-ropa-segun-profeco/v1570143>
- Martínez, M. L., & Carrillo, P. (2010). Impacto de la contaminación urbana en especies de cactáceas del Valle de México. *Revista Mexicana de Ecología*, 45(2), 123–132.
- Martínez-Ruiz, P. A., Sánchez-García, J. L., Ramos-Medina, M. (2021). Efecto de detergentes domésticos sobre propiedades edáficas y desarrollo vegetal. *Boletín de Ciencias Ambientales*, 33(1), 45–53.
- Méndez-Hurtado, A., Rangel-Méndez, R., Yáñez-Espinosa, L., Flores, J. (2013). Tolerance to Cadmium of *Agave lechuguilla* (Agavaceae) Seeds and seedlings from sites contaminated with heavy metals. *The Scientific World Journal*, 2013, Article ID 167834.
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de <https://www.R-project.org/>
- Raquel, D. (2021). *¿Cómo simular lluvia ácida en laboratorio para experimentos escolares?* Blog CienciaFácil. Recuperado el 17 de junio de 2025 de <https://cienciafacil.edu.mx/lluvia-acida-experimento-escolar/>
- Sánchez-Peinado M. (2007). *Efectos biológicos de los sulfonatos de alquilbenceno lineales (LAS) en suelo agrícola: Biotransformación y estudios de biodiversidad* [Tesis doctoral, Universidad de Granada].

Especies exóticas invasoras en la zona metropolitana de Querétaro: una reflexión

Angélica Navidad Morales Figueroa
Centro de Estudios Arqueológicos. El Colegio de Michoacán, sede La Piedad
angelicanavidad.24@gmail.com

Resumen

En México, como en otras partes del mundo, la introducción de plantas invasoras y exóticas ha constituido una grave amenaza a la biodiversidad. La zona metropolitana de Querétaro es una clara muestra de la enorme variedad de plantas ornamentales que han sido introducidas. Esta nota presenta una lista de ejemplos de especies exóticas que tienen presencia en la zona urbana de Querétaro. Asimismo, se describen dos de sus ejemplos más conocidos [*Jacaranda mimosifolia* D. Don. y *Delonix regia* (Bojer ex. Hook) Raf.] y se reflexiona sobre las acciones concretas para conocer, revalorar y conservar especies de flora nativa en pro de mantener el equilibrio ecológico y la biodiversidad regional.

Palabras clave: especies exóticas, especies invasoras, daños ecológicos

Abstract

In Mexico, as in other parts of the world, the introduction of invasive and exotic plant species has posed a serious threat to biodiversity. The metropolitan area of Querétaro is a clear example of the wide variety of ornamental plants that have been introduced. This note presents a list of examples of exotic species found in the urban area of Querétaro, discusses two of its best-known examples [*Jacaranda mimosifolia* D. Don and *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf.], and reflects on concrete actions aimed at understanding, valuing, and conserving native flora in order to maintain ecological balance and regional biodiversity.

Key words: exotic species, invasive species, ecological impact

Contexto urbano y especies exóticas

Durante los siglos XIX y XX, la zona metropolitana de Querétaro se fue extendiendo por valles y cerros hasta formar un conglomerado poblacional que para 2020 sumaba un millón y medio de habitantes (INEGI, 2020). La mancha urbana fue creciendo entre valles y cerros al tiempo que se eliminaban árboles y plantas para dar paso a la construcción de unidades habitacionales, colonias y fraccionamientos. En las calles, parques y jardines públicos se fueron colocando especies de plantas ornamentales exóticas e invasivas que pueden observarse en toda la zona metropolitana que abarca los municipios de Santiago de Querétaro, Corregidora, El Marqués y Huimilpan.

Estas plantas se han propagado de forma intencional y/o accidental en los ecosistemas o hábitats naturales en nuestro país, desde su llegada de otros continentes y han alterado el equilibrio ecológico en zona naturales y transformadas, como la zona metropolitana de Querétaro (Estrada *et al.* 2023).

Dos ejemplos emblemáticos

En la Tabla 1 tenemos algunas de las especies invasoras que encontramos en la zona metropolitana de Querétaro y las podemos observar en ciudades y caminos de México.

Una de las especies más vista en la ciudad es sin duda la jacaranda (*Jacaranda mimosifolia* D. Don), árbol subtropical de la familia Bignoniaceae, de origen sudamericano. Su nombre proviene del guaraní y quiere decir “fragante”. Mide entre 12 a 20 metros de altura, sus flores de color azul violeta miden de 4 a 5 cm. Su distribución potencial original incluye Bolivia, Paraguay, Uruguay y también en el norte de Argentina en altitudes hasta 2400 m snm. con clima marcadamente estacional. Como especie muy apreciada ornamentalmente se distribuye en Norte América, Hawái, África, India y Australia. Su aprovechamiento es con fines ornamentales o de paisajes urbanos. En su área de origen se utiliza como madera para combustible, para hacer cercas y herramientas (CONABIO, 2025).

Tabla 1. Flora exótica de uso común en zonas urbanas (González, 2021; Malda *et al.*, 2016, Vega Páez, 2022).

Nombre común	Nombre científico
Bugambilia o	<i>Bougainvillea glabra</i> Choisy.
Ficus	<i>Ficus benjamina</i> L.
Framboyán o tabachín	<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don
Pirul o árbol del Perú	<i>Schinus molle</i> L.
Bola del rey	<i>Leonotis nepetifolia</i> (L.) R. Br.
Rabo de gato, zacate africano	<i>Cenchrus setaceus</i> (Forssk.) Morrone
Recino o higuerrilla	<i>Ricinus communis</i> L.

Otra especie exótica que hoy abunda en Querétaro es el framboyán o tabachin (*Delonix regia* Bojer ex Hook.) Raf.) también conocido como “árbol de la llama” o “árbol de fuego”. Su origen es Madagascar. Su distribución mundial abarca México, Centroamérica y Estados Unidos (Florida) y en México abarca los estados de Chiapas, Tamaulipas, Morelos, Oaxaca, Michoacán, Nayarit, Veracruz, Estado de México, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Es un árbol tropical conocido por sus espectaculares flores rojas o anaranjadas y su copa ancha y extendida. Alcanza alturas de hasta 12 metros y su follaje denso proporciona amplia sombra (Palma & Delgadillo, 2014).

Las plantas exóticas e invasivas representan amenazas directas sobre la biodiversidad nativa del Estado de Querétaro y ocasionan serias consecuencias ecológicas al expandirse y desplazar la vegetación nativa, acarrear enfermedades nuevas para la flora de en la zona que colonizan, alterar las condiciones bióticas y abióticas, y dar lugar a plagas que dañan severamente los ecosistemas nativos (Estrada- Arellano *et al.*, 2023, Palma & Delgadillo, 2014).

¿Qué podemos hacer ante las especies vegetales exóticas?

Consideramos que el gusto por las plantas ornamentales exóticas no va a desaparecer; pero sí podemos educarnos y valorar los beneficios de

mantener los ecosistemas nativos, la calidad del suelo, la flora y la fauna nativa, y contribuir de esta manera a la conservación de la biodiversidad y al mantenimiento de sus beneficios y servicios.

La concientización de la población puede sonar a utopía. Sin embargo, quienes conocemos acerca de la flora nativa, debemos insistir en iniciativas como:

- Informar los beneficios de la conservación de especies de plantas nativas a la población escolar.
- Incorporar temas de flora nativa y su importancia para el equilibrio ecosistémico, en programas educativos de todo el país, adecuados a cada región.
- Informar a la población en general cuáles son las especies exóticas que existen en nuestra ciudad y las razones para preferir especies nativas.
- Crear una base de datos acerca de las especies invasoras y compartirla con las autoridades locales.
- Tomar acciones locales y de activismo sobre la promoción, reforestación y conservación de la flora nativa.

Conclusiones

El gusto por el empleo de especies de plantas exóticas no parece fácil de erradicar. Ahora bien, los daños y alteraciones al medio ambiente que estas especies ocasionan, como el desplazamiento de especies originarias y el daño a los hábitats naturales, sí se puede explicar empleando información científica y divulgando el conocimiento entre la población.

Es urgente que en las ciudades medias del país se promueva una mayor conciencia sobre la importancia del manejo adecuado de las especies vegetales. Esto puede lograrse mediante estrategias de divulgación dirigidas tanto a la educación básica como a los medios masivos de comunicación, con el fin de fomentar el compromiso social con la preservación y recuperación de la flora nativa.

Plática disponible en YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=8472s>

Referencias bibliográficas

- CONABIO. (2025). EncicloVida [en línea]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México, México. Disponible en: <https://enciclovida.mx/> (Consulta efectuada en noviembre 2025).
- Estrada-Arellano, J. R., Cardoza-Martínez, G. F., & Sánchez-S., J. (2023). Plantas exóticas invasoras presentes en las áreas naturales protegidas (ANP) de México y su impacto en la biodiversidad. *Revista Ciencia UANL*, 21(89), 48–57. Recuperado a partir de <https://cienciauanl.uanl.mx/ojs/index.php/revista/article/view/42>
- González, G. (2021). Observación de iNaturalistMX [*Cenchrus setaceus*, <https://mexico.inaturalist.org/observations/77380817>]
- INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. <https://en.www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia/6263>
- Malda Barrera, G., Romero Valencia, E., González Hernández, A. (2016). *Plantas y Arbustos de la Ciudad de Querétaro*. Serie Nodos, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Palma-Ordaz, S. & Delgadillo-Rodríguez, J. 2014, Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, *Bot. sci.* 92(4):587-597. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42982014000400010
- Vega Páez, A. (2022). Observación de iNaturalistMX [*Leonotis nepetifolia*, <https://mexico.inaturalist.org/observations/106548448>]

Extensión comunitaria del Jardín Botánico “El Charco del Ingenio”

Mario Arturo Hernández Peña¹ y José Viccon Esquivel^{1*}

¹ Jardín Botánico El Charco del Ingenio, Paloma S/N, Las Colonias, 37720 San Miguel de Allende, Gto.

[*elcharcobotanica@gmail.com](mailto:elcharcobotanica@gmail.com)

Resumen

El Charco del Ingenio da nombre al proyecto de conservación del jardín botánico, localizado en la región norte del estado de Guanajuato, en la ciudad de San Miguel de Allende. A partir de 2020, la institución inició la colección etnobiológica con el objetivo de extender las actividades del jardín para la recuperación, fortalecimiento, respeto, preservación, articulación, divulgación, intercambio de experiencias, salvaguarda de los conocimientos tradicionales y visibilización de las prácticas de los pueblos originarios y locales para la utilización sostenible de la diversidad biológica y la garantía de los mecanismos de acceso universal al conocimiento científico y humanístico. La metodología consistió en un proceso comunitario de acción-participación basado en el diálogo de saberes en localidades de las regiones norte y noreste de Guanajuato, territorio de las culturas ñöhñu y ézá'r. Los resultados muestran la participación de 59 comunidades distribuidas en 13 municipios. Una de las contribuciones más importantes es el rescate y revitalización de la lengua de la variante de hñöhñu en Guanajuato, la fitonimia de la lengua uza', publicaciones editoriales, propagación de especies útiles y diversas actividades de divulgación. En conclusión, el jardín cumple un rol social importante en la región como proyecto comunitario de resistencia biocultural.

Palabras clave: bioculturalidad, desarrollo comunitario, conservación

Abstract

El Charco del Ingenio is the name of the conservation project of the botanical garden, located in the northern region of the state of Guanajuato in the city of San Miguel de Allende. Since 2020, the institution began the ethnobiological collection aiming to extend its activities towards the recovery, strengthening, respect, preservation, articulation, dissemination, exchange of experiences, safeguarding of traditional knowledge, and making visible the practices of indigenous and local peoples for the sustainable use of biological diversity in order to guarantee universal access mechanisms to scientific and humanistic knowledge. The methodology consisted of a community-based action-participation process through a direct dialogue with knowledge possessors in localities of the northern and northeastern regions of Guanajuato, a territory where ñöhñu and ézá'r cultures cohabit. The results show the participation of 59 communities distributed across 13 municipalities. Among the most important contributions are the rescue and revitalization of the hñöhñu indigenous language, which is the variant in Guanajuato; the phytonomy of the uza' language; editorial publications; the spread of useful species, and other science communication activities. In conclusion, the garden plays an important social role in the region as a community project of biocultural resistance.

Key words: bioculturalism, community development, conservation

Importancia para la conservación

Los programas de actividades de propagación y difusión de los usos locales de las plantas, son alternativas a la erosión del conocimiento tradicional y promueven el uso de la flora local que para el equilibrio del ecosistema y la identidad cultural. Un ejemplo es la propagación de *D. acrotrichum* y su reintroducción como especie sombrilla, lo que permite la recuperación de las poblaciones silvestres en colaboración con las comunidades, y la continuidad de su uso biocultural.

Introducción

El Charco del Ingenio es un proyecto ecológico y cultural en el estado de Guanajuato. Desde su fundación el predio donde fue establecido, ha atravesado un proceso constante de restauración debido a anteriores actividades de degradación como la tala, extracción de suelo y material parental, cacería, sobrepastoreo, incendios, acumulación de residuos y la erosión que en su conjunto provocaron la degradación del paisaje. La visión de un grupo organizado permitió establecer un jardín botánico en medio de una zona de matorral xerófilo desde la década de 1990. Desde entonces, el espacio se ha consagrado a la investigación de la flora nativa, la valoración del conocimiento tradicional, la educación ambiental y la apreciación de la naturaleza por parte de guanajuatenses, mexicanos y extranjeros. Partiendo de este carácter histórico-cultural, resultó de vital importancia reformular las colecciones botánicas hacia un sentido etnobiológico que valore, estudie y exponga las plantas de interés biocultural. Ello implicó extender la vocación del jardín al conocimiento de los pueblos originarios en colaboración con las comunidades rurales e instituciones académicas, para mostrar la relación de la diversidad biológica, enriquecer el acervo biocultural en pro de las tradiciones locales y ancestrales, y consolidar colecciones y actividades de carácter etnobiológico. El objetivo del trabajo consistió en reconocer los diversos saberes resguardados por pobladores vinculados con los pueblos originarios a partir de procesos de investigación – acción participativa.

Métodos

La metodología consistió en una Investigación-Acción Participativa (IAP) cuya definición describe “un método de estudio y acción que busca obtener resultados fiables y útiles para mejorar situaciones colectivas, basando la investigación en la participación de los propios colectivos a investigar” (Alberich, 2008). Este método involucró investigadores académicos y actores de las comunidades originarias del norte y noreste de Guanajuato. La IAP cumplió una doble finalidad: por un lado, buscó contribuir a la investigación científica en la generación de conocimiento, y por otro, originar cambios sociales a escala regional. En este proyecto fue fundamental un trabajo vertical basado en el diálogo de saberes donde las comunidades, junto con el jardín, aportaron sus experiencias y puntos de vista, con la finalidad de generar empatía, confianza, establecer un lenguaje común y alcanzar las metas propuestas. Esta metodología deriva de un análisis colectivo y participativo de los procesos que guiaron la investigación, generando cronogramas de trabajo, entrevistas, recorridos en traspato y campo, talleres, visitas al jardín botánico, diarios de campo, diálogo de saberes, intercambio de experiencias y registro audiovisual, entre otros medios.

Resultados

El proyecto se desarrolló en dos regiones (norte y noreste) del estado de Guanajuato, territorio donde conviven dos grandes culturas originarias, los ñöhñu y ézá'r¹, en colaboración con 59 comunidades distribuidas en 13 municipios. Una de las

¹ En este texto se utilizan los autótonimos Ñöhñu (pueblo otomí) y Ézá'r (pueblo chichimeca) (N. de los Ed.)

contribuciones más importantes al rescate y revitalización de la lengua es el estudio de la variante de hñöhñu² de Guanajuato. En el caso de la lengua uza³, se ha recopilado material de flora y fauna en audio para establecer un programa de divulgación que promueva el interés por su rescate. En el sector educativo, gracias a la alianza con CONAFE y CIBIOGEM se ha logrado capacitar a un importante número de docentes en temas de agrobiodiversidad, rescate de la lengua y conocimientos etnobiológicos que aplican en sus aulas y comunidades.

Por otro lado, con la propagación de *Dasyilirion acrotrichum* (Cucharilla) y su reintroducción como especie sombrilla, no solo se espera que las poblaciones se recuperen en mediano y largo plazo, sino que los talleres e intervenciones sirvan para que las propias comunidades cuiden, protejan y propaguen esta especie amenazada y mantengan las prácticas rituales en torno a su carácter sagrado.

El desarrollar programas con carácter etnobiológico es una urgencia para documentar, investigar y establecer planes de propagación y difusión de los usos locales como alternativa para enfrentar al cambio climático y la erosión del conocimiento tradicional.

Otra actividad realizada por el jardín es la feria biocultural que involucra a las comunidades, cocineras tradicionales, académicos y público no especializado en la enorme tarea de sensibilizar y promover el uso de la flora local que contribuye al equilibrio del ecosistema y la identidad cultural de la región.

Las obras editoriales producidas tienen como finalidad la defensa y dignificación del patrimonio biocultural para salvaguardar y proteger las diversas prácticas colectivas. En el ámbito ecosistémico, el jardín cuenta con una reserva de matorral crasicaule, cuya vegetación original representa el 17 % de la flora estatal lo que implica para la cabecera municipal el aporte de múltiples servicios ecosistémicos, por ejemplo, retiene el 85 % de los escurrimientos pluviales y controla la velocidad del agua que atraviesa a la ciudad.

Discusión

El Jardín Etnobiológico de Guanajuato El Charco del Ingenio cumple un rol importante en la región y es reconocido como un proyecto comunitario de resistencia biocultural. Además de ser un punto de encuentro de los pueblos originarios, principalmente en la Festividad de la Santa Cruz donde se refrendan compromisos a manera de unidad y conformidad.

El sitio también ha sido sede de diversas actividades académicas y educativas. En el transcurso del año, el jardín realiza actividades culturales, científicas, de capacitación, deportivas y diversas ceremonias donde la población participa activamente, de manera que existe una apropiación del sitio, a manera de espacio colectivo que favorece la reconciliación de la población con la naturaleza.

El proyecto de extensión comunitaria emprendido por el jardín, tiene un amplio conjunto de actividades. Entre ellas se incluyen: las actividades de documentación de las plantas útiles, el rescate de las lenguas originarias (Hñöhñu y úza'), listados de etnozología, talleres de herbolaria, de bioseguridad integral de los OGM para la protección de la milpa y propagación de flora nativa, caravanas escolares, pláticas en centros educativos, exposiciones, cafés científicos, recorridos temáticos, obras de teatro, divulgación audiovisual, catálogos y obras impresas (Viccon *et al.* 2022, Hernández *et al.* 2022, Viccon *et al.* 2023), simposios, encuentros académicos y comunitarios, actividades orientadas al rescate de la planta sagrada conocida como cucharilla (*Dasyilirion achrotrichum*), banco de semillas criollas y nativas. Todas ellas son el eje del proyecto que tiene incidencia en la regiones norte y noreste de Guanajuato, territorios con la mayor riqueza biológica y cultural del estado.

Dichas actividades han permitido la salvaguarda, reconocimiento y la recuperación de los conocimientos tradicionales, cohesión comunitaria, divulgación de la ciencia, propagación de especies prioritarias, investigación y documentación de diversas prácticas ancestrales de los pueblos

² Hñöhñu: Lengua del pueblo Nöhñu (N. de los Ed.)

³ Uza': Lengua del pueblo Ézá'r (N. de los Ed.)

originarios, campesinos y comunidades equiparables en Guanajuato (Carrillo *et al.* 2024).

Conclusiones

Con el proyecto etnobiológico, el jardín botánico El Charco del Ingenio se dio a la tarea de difundir y sustentar las tareas primordiales de conservación ambiental, investigación y difusión. Este sitio excepcional ha sido proyectado no solo como destino de conservación biológica sino también como espacio de confluencia comunitaria para la población local, con énfasis en la educación ambiental de los más jóvenes y en la construcción de una cultura de respeto y cuidado hacia la naturaleza. Este proyecto ha sido fundamental para invertir esfuerzos en la conservación de los recursos bióticos al tiempo de preservar sus usos asociados, es decir, el patrimonio biocultural. En conclusión, cumple un rol social en la región como proyecto comunitario de resistencia biocultural.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por el financiamiento a través del proyecto RENAJEB-2023-07 y a la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos.

Plática disponible en Youtube:

<https://youtu.be/YWKfPwNZ9Sk?t=5784>

Referencias bibliográficas

- Alberich, T. (2008). *IAP redes y mapas sociales: desde la intervención hasta la acción social*. Universidad de Jaén. España.
- Carrillo, G., Hernández, M. A., Viccon, J., Ortega, R., Castillo, J. (2024). Jardines Etnobiológicos: una contribución a la conservación biológica y cultural de México. *La Jornada del campo*, pp. 1-10. (16 de noviembre)
- Hernández, M. A., Viccon, Avalos, M. I. (2022). *Herbolaria ancestral del norte y noreste de Guanajuato, aportes desde el Jardín Etnobiológico El Charco del Ingenio*. El Charco del Ingenio, A.C., Guanajuato, México.
- Viccon, J., Arias, S., Cristians, S., Hernández, M., Castro, A., Cetzal, I., Rivas, M., Escalante, J. R., Luna, J., Díaz, M. (Eds.) (2023). *México megadiverso visto a través de sus jardines y sus protagonistas*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos (AMJB). Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT). México.
- Viccon, J. Hernández, M. A., Castro, R., Avalos, M. I., García-Granados, M., Vázquez-Ramírez, A. K. (2022). *Manejo sustentable de *Dasyllirion acrotrichum* (Chimal, Cucharilla)*. El Charco del Ingenio, A. C., México.

Restos vegetales en ofrenda prehispánica de Cadereyta, Querétaro

Elizabeth Mejía Pérez Campos 1* y Aurora Montúfar López*

¹ INAH Laboratorios

¹ INAH Querétaro

*toluquilla.elizabeth@gmail.com

Resumen

Los restos vegetales prehispánicos son un hecho excepcional que ocurre en lugares donde las condiciones climáticas se mantienen estables. En este trabajo se expone el contexto de hallazgo de restos momificados y vegetales del preclásico en Querétaro.

Palabras clave: Cadereyta, restos vegetales, preclásico, Querétaro

Abstract

Pre-Hispanic plant remains are an exceptional occurrence that occurs in places where climatic conditions remain stable. This paper presents the context of the discovery of mummified remains and plants from the Preclassic period in Querétaro.

Key words: Cadereyta, plant remains, preclásico, Querétaro

Importancia para la conservación

El estudio de los materiales vegetales de un contexto prehispánico permite acercarnos a conocer los recursos a los que los antiguos habitantes tuvieron acceso, lo que incluye varios hábitats, tanto de la cima del macizo montañoso de El Doctor, como del semidesierto.

Introducción

En 2002, el ministerio público de Cadereyta de Montes recibió información de la localización de restos humanos en las cercanías de la comunidad de Altamira, ubicada al extremo este del municipio, en el gran macizo de El Doctor. Los restos fueron llevados a las oficinas de la cabecera municipal, al mismo tiempo que se notificaba al Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) para su revisión y luego fueron entregados para su estudio. Además de hacer una visita exploratoria al lugar del hallazgo.

El sitio es un abrigo rocoso de unos ocho metros de frente, un metro con cuarenta centímetros de alto y unos cinco metros de fondo. Se compone de dos cámaras. En la más pequeña depositaron del cuerpo. La excavación abarcó el lugar del depósito, donde localizamos la intrusión formada al colocar el cuerpo. Alrededor de la intrusión se localizaron restos de piel, textiles y materiales vegetales. Debajo del cuerpo se halló una cama de hojas, acículas de pino, fibras vegetales, trenzas de cabello humano y un grupo de plumas de aves atadas con un cordel y sujetas a un armazón de madera (Valentín Maldonado, 2024). En la segunda cámara solamente se encontró material cerámico y lítico.

Métodos

El cuerpo. El trabajo se realizó en varias etapas que incluyeron estudios de carbono 13 y 14, restauración, fumigación, rayos X, una tomografía, una endoscopía y revisiones ópticas del cuerpo. Se tomaron muestras para datación y ADN antes de aplicar fungicidas y fumigantes. Para los estudios laparoscópicos, se emplearon roturas y orificios preexistentes para no deteriorar el cuerpo. Además, para cada estudio se solicitaron los permisos correspondientes y en caso de los traslados se pagaron los seguros temporales correspondientes.

Materiales vegetales. Se aplicaron técnicas de conservación mecánica manual y, posteriormente, se llevaron a cabo estudios de identificación de especies en los laboratorios del INAH de la Ciudad de México.

Material cerámico y lítico. Se hizo la limpieza manual, y análisis ópticos simples.

Resultados

Se trata de una infanta de aproximadamente dos años, enterrada en una fosa simple clavada en el sedimento, que fue amortajada y colocada con una ofrenda de materiales vegetales. Años después la fosa fue alterada y el cuerpo fue levantado retirándole el brazo izquierdo y destruyendo la mortaja y volviéndola a colocar. La momificación fue natural por lo que conserva todos sus órganos internos basculado al costado izquierdo, ya que fue colocada en posición decúbito lateral izquierdo (Chávez, 2024).

Durante la excavación se observó que primero colocaron una capa de hojas y acículas de pino, sobre esto un brazalete de plumas de cigüeña y sobre ello el cuerpo amortajado con un lienzo de algodón burdo, tipo jerga, de tres colores, rojo, negro y color crudo.

Los datos florístico-arqueológicos se obtuvieron de diez muestras, donde se observa la existencia de restos foliares de elementos arbóreos: dos tipos diferentes de hojas de encinos del género *Quercus* y algunos foliolos de uña de gato (*Acacia* sp) y de huizache (*Vachellia farnesiana*). Otro árbol encontrado en el contexto arqueológico estudiado es el olmo (*Acer* sp), según los restos de sus semillas. Del semidesierto se hallaron fragmentos de pencas de maguey, haces de fibras, un gabazo y algunas raíces de esas mismas plantas. De acuerdo con el tamaño, forma y textura, principalmente de las espinas apicales, entre otras características morfológicas, se sugiere la existencia de tres especies de maguey: *Agave salmiana* (maguey manso); *A. angustifolia* (mezcal o espadín) y *A. lechuguilla*. De este último había fragmentos de cordel, uno de ellos trenzado. Igualmente se halló una pequeña fracción de cordel de algodón (*Gossypium hirsutum*). También se registraron segmentos de carbón, madera y flores, tallos de pastos, numerosos restos foliares de *Dasyllirion* sp (cucharilla o sotol), un pequeño fragmento de hoja

de *Brahea* sp. (palma de abanico), vainas de leguminosas y algunas espinas y areolas (estructuras espinosas que caracterizan a las cactáceas), las cuales parecen representar plantas de biznagas de los géneros *Echinofossulocactus*¹ y *Ferocactus*, además de los frutos llamados chilitos del género *Mammillaria*. Las semillas recuperadas en torno al enterramiento que nos ocupa, pertenecen a plantas de nopal (*Opuntia* sp.) y a varias herbáceas de los géneros *Chenopodium*, *Helianthus*, *Ipomoea*, *Lithospermum*, *Panicum* y *Solanum*, y de las familias Asteraceae, Poaceae, Fabaceae y Apiaceae. (Montufar, 2024, en Mejía & Chávez).

Sobre la importancia en el uso tradicional de varias especies encontradas en el entierro, se pueden mencionar a las biznagas (de los géneros *Ferocactus* y *Echinocactus*), que son la materia prima del dulce conocido como acitrón. Con respecto a las hierbas, varias de ellas crecen entre los cultivos y se usan con frecuencia como forraje (asteráceas, gramíneas, *Solanum* spp, etcétera) o en la medicina, por ejemplo, el *Chenopodium*, al que se le atribuyen propiedades vermífugas, es aromático y se utiliza como condimento.

El material arqueológico se depositó en dos estratos. El más profundo tiene materiales líticos de épocas arcaicas, esto es entre 2,000 y 1,000 años antes del presente, y en el estrato más superficial se encontró material cerámico que corresponde al epiclasico, esto es entre 600 y 1,200 D.C. (Herrera & Mejía, 2024).

Discusión

Los materiales muestran una larga ocupación continua de la cueva, lo que abarca del 2,000 A.C. hasta el 1,200 D.C. En el año 340 A.C. se enterró a la niña, lo que se corroboró con dos dataciones, una de la piel y otra de la mortaja. La cueva se continuó utilizando, y quizás la profanación del cuerpo ocurrió en época antigua.

El abrigo rocoso donde se encontró el entierro nunca fue una vivienda permanente. Al

parecer sirvió como resguardo y para el enterramiento. Suponemos que la familia de la pequeña puede haber vivido en el sitio arqueológico de Toluquilla (Cadereyta de Montes), que es el de mayor tamaño y con recursos para tener acceso a los recursos vegetales de todos los hábitats, además de objetos suntuarios de élite. La ocupación del abrigo rocoso ocurrió porque este lugar tenía gran significado, y pertenecía al territorio controlado por el mismo grupo.

En el contexto de la momia convergen por lo menos dos ecosistemas, uno está representado por el bosque templado de encinos (*Quercus* sp.), en el que conviven olmos (*Acer* sp.) y palmas (*Brahea* sp.) y cucharilla (*Dasyllirion* sp.) y en ocasiones algunos magueyes (*Agave* sp.), principalmente los pulqueros. Estos encinares dan paso a un matorral xerófilo, de clima semidesértico en donde son comunes las asociaciones de matorral micrófilo, cuyos representantes más conspicuos son las leguminosas con hojas minúsculas, como el huizache, uña de gato (*Vachellia* sp. y *Mimosa* sp.), o bien de matorrales crassicaules, en los cuales son frecuentes las plantas suculentas como los magueyes (*Agave* sp) y las cactáceas (como *Ferocactus*, *Mammillaria*, *Opuntia*). Las plantas herbáceas de los géneros y familias registradas se suelen desarrollar en diversos ecosistemas, especialmente como plantas arvenses o ruderales (entre las milpas o en los caminos), (Montufar, 2024).

Conclusiones

Hallar el entierro de un niño pequeño con objetos suntuarios tiene gran significado, ya que el niño no ha ganado un lugar en su comunidad. Observamos el papel de la familia y su posición social en el acceso a objetos suntuarios, como fue la mortaja de algodón y el brazalete de plumas.

Este contexto permite conocer las costumbres funerarias de épocas tempranas en el sur de la Sierra Gorda, permitiendo conocer el acceso a

¹ Actualmente, el género *Echinofossulocactus* se acepta mayoritariamente como *Stenocactus*. (N. del E.)

recursos no disponibles en la zona. Por ejemplo, el acceso a textiles de algodón, que tuvieron que provenir del norte de la sierra, donde existen las condiciones para el cultivo de algodón y su procesamiento; además, seguramente también en las lagunas del norte es posible cazar y obtener las plumas de aves migratorias encontradas como las de las cigüeñas (Valentín Maldonado, 2024).

Plática disponible en Youtube:

<https://youtu.be/YWKfPwNZ9Sk?t=6710>

Referencias bibliográficas

- Chávez, X. (2024). Análisis bioarqueológicos de los restos humanos momificados. En Mejía, E. y Chávez, X. (Eds.). *La niña momificada de la Sierra Gorda de Querétaro: estudio integral interdisciplinario*. INAH. IIA-UNAM, pp- 169-182.
- Herrera, A. & Mejía, E. (2024). Material cultural del contexto de enterramientos: los restos cerámicos y líticos. En: Mejía, E. & Chávez, X. (Eds.). *La niña momificada de la Sierra Gorda de Querétaro: estudio integral interdisciplinario*. INAH. IIA-UNAM, pp- 215-230.
- Mejía, E. y Chávez, X., (Eds.). (2024). *La niña momificada de la Sierra Gorda de Querétaro: estudio integral interdisciplinario*. INAH. IIA-UNAM,
- Montufar, A. (2024). Estudio arqueobotánico. En Mejía, E. & Chávez, X. (Eds.). *La niña momificada de la Sierra Gorda de Querétaro: estudio integral interdisciplinario*. INAH. IIA-UNAM, pp- 195-206.
- Valentín Maldonado, N. (2024). Identificación de las plumas con los restos humanos momificados. Mejía, E. y Chávez, X. (Eds.). *La niña momificada de la Sierra Gorda de Querétaro: estudio integral interdisciplinario*. INAH. IIA-UNAM, pp- 207-214.

Jardín Botánico Regional de Cadereyta: Geosítio del Proyecto Geoparque Triángulo Sagrado

Gerardo J. Aguirre-Díaz^{1*}, Franco Pielli-Espinosa² y Geraldine V. Vázquez-Alarcón²

¹Instituto de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla-Querétaro; ger@geociencias.unam.mx.

²Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM-Juriquilla-Querétaro;
francopielli108@ciencias.unam.mx, geraldinevazal@ciencias.unam.mx

Resumen

El Jardín Botánico Regional de Cadereyta es un geosítio del Proyecto Geoparque Mundial UNESCO Triángulo Sagrado. Es un sitio excepcional donde se proporciona al visitante y público en general la información de la flora del semidesierto y se promueve la educación y conservación. Hasta ahora, se ha enfatizado la parte biológica-ambiental, y hace falta la parte geológica. Este trabajo proporciona la información de los procesos geológicos que formaron el sustrato rocoso del lugar.

Palabras clave: geología, Semidesierto, Querétaro, geodiversidad, biodiversidad, paisaje

Abstract

The Cadereyta Regional Botanical Garden is a geosite within the Sacred Triangle UNESCO Global Geopark Project. It is an exceptional site that provides visitors and the public with information about semidesert flora and promotes education and conservation. So far, the biological-environmental aspect has been emphasized, but the geological explanation of the rocks in the botanical garden is needed so that visitors to this place, and the general public interested in this natural space, can have a comprehensive view of how this landscape was formed. This work provides information on the geological processes that formed the rocky substrate of the site.

Keywords: geology, Semi-desert, Querétaro, geodiversity, biodiversity, landscape

Importancia para la conservación

El conocimiento del sustrato rocoso donde se desarrolló el Jardín Botánico Regional de Cadereyta es importante para valorar los procesos geológicos que tuvieron que suceder a lo largo de millones de años, y formar el relieve y el basamento sobre el cual se estableció la biodiversidad que ahora observamos. La conservación de este patrimonio geológico y biológico es fundamental para seguirlo disfrutando hoy y durante las futuras generaciones.

Introducción

El Jardín Botánico Regional de Cadereyta del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ), es un lugar de gran importancia para la educación, divulgación y conservación de la flora del Semidesierto Queretano. Su impacto y trayectoria es de nivel mundial, por lo que es un sitio emblemático del Estado de Querétaro.

Desde su fundación en 1991 (CONCYTEQ, 2025), el jardín botánico ha enfatizado el conocimiento y conservación de la flora de la región, conectándolo con la cultura y educación. Sin embargo, es necesaria la inclusión de la información geológica del sitio donde se encuentra. Es importante vincular el conocimiento sobre el sustrato donde se desarrolló la biodiversidad del área, y los procesos geológicos que sucedieron para formar el paisaje actual.

El jardín botánico es un geosito emblemático del Proyecto Geoparque Mundial UNESCO Triángulo Sagrado (Aguirre-Díaz *et al.*, 2021), un proyecto que combina la geodiversidad, biodiversidad, la divulgación de la ciencia y la educación.

1. Geología Regional. El jardín botánico se ubica en la Provincia del Cinturón Volcánico Mexicano (Figura 1), que cruza el centro de México de costa a costa. El vulcanismo de esta provincia es causado por la subducción de las placas oceánicas de Cocos-Rivera debajo de la placa continental de Norte América a lo largo de la Trinchera Mesoamericana (Aguirre-Díaz, 1996; Aguirre-Díaz *et al.* 1998) (Figura 1). La parte norte de esta provincia en general contiene al vulcanismo antiguo y extinto de la provincia (Plioceno-Mioceno), y la parte sur al vulcanismo más reciente y activo (Cuaternario). El jardín botánico se encuentra en la zona ya extinta de la provincia.

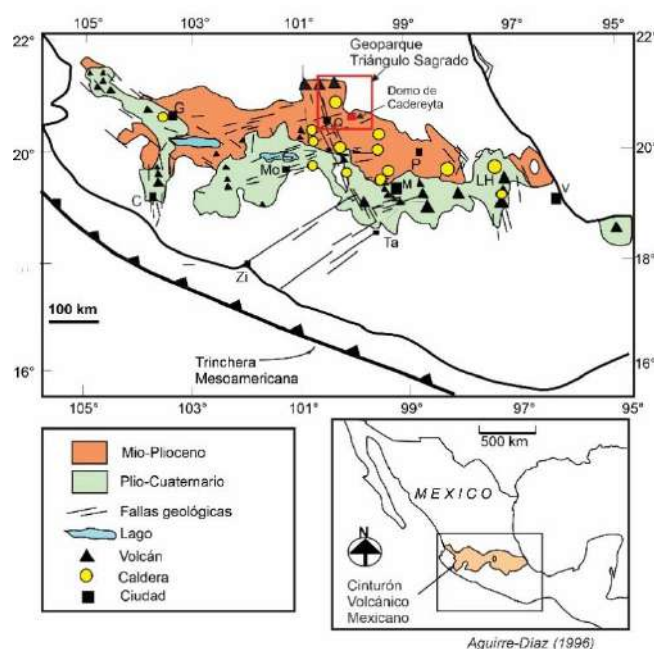


Figura 1. Mapa índice regional del geosito Jardín Botánico Regional de Cadereyta y su contexto tectónico en el Cinturón Volcánico Mexicano. Tomado de Aguirre-Díaz, 1996.

2. Geología Local. El jardín botánico está en una zona donde abundan los domos volcánicos, en la porción centro-oriental del Estado de Querétaro. Los domos son del Mioceno (12 a 6 millones de años). Entre este grupo se tiene al domo Cadereyta, el cual tiene una morfología irregular visto en planta (Figura 2), con diámetro de 9×13 km.

Los domos volcánicos son masas de lava relativamente más viscosa (menos fluida) que las lavas de volcanes clásicos, por lo que no fluyen muy lejos de su conducto, enfriándose y formando un derrame grueso y corto, que tapa el conducto sin llegar a formar un cráter. Según la clasificación de Blake (1990) normalmente son de tres tipos (Figura 3): 1) formando lóbulos o mesetas de corta extensión (domo tipo colada), 2) con forma de cúpula (domo tipo cúpula), y 3) formando picos (domo tipo espina).

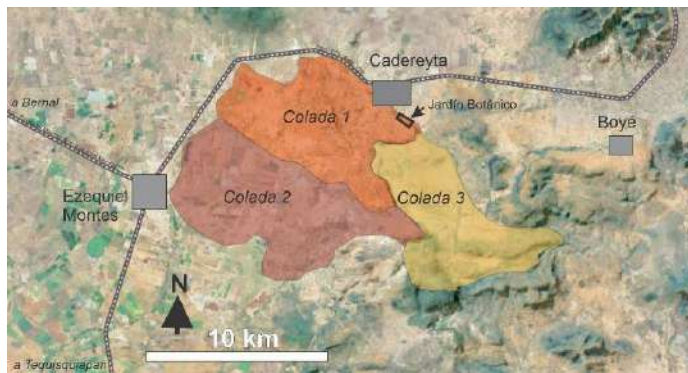


Figura 2. Mapa índice local del domo Cadereyta mostrando su carácter poligénico con tres coladas sobrepuestas, en base imagen satelital (Google Earth).

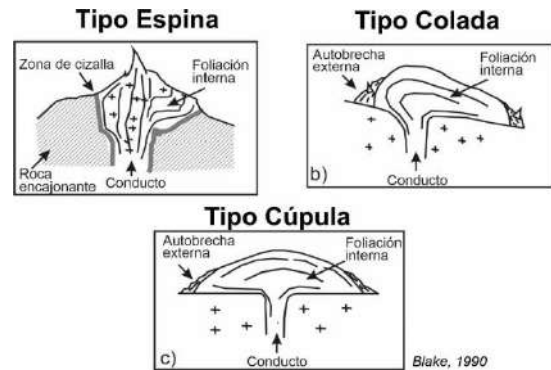


Figura 3. Clasificación de domos volcánicos de Blake (1990, modificado).

El domo Cadereyta es de tipo colada-poligénico, es decir, compuesto de varias coladas que fueron acumulándose durante el tiempo que estuvo activo llegando a formar una meseta elevada (Figura 4). Cada lava fue precedida de una erupción explosiva que formó depósitos piroclásticos.

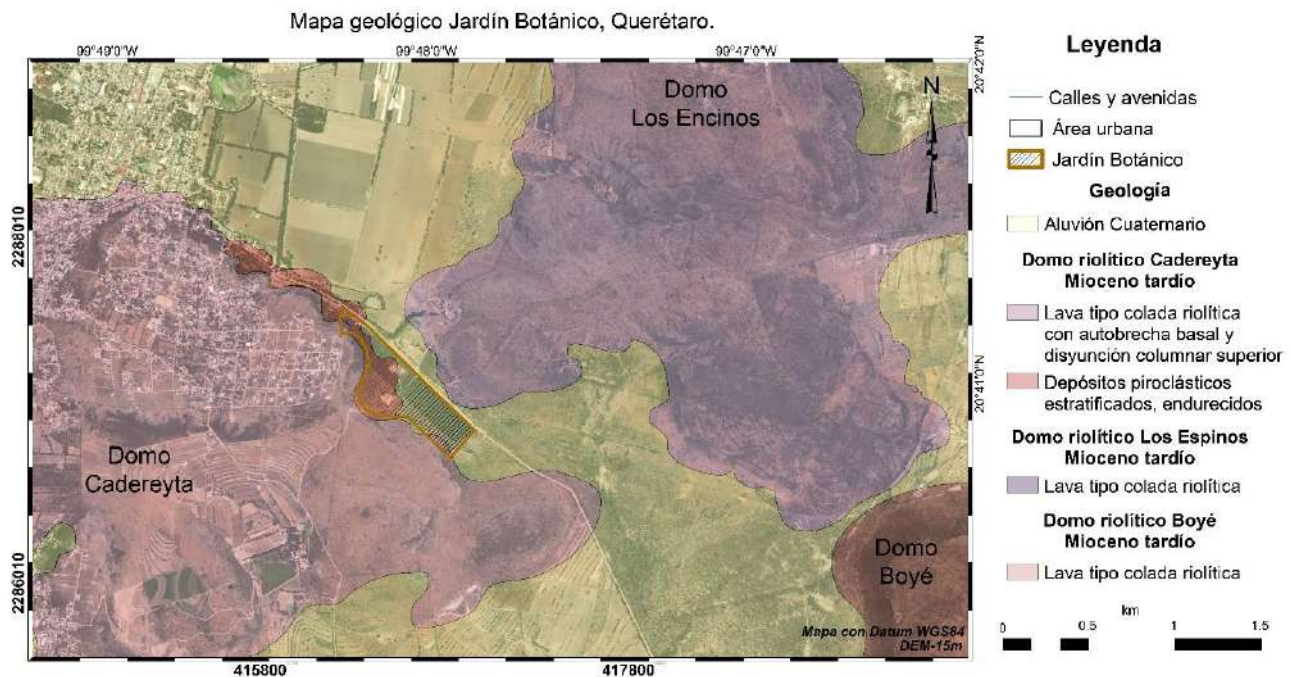


Figura 4. Mapa geológico del domo Cadereyta.

3. ¿Qué es y cómo se formó el Cantil? La pared de roca al fondo del jardín botánico se conoce como El Cantil. Es un sitio elevado que incluye los “lloraderos”, pequeños manantiales que nacen en

esa pared. El Cantil corresponde al borde de una de las coladas del domo Cadereyta. Es un lugar excepcional y didáctico para observar un corte

vertical de una colada de lava, bien expuesta y de fácil acceso gracias a los senderos enlosados.

La secuencia, de base a cima (Figura 5), incluye depósitos piroclásticos café claro en estratos delgados, de 10 cm a 1 m de espesor, compuestos de depósitos de flujos piroclásticos y ceniza o lapilli de caída. Le sigue una brecha de lava monolitológica, compuesta de bloques de lava riolítica, con algunos fragmentos negros de obsidiana. Los clastos son angulosos a subangulosos, de textura porfírica, con escasos fenocristales de plagioclasa y cuarzo en una matriz vítrea. Sobre esta brecha, se tiene una zona en forma de lentes alargados y discontinuos de lava riolítica con esferulitas (esferas formadas por desvitrificación), con bandeamiento de flujo subhorizontal, y con espesores máximos de 50 cm. Sigue la parte principal del Cantil, un escarpe formado por un grueso derrame de lava riolítica, gris claro o café claro, con 10 a 25 metros de altura. Se caracteriza por tener dos zonas, la inferior con lajeamiento horizontal-ondulado, y la zona superior, con fracturamiento vertical formando columnas por enfriamiento.

El origen y formación del Cantil se muestra en la Figura 6. Inicia con erupciones explosivas de oleadas piroclásticas, en forma de nubes de ceniza que viajan rápidamente sobre el terreno; acompañadas de columnas eruptivas que producen lluvia de ceniza y lapilli. Le sigue un derrame de lava riolítica que avanzó de sur a norte hasta detenerse en donde se ubica el Cantil.

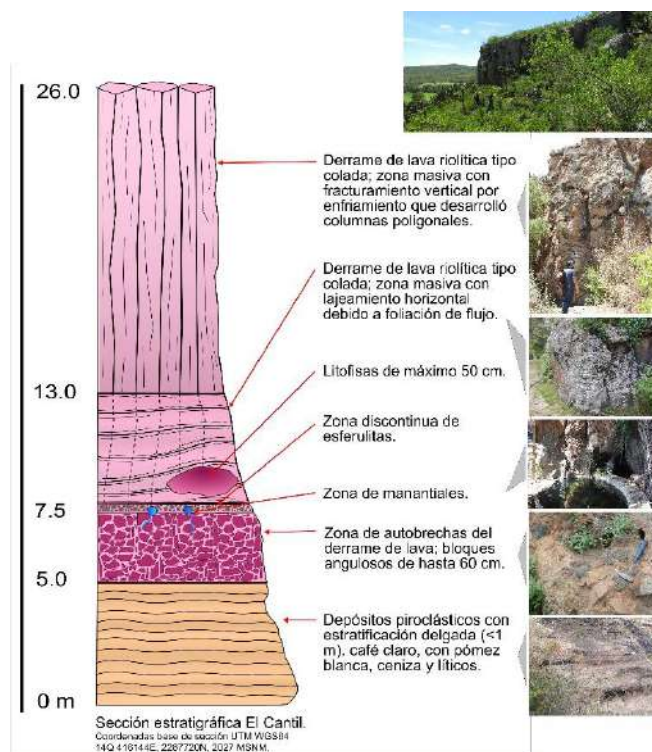


Figura 5. Sección estratigráfica esquemática de El Cantil.

Al contacto con el aire y el suelo, más fríos, los bordes de esta lava se enfrían rápidamente y se forma una costra externa de vidrio volcánico, que se rompe y despedaza en bloques angulosos debido al empuje del flujo interno, aún caliente y moviéndose, formando una zona externa como a lava autobrechada. Sobre esta zona de autobrecha se encuentra una lava masiva con una zona inferior con foliación de flujo subhorizontal y una zona superior más gruesa con prismas columnares que se desarrollan por enfriamiento de la lava una vez que ésta se detiene. Justo en la zona de contacto entre la lava masiva y la autobrecha se forman los manantiales de “los lloraderos”, que aprovechan las fracturas verticales y se detienen en la autobrecha por un cambio de permeabilidad entre estas rocas. Otros rasgos en la base del derrame de lava son oquedades elípticas con hasta 50 cm de diámetro; éstas se originan por acumulación de gases volcánicos formando “burbujas” en la lava; se conocen como litofis, o lithophysae, que en griego significa “burbuja en roca”.

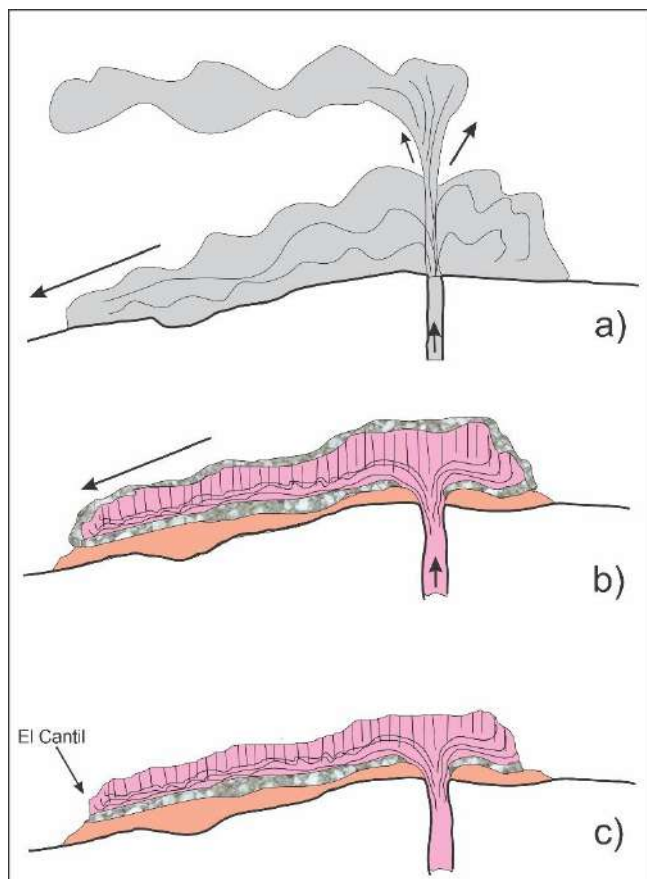


Figura 6. Esquema que muestra las fases eruptivas que dieron lugar a El Cantil: a) Erupciones explosivas formadoras de secuencia piroclástica, b) Derrame de lava tipo colada con desarrollo de autobrecha y columnas de enfriamiento, c) Derrame de lava después de erosión de millones de años.

Conclusiones

La descripción geológica e interpretación de los procesos volcánicos de la zona conocida como El Cantil, del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, permite un mejor conocimiento de la naturaleza del lugar, contando ahora con la información geológica, y haciendo la visita del público en general más interesante y educativa, habiendo aprendido desde qué es y cómo se formó el sustrato rocoso, a partir del cual se estableció la flora en el magnífico jardín, representante del Semidesierto Queretano, y geosito emblemático del Proyecto Geoparque Mundial UNESCO Triángulo Sagrado.

Agradecimientos. Con financiamiento de DGAPA-UNAM, proyectos PAPIME PE102822, PE101324 y PAPIIT IN108621, IN106125.

Plática disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=YWKfPwNZ9Sk&t=7944s>

Referencias bibliográficas

- Aguirre-Díaz, G. J. (1996). Volcanic stratigraphy of the Amealco caldera and vicinity, Central Mexican Volcanic Belt: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13: 10-51; 1026-8774.
- Aguirre-Díaz G. J., Capra, L., Vázquez-Alarcón, G. V. (2021). Sacred Triangle Geopark Aspirant, Querétaro, Mexico. In: *Geoparks, Sustainable Tourism and Local Development*, edited by UNESCO-México, Oficina en México de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, MEX/SC/2021/PI/01, pp. 113-137; <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380262.locale=es>.
- Aguirre-Díaz, G. J., Ferrari, L., Nelson, S. A., Carrasco-Núñez, G., López-Martínez, M., Urrutia-Fucugauchi, J. (1998). El Cinturón Volcánico Mexicano: Un Nuevo Proyecto Multidisciplinario. *GEOS, Unión Geofísica Mexicana*, 18(2): 131-138. ISSN: 0186-1891 <http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/geos1998.html>
- Blake, S. (1990) Viscoplastic models of lava domes, In Fink J. H., ed., *Lava Flow and Domes*, Springer-Verlag, p. 88-126.
- CONCYTEQ, (2025) Jardín Botánico Regional de Cadereyta-CONCYTEQ, portal WEB oficial. Disponible en: <https://www.jbrc.concyteq.edu.mx/> (Consulta efectuada en junio de 2025).

Glosario¹

bandeado. Aspecto bandeado en rocas volcánicas que se forman durante el flujo diferencial de una lava viscosa donde una banda se mueve relativamente más lento o rápido que la banda adyacente.

autobrecha. Zona externa de un derrame de lava que se enfría rápidamente en contacto con el entorno frío (aire, suelo), y que se rompe en fragmentos angulosos de la misma lava por el empuje de la zona interna del flujo de lava aún en movimiento.

clasto. Fragmento de cualquier material geológico, sin importar su tamaño, tanto de origen ígneo, metamórfico, sedimentario o paleontológico.

feldespató. Mineral de origen ígneo formado por silicatos aluminicos de potasio, sodio y calcio.

fenocristales. v. **textura porfírica.**

lapilli. Producto ocasionado por una erupción explosiva que fragmenta el magma en varios tamaños; el lapilli corresponde a los clastos con diámetros entre 64 y 2 mm.

piroclástico. Relacionado con depósitos o rocas clásticas formadas durante erupciones explosivas.

plagioclasa. Un tipo de feldespató con composiciones comprendidas entre la albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y la anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) que son los extremos de la serie.

riolita. Roca volcánica, subalcalina o alcalina, ácida, rica en vidrio y con cristales de cuarzo, feldespató alcalino y biotita y generalmente con textura fluidal debido a su alta viscosidad. También se relaciona con la clasificación química de productos volcánicos que pueden ser depósitos piroclásticos o lavas.

subducción. Proceso geológico asociado a la convergencia de placas litosféricas, según el cual una placa se hunde bajo otra contigua debido a la tectónica de placas.

textura porfírica. Textura de algunas rocas volcánicas e intrusivas en las que se aprecia una matriz microcristalina, vítrea o una mezcla de ambas, que engloba cristales de mayor tamaño llamados fenocristales.

vulcanismo. Conjunto de fenómenos y procesos que tienen relación con erupciones volcánicas.

¹Glosario de los Editores. Adaptado de: RACEFN. 2020. *Glosario de Geología*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Disponible en:

https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm (Consulta efectuada en octubre de 2025).

El oráculo de Delfos y su sabiduría para regresar la naturaleza humana a la naturaleza: Consiliencia + concordia + derecho ecológico

Pedro Joaquín Gutiérrez-Yurrita
Instituto Politécnico Nacional (Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo)
pgutierrezy@ipn.mx

I. Introducción

Se dice que el templo de Apolo en Delfos, tenía como principal función ser un oráculo que orientara las decisiones políticas sobre la mejor conducción de las ciudades. Obviamente es muy corta esta función, dado que al templo llegaban miríadas de personas locales y extranjeras a consultarlo. La pitonisa escuchaba la pregunta y respondía bajo trance mientras se conectaba con Apolo. Si al día de hoyuviésemos la creencia de que la respuesta a cómo mejorar la conservación de la naturaleza con una población humana de más de 8,244,602,894 personas y un crecimiento poblacional por día de unas 10 mil personas (contador mundial consultado el 4/09/2025 a las 12:12)¹, nos la diera Apolo, para poder elaborar la política mundial de desarrollo sostenible y cumplir con sus 18 objetivos, diría algo así:

*«Pregunta compleja esta es, pero escuchad, hijos de la Tierra: el mundo artificial que habéis creado se expande, la población humana crece como un río que no se detiene, y los objetivos que buscáis cumplir son como estrellas que deben guiar vuestra travesía. Para no perder el rumbo, debéis seguir tres hilos dorados que entretejen la vida toda del planeta:
Consiliencia, Concordia y Derecho Ecológico».*

La respuesta del oráculo es, sin lugar a dudas, estremecedora, por lo que su glosa debe ser abierta necesariamente para comprenderla en toda su magnitud; para tal propósito recordaremos lo que

señalan los libros sagrados, empezar por el principio, y «en el principio era el *verbo*», pero todavía antes, «en un más principio era *logos*». El *verbo* es la dignificación del conocimiento primigenio, *logos*; de tal manera que iniciaré por el *arché* o el principio de cada hilo dorado en su orden de aparición cronológica.

Consiliencia [el hilo de la sabiduría]:

- Une todas las fuentes de conocimiento: las ciencias de la tierra; la economía individual y del Estado; la historia de la humanidad, de sus culturas con su moral y ética personal de cada época.
- Solo comprendiendo cómo interactúan los bosques, los ríos, los mares y los humanos con sus grandes impactos (ciudades, campos agrícolas...); o pequeños impactos (conservación biológica, remediación ambiental...), se podrían anticipar las consecuencias de cada acción, con algún grado de error previamente establecido.
- Predice que cada decisión que no integre saberes diversos llevará al desbalance y a la pérdida de los recursos naturales tan necesarios para la subsistencia humana, al menos como la conocemos.

¹ <https://www.worldometers.info/es/poblacion-mundial/>

Concordia [el hilo del balance]:

- Armoniza los intereses que parecen opuestos: producción de alimentos, desarrollo humano y protección de la vida silvestre.
- Sólo cuando las personas del medio rural (agricultores, forestales); del medio natural (comunidades originarias dentro de Áreas Naturales Protegidas y Bosques Nacionales); del medio humano (pueblos, ciudades); los gobernantes, las personas civiles y las empresas se sientan parte de un mismo pacto, el pacto por la naturaleza, que en sí mismo es un pacto para nuestra supervivencia, surgirán soluciones duraderas (desarrollo duradero, traducido como desarrollo sostenible).
- Enseña que el conflicto sin diálogo rompe la paz social y destruye ecosistemas naturales o antropomas; el acuerdo y la cooperación restauran el bienestar de la sociedad y de las personas como individuos, junto con su espíritu de pertenencia a algo más grande, a los ecosistemas, a ser parte del planeta Tierra.

Derecho Ecológico [el hilo de la justicia socioambiental]:

- El derecho es base fundamental para la libertad (*Ex lege libertas*) en el sentido en el cual establece límites en nuestros derechos y responsabilidades. El derecho ecológico es operativo, a diferencia del derecho ambiental, que es de función administrativa; reconoce a la naturaleza como sujeto digno de respeto y protección. Por eso está tutelado por el Estado, con lo cual es sujeto de derechos subjetivos.
- Transforma la sabiduría (consiliencia) y la armonía (concordia) en normas que guían el comportamiento humano: leyes, incentivos, custodias de la biodiversidad, creando derechos objetivos respecto al ambiente. Dota de voz a los que no pueden hablar, dado que son sus derechos sustantivos. La voz de la naturaleza es la voz viva de la tierra que se alza cuando se cumple el mandato constitucional de protegerla y ejercer sus derechos adjetivos, para que se aproveche de

manera racional, respetando sus límites y procurando su rehabilitación continua.

- Así, la tierra deja de ser un objeto de explotación y se convierte en la gran comunidad de la que todos somos miembros.

II. Consiliencia

La palabra *Consiliencia* tiene su raíz etimológica en el latín: *con*: juntos; *saltio*: saltar; significa literalmente “saltar juntos” y se refiere la palabra a que cuando hay resultados de una misma cosa, o concepto, pero provenientes de diferentes campos o fenómenos, descubiertos de manera independiente, se hace un *con-saltio*, en el sentido de que de diversas formas se llegó a lo mismo y, por ende, los fenómenos convergen en una explicación común (Figura 1).

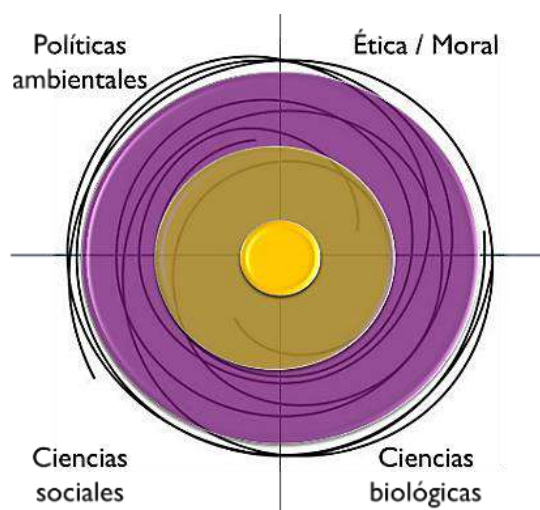


Figura 1. Representación esquemática de cómo diferentes saberes, cada uno con su método, su episteme y sus metas últimas, a través de sus espirales de conocimiento, se van acercando a un resultado en el cual convergen. El punto de convergencia los acerca y pueden profundizar más juntos que separados. Los saltos o pasos para adelantar deben ser simultáneos.

El filósofo William Whewell en su obra “*The Philosophy of the Inductive Sciences*” (1840) introdujo el término “*Consilience of Inductions*” para referirse a que la consiliencia de las inducciones surge cuando una inducción, obtenida a partir de una serie de hechos, coincide con una inducción obtenida por otra serie de hechos diferentes, el

ejemplo que propuso fue un análisis comparativo sobre las leyes de Kepler y las de Newton. Las leyes de Kepler enunciaban la razón por la cual los planetas describen elipses al girar alrededor del sol y sus cambios de velocidad al acercarse y alejarse de él; Newton explicó que la gravedad de los planetas (en este caso de la Tierra) fundamenta la trayectoria elíptica de los planetas y su cambio de velocidad. De esta manera, se crea un conocimiento unificado, la ciencia «saltó junta».

Edward O. Wilson (1998) recupera la práctica filosófica y científica de los trabajos de Whewell y le da otra perspectiva al término consiliencia, enfocándolo de manera más genérica en la unidad del conocimiento, en su libro “*Consilience: The Unity of Knowledge*”. Bajo esta orientación, el término se extiende a otras ciencias, saltando de las ciencias naturales (física, química, biología) hacia las ciencias sociales, las humanidades y, de manera especial, a la ética; con sus trabajos busca definir un concepto que integre el conocimiento actual de la humanidad superando la fragmentación disciplinar que hemos desarrollado por la especialización. Un poco lo hace en el sentido de la teoría del holismo propuesta por Jan Smuts (1926) en su tratado “*Holism and evolution*”. Sin embargo, llevando más al extremo la idea integradora del holismo, Charles Snow (1959) considera que la humanidad ha perfeccionado el conocimiento en unas áreas más que en otras y esa desigualdad nos ha llevado a perder de vista el todo; así, el pensamiento consiliente tuvo una renovada luz con su obra “*The Two Cultures and the Scientific Revolution*”.

El hecho de que la humanidad haya avanzado culturalmente por dos vías, humanidades y ciencia, y que cada día se separen más, es una señal de que si no se unen ambas metodologías (la interdisciplina es necesaria) será muy difícil resolver los problemas que oprimen al mundo, de acuerdo con el concepto de “*Ecología Rizomática*” acuñado por Pedro J. Gutiérrez-Yurrita (2017). Las ciencias son un todo (*holon*) pero a la vez son parte de un todo mayor (*Holo*), sin embargo, al estudiarlas analíticamente (*ana*: por completo; *lisis*: disolución, romper, esto es

separar las partes de algo en sus componentes) perdemos la noción del todo. La metáfora del rizoma como lo explican Gilles Deleuze y Félix Guattari (1980) en “*Capitalisme et schizophrénie (2): Mil plateaux*”, es llevada al plano de la alegoría en ecología debido a que nuestro entendimiento del mundo sólo puede ver lo que está en la superficie, lo que la naturaleza nos quiere mostrar, no lo que se esconde bajo tierra, lo que no podemos ver a simple vista y que tenemos que escudriñar, donde hay nodos de unión que a la vez son también centros de divergencias de las raicillas y estas multiplicidades son razón de su enriquecimiento; no se puede decir dónde comienzan, pero tampoco donde terminan y para finalizar, como podría haber dicho Jacques Monod (1970) en su libro “*Le Hasard et la Nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*”, el rizoma es teleonómico porque no tiene dirección ni orientación hacia dónde ir, por lo que su predicción resulta con alta incertidumbre en cada uno de los patrones que podemos dilucidar y acomodar para formar patrones más grandes, y así hasta intentar alcanzar el *Holo*, en un sentido smutsiano. Bajo este panorama intelectual y filosófico, Wilson plantea que la consiliencia es el camino para construir un marco común de comprensión entre biología, cultura y valores humanos.

En este trabajo referimos el concepto consiliencia como más antiguo que el de concordia dado que, si bien no existía como lo conocemos ahora, sí había en el mundo Jónico algo semejante, y les ayudó a saltar juntos en el conocimiento universal de su tiempo. La unidad del saber no es nueva, de hecho, recordando el libro de Snow señalado anteriormente, él se refería al *holismo de la segunda cultura*, dado que hubo una especie de holismo que él denomina *de la primera cultura*, en el maravilloso mundo helénico. Algunos pensadores jónicos de la Ciudad Mileto, como Tales, Anaximandro o Anaxímedes, buscaban lo mismo, la unidad del saber y la convergencia de explicaciones diversas en un principio común. Incluso Tales llegó a unificar el conocimiento de su cultura con su teoría unificada del agua. El agua era su *arché*, el principio

unificador; como el agua es fuente de vida, todo surgió de ella, la vida la necesita para subsistir y el ambiente no puede existir sin ella, como la tierra descansando sobre las aguas; todo emana del agua y todo vuelve a ella. Anaxímedes creía que el *arché* era el aire; posteriormente al mundo jónico, Heráclito pensó que el *arché* era el fuego. *Arché* (ἀρχή) era entonces, un principio un origen de las cosas, del mundo y del conocimiento. Así se podía entender el mundo en su conjunto *Physis* (φύσις) y, con estos elementos, construir una teoría unificada del conocimiento, el *logos* (λόγος).

Whewell comprendió que consiliencia, término acuñado quizá por él mismo, partió de estos conceptos helenísticos y los dotó como criterios epistemológicos de validez en la ciencia, en virtud de que, si varias teorías independientes coinciden, la explicación es más sólida; la visión de Smuts era más crítica respecto a la unidad del conocimiento, consideraba que nos apartamos del saber universal y, si no integramos los conocimientos, no podríamos entender al todo. Wilson (1975), por su parte, al modernizar dicho neologismo whewelliano, lo emplea como proyecto de unificación del saber humano, desde la biología hasta la filosofía, la ética y nuestro comportamiento respecto al ambiente natural, tema que le interesaba sobremanera y que ya con anterioridad quiso dejar plasmado en su libro más controversial, “*Sociobiology: The New Synthesis*”.

III. Concordia

La palabra concordia tiene tanto un significado etimológico como un uso epistemológico (en el campo del conocimiento y la filosofía). Su origen etimológico proviene del latín *concordia*, que se forma de: *cum* / *con-* = “con, junto, en unión” y *cor*, *cordis* = “corazón”. Literalmente significa: “*unión de corazones*”, es decir, coincidencia afectiva y de voluntades.

En Roma, *Concordia* fue incluso divinizada como la diosa de la armonía civil y se le dedicaron templos en el Foro Romano, representando la paz

entre ciudadanos y la cohesión política, de ahí que su significado epistemológico sea más amplio:

- *Armonía cognitiva y social*: un estado en el que los saberes, las opiniones o las prácticas encuentran coherencia y compatibilidad, reduciendo conflicto y contradicción.
- *Principio integrador*: dentro del pensamiento epistemológico, la concordia no es ausencia de diferencias, sino la capacidad de articularlas en un marco común de comprensión.
- *Condición de posibilidad del diálogo*: en teoría del conocimiento y hermenéutica, se asocia con la búsqueda de consenso racional o intersubjetivo, que permite validar y compartir conocimientos.
- *Categoría normativa*: en ética y filosofía política, la concordia implica un ideal de convivencia armónica sustentada en acuerdos racionales y reconocimiento mutuo, distinta de la mera “paz” (que puede ser solo ausencia de conflicto).

Dicho de otra forma, etimológicamente, concordia es la unión de corazones, mientras que epistemológicamente designa la capacidad de articular voluntades, saberes y perspectivas diversas en un marco armónico de comprensión y convivencia. Sin embargo, el término puede confundirse con uniformidad de pensamientos o acuerdo para realizar algunas acciones determinadas. La concordia, epistemológicamente hablando, no significa que todos piensen lo mismo ni pretende que todos en un futuro piensen igual; lo que persigue es alcanzar una coherencia respetuosa de la pluralidad. La concordia es el marco de armonización que posibilita el desarrollo de conocimiento compartido y convivencia social, a diferencia de la discordia que marca conflictos irreconciliables de voluntades. La Tabla 1 presenta una síntesis del concepto a través del tiempo y su comparación con consiliencia y derecho ecológico.

Tabla 1. Síntesis breve del concepto “Concordia” a través del tiempo, con las fuentes de origen principales, y comparación con los conceptos “Consiliencia” y “Derecho ecológico”.

Concepto / fuente	Definición / Núcleo	Semejanzas con los otros	Diferencias
<i>Physis</i> / Jónicos (siglo VI a. C.).	Totalidad de lo existente y su principio de transformación.	Búsqueda de unidad y coherencia en la diversidad de fenómenos (como consiliencia y concordia).	Explicación cosmológica, especulativa y ontológica, sin base científica inductiva.
<i>Arché</i> / Jónicos (siglo VI a. C.)	Principio originario que explica todos los fenómenos (agua, aire, fuego).	Función unificadora semejante a la consiliencia (explicaciones que convergen en un mismo fundamento).	Ontológico y material (un elemento como origen), no epistemológico ni normativo.
<i>Logos</i> / Heráclito, tradición jónica ampliada (535 – 480 a. C)	Razón universal que ordena la diversidad y armoniza los opuestos.	Similar a concordia: busca equilibrio en la diferencia, unidad en la tensión.	Enfoque metafísico y filosófico; no busca validación empírica ni normas sociales.
<i>Consiliencia</i> / Whewell (1794-1866) (1840)	Convergencia de inducciones independientes que “saltan juntas” hacia una explicación común.	Se asemeja al <i>arché</i> en la función de unificar explicaciones; y al <i>logos</i> en cuanto busca coherencia.	Estrictamente epistemológica y científica, no cosmológica ni normativa.
<i>Consiliencia</i> / Wilson (1929-2021) (1998)	Unidad del conocimiento: integración de ciencias naturales, sociales y humanidades.	Comparte con concordia el ideal de mediación y síntesis de lo diverso (ciencia ↔ ética ↔ cultura).	Proyecto científico-cultural; no propone normas de convivencia, sino integración de saberes.
<i>Consiliencia</i> / Gutiérrez-Yurrita, enfoque ambiental y epistemológico (2017)	Principio unificador del conocimiento y enfoque epistemológico de conciliación entre producción, conservación y sociedad.	Une elementos de consiliencia (integración de saberes) y de <i>logos</i> (armonización de tensiones).	Aplicación concreta en sostenibilidad y gobernanza ambiental; busca equilibrio práctico entre naturaleza y cultura.
<i>Concordia</i> / Tradición clásica, jurídica y política (Derecho clásico romano, siglos II-III d. C.)	Armonía social y equilibrio normativo entre partes en conflicto.	Relacionada con el <i>logos</i> (armonía de opuestos) y con la consiliencia.	Es normativa y ética: regula relaciones sociales; no es científica ni cosmológica.

Se indica en **negritas** el año de la publicación.

IV. Derecho ecológico

El derecho ecológico se trata en el tema de la concordia y consiliencia debido a que difiere en concepto y alcances al bastante conocido derecho ambiental. Pero, empezando por el logo, como lo hemos hecho con los hilos dorados anteriores, derecho es una palabra que también proviene del latín; etimológicamente derecho: “*directum*”, que, en su sentido figurado, significa lo que está conforme a la regla, a la ley; lo que no se desvía a un lado, ni a otro. El derecho es lo que es recto. De manera coloquial, se dice que el derecho es la norma.

Fernando Flores y Gustavo Carvajal nos dicen, en su libro “*Nociones de derecho positivo*

mexicano” (1970), que actualmente para estudiar al derecho jurídico, es necesario tomar en cuenta otros saberes que no son o provienen de textos jurídicos, es decir para aplicar correctamente la norma, se requiere de *texto* y de *contexto* (hechos). La finalidad última de la invención del derecho en las sociedades humanas fue evitar que el hombre sea un lobo para el hombre, o dicho de manera más literal «*el hombre no es un hombre, sino un lobo para un extraño*» [el original fue en griego, pero se populariza por una comedia teatral de Tito Maccio Plauto²: *Lupus est homo homini, non homo, quom qualis sit non novit*].

El significado de la máxima, que posteriormente se reduce a «*el hombre es un lobo*

² Tito Maccio Plauto. “*Asinaria*”. La Biblioteca Latina. <https://www.thelatinlibrary.com/plautus/asinaria.shtml> (Consultado el 10/09/2025).

para el hombre» [*Homo homini lupus est*], hace referencia a que las personas en sociedad pueden comportarse con sus semejantes, especialmente cuando no conocen a las personas con quienes tratan (extraños), de manera “ferozmente competitiva”. El lobo representa la manera salvaje de este comportamiento al ser un depredador que ha estado ligado al desarrollo de las sociedades humanas desde sus inicios. Ya entrados en nuestra cultura occidental, Thomas Hobbes retoma dicha frase para significar la condición natural de los seres humanos en la cual, ante la falta de una autoridad civil, viven en una guerra constante entre sí, en su famoso libro del origen de las sociedades “*Leviathan, or The Matter, Forme and Power of a Common Wealth Ecclesiasticall and Civil*” (1651), de tal manera que el derecho en las sociedades es un conjunto de normas enfocadas a regir el comportamiento de la sociedad que nos lleve a alcanzar la justicia y el bien común.

Una vez comprendido qué es el derecho y su finalidad, entramos en el derecho público administrativo conocido como derecho ambiental, por tratar administrativamente la falta de cumplimiento de las normas ambientales, esto es, sólo impone sanciones y multas por daños al ambiente o por incumplir las normas. Una de las definiciones que más llama la atención para los modernos juristas mexicanos es la de Víctor Simental (2010) en su “*Derecho ambiental*”: «conjunto de normas jurídicas que regulan las actividades humanas y su impacto en el [medio] ambiente, buscando su preservación y un desarrollo sostenible». Sin embargo, su enfoque es antropocéntrico, ya que se centra en la protección de la salud humana frente a la contaminación y el deterioro de los recursos naturales, esto es, cuidamos el ambiente en primer lugar porque nos es conveniente y, posteriormente, buscamos su conservación para garantizar la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer las de las generaciones futuras. Como se ve, la protección a la naturaleza por lo que ella misma vale, no existe; o, al menos, no se ve de manera clara en el derecho ambiental.

El derecho ecológico emerge, entonces, como una alternativa para que el supuesto bien jurídico tutelado, llamado ambiente, sea el sujeto de protección sustantiva de las leyes. Primero, se hace referencia al ambiente natural o a la naturaleza poco antropofizada, no humana ni urbana, porque para ello ya existen otros tipos de derecho tanto público como privado. El derecho ecológico lleva la consigna de una justicia ambiental a diferencia de la justicia social o jurídica, en el sentido de que busca que la carga de la conservación no recaiga exclusivamente en las comunidades que habitan en ecosistemas prístinos o poco deteriorados. Es una justicia distributiva porque distribuye el peso de la protección de los procesos ecológicos entre todos nosotros: un recurso, por ejemplo, el agua, se distribuye en usos para riego, industria, consumo humano, consumo ganadero, pero se deja, necesariamente una gran parte para que se mantenga la función natural de los ecosistemas. No llevan la carga las personas que habitan en donde brota el agua y el mayor beneficio para las personas que habitan grandes residenciales urbanos.

Bajo este contexto, tenemos una especie de concordia con la naturaleza, de naturaleza normativa, valga la redundancia. Esta concordia normativa, en especial en órdenes o sistemas jurídicos de gobernanza —considerada ésta como sitios en donde el poder se distribuye entre múltiples actores (Estado, sociedad civil, sector privado, comunidades)—, es clave porque tiene las siguientes características:

1. Relevancia

- Sirve como principio orientador para gestionar la pluralidad de intereses;
- Garantiza que las normas conlleven políticas que de verdad sean públicas y construyan acuerdos sobre diálogo y reconocimiento mutuo, considerando que, en primera instancia, la comunidad está debidamente informada de la situación a tratar;
- Permite articular reglas legítimas que no solo emanen del Estado, sino de consensos intersubjetivos entre actores diversos;

- Refuerza la confianza social, indispensable en redes de cooperación.

2. **Ventajas**

- Legitimidad ampliada: al surgir de la participación y consenso, las normas tienen mayor aceptación social;
- Reducción de conflictos: la concordia promueve soluciones negociadas antes que imposiciones unilaterales;
- Integración transdisciplinaria y multisectorial: se facilita la cooperación entre saberes, sectores y niveles de gobierno;
- Cohesión social: crea un marco de convivencia en contextos de diversidad cultural y política.

3. **Riesgos**

- Lentitud en la toma de decisiones: alcanzar concordia en contextos complejos como distribución de recursos en áreas naturales protegidas, comunidades con alto rezago social y económico, por ejemplo, puede ser muy largo en tiempo;
- Riesgo de acuerdos superficiales: se pueden lograr compromisos mínimos que evaden los conflictos estructurales de fondo, estos acuerdos se conocen en política como consensos débiles;
- Desigualdad en la voz de los actores: aunque se busque concordia, algunos grupos con más poder simbólico o económico pueden dominar el proceso, incluso, el acceso a la información, a la participación activa y a la toma de decisiones, también está sesgada desfavoreciendo a personas cuyo español es funcional y tienen como lengua materna alguna prehispánica, o a personas analfabetas;
- Posible parálisis normativa: en caso de discordias persistentes, el sistema puede bloquearse al no lograr acuerdos.

4. **Retos principales**

- Garantizar inclusión real: que los actores vulnerables tengan voz efectiva y no solo

simbólica; vincular de manera pronta y efectiva el Acuerdo de Escazú³;

- Equilibrar rapidez y profundidad: combinar la necesidad de acuerdos con la urgencia de actuar frente a problemas complejos, como pueden ser las grandes crisis, declaradas por Naciones Unidas: del agua, de la biodiversidad, de la desertificación y claro, la crisis climática.
- Manejo de asimetrías de poder: evitar que la concordia normativa sea un disfraz de imposición de los grupos dominantes.
- Construir marcos flexibles: que permitan adaptarse a contextos cambiantes sin perder la legitimidad alcanzada.
- Institucionalización del diálogo: crear mecanismos permanentes (no eventuales) de concertación normativa.

5. **Coincidencias entre derecho ambiental y derecho ecológico**

- Comparten los mismos principios (etimológicamente, el término latino *principium* está compuesto por la raíz derivada de *pris*, que significa «lo antiguo» y «lo valioso») señalando que son para las ciencias jurídicas, “derechos concentrados” que pueden expresarse y justificar a diferentes normas, resultan ser mandatos de optimización, en tanto mandan la mejor conducta posible.
- Ambos derechos sirven para que se unifiquen las políticas en materia ambiental, se conviertan en políticas públicas de conservación, apostando por un futuro común promisorio para todos, bajo la filosofía del desarrollo sustentable como camino a la Sustentabilidad y bajo un tipo de gobierno relacional, muy semejante al enfoque moderno de la gobernanza.
- En ambos casos se aplicaría el mecanismo jurídico de concertación. Este sistema de justicia en México es reciente, y ha dejado a un lado el sistema adversarial; incorpora mecanismos de mediación que buscan resolver conflictos sin

³ “Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, a la Participación Pública y a la Justicia en Asuntos Ambientales”, conocido como Acuerdo de Escazú fue ratificado por el Senado de la República el 5 de noviembre de 2020 y entró en vigor y

de obligado cumplimiento, el 22 de abril de 2021.

<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/el-acuerdo-de-escazu>

llegar a una sentencia impuesta, promoviendo la concordia normativa. Estos mecanismos se conocen como Medios Alternativos de Solución de Controversias (MASC) y están previstos en la Constitución mexicana en su Artículo 17.

V Sincretismo científico

El "*sincretismo científico*" como le llamo, para separarlo abiertamente del concepto original de sincretismo que va más en el sentido de amalgamar diferentes creencias religiosas, corrientes filosóficas o ideas espirituales, como lo difundió Erasmo de Róterdam al introducir el neologismo latino *syncretismus* en sus vastos escritos de filosofía, teología y más durante el siglo XVI. Pero siguiendo nuestra tradición, etimológicamente sincretismo científico tiene un sustantivo que viene del griego (luego Plutarco lo latinizó y de ahí lo retomó Róterdam), *syncretismós* (συγκρητισμός), compuesto por "*syn*" (con), "*kriti*" (cretense del gentilicio de Creta) e "*-ismo*" (doctrina); y el adjetivo científico (latín *scientia*: conocimiento y *facere*: hacer); me refiero, entonces, al intento de combinar o armonizar teorías científicas que se consideran opuestas o antagónicas, creando una nueva perspectiva que integra elementos cada teoría, aunque a menudo resulte en una yuxtaposición o aproximación significativa un tanto artificial.

En el caso que nos ocupa, de desentrañar exegéticamente el mensaje del oráculo a nuestra pregunta inicial, el sincretismo científico nos sirve para abordar fenómenos complejos o para buscar un entendimiento más amplio al integrar los diferentes marcos conceptuales, buscando una síntesis hermenéutica, que pueda revelar nuevas ideas o soluciones, aunque a veces el resultado sea una mera colección de ideas sin una verdadera cohesión.

El sincretismo científico, bajo mi punto de vista podría ser al considerar que la consiliencia es a la epistemología de las ciencias lo que la concordia es a la epistemología de la vida social y el derecho ecológico a la epistemología aplicada. Los tres temas poseen implícitamente estrategias de integración. La primera del conocimiento, la segunda de voluntades y la tercera de legislación. La

conjunción de estos tres elementos para generar una relación armoniosa entre humanos y naturaleza puede constituir una metodología integral transdisciplinaria, en la cual la interpretación de consiliencia garantiza la integración de estas ramas del saber de manera coherente y colabora en armar una epistemología disciplinaria específica; la concordia *se encargaría de* garantizar que siempre haya diálogo respetuoso entre actores sociales y gubernamentales integrando las voluntades de todos los sectores en buscar perspectivas para resolver conflictos y disminuir las diferencias; a través del derecho ecológico se busca unidad normativa y práctica, armonizando leyes, de tal manera que sea trasladada al plano social, jurídico y ambiental.

Este sincretismo científico, ahora con un segundo epíteto, ambiental, tiene una finalidad muy clara: armonizar los intereses divergentes que existen en la relación humanidad-naturaleza, producción-conservación, corto plazo-largo plazo. Epistemológicamente, implica reconocer que el bienestar humano depende de los sistemas vivos y que las decisiones deben conciliar valores económicos, ecológicos y sociales a través de marcos normativos generados mediante un modelo de gobierno relacional con una democracia colaborativa (en ocasiones a un gobierno de este tipo se le llama gobernanza, por ignorancia ya que sólo se centran en algunas similitudes).

El modelo de gobierno que propongo, no en pocas ocasiones se percibe como en oposición a la conservación de la naturaleza, en el sentido de que otorga voz viva a sectores productivos como la industria de la transformación y la agricultura, incluidos los métodos pecuarios, forestales y pesqueros. No obstante, dicho tipo de gobierno, bajo la filosofía sincrética que hemos detallado, emplearía el concepto de concordia como marco de mediación y trabajaría colaborativamente con los sectores sociales que, aparentemente, son vistos como enemigos de la conservación biológica, integrándolos como actores clave en la gestión holística del territorio. Las implicaciones de seguir este modelo de gobierno se manifiestan en el manejo de paisajes agroecológicos, donde las parcelas

productivas, las empresas manufactureras y de la transformación, los corredores ecológicos y las áreas naturales de conservación coexisten. Crea si no los hay, o actualiza los mecanismos de concertación entre agricultores, comunidades locales, gobiernos y científicos para definir qué áreas se destinan a producción intensiva y cuáles a conservación. Con esta información base, elabora políticas de incentivos, de manera que la conservación genere beneficios directos para el agricultor y el empresario responsable, mediante los instrumentos que incluso ya están en nuestras leyes (pagos por servicios ambientales, certificación ecológica, acceso a mercados diferenciados).

La manera de hacer política de este gobierno colaborativo, es pública, a diferencia de la política que actualmente impera en México que es política de estado (únicamente se aplica a los órganos gubernamentales) y política sectorial (la genera un sector específico del gobierno como el ambiental,

agrícola o económico). No tenemos en verdad política pública porque: 1) no se difunde cabalmente la información de los temas que se tratarán al generar la manera en la cual se usará un determinado recurso, o cómo se resolverá un problema o reto ecológico y ambiental; 2) en caso de que la comunidad afectada y los miembros de la sociedad que deseen saber más y participar en la solución de los problemas planteados en una reunión entre sectores social y gobierno, no se toman decisiones conjuntas, esto es, la sociedad es informada y opina en ocasiones, pero sus opiniones no están siendo recibidas para modificar la política sectorial ambiental que ya lleva la autoridad, sólo se hace la reunión por mero trámite; 3) carecemos de justicia ambiental. En la Figura 2 se aprecia cómo funcionaría un gobierno democrático colaborativo de manera directa, esto es, sin muchos intermediarios como asistentes de los representantes populares, diputados, senadores.

DEMOCRACIA COLABORATIVA DIRECTA

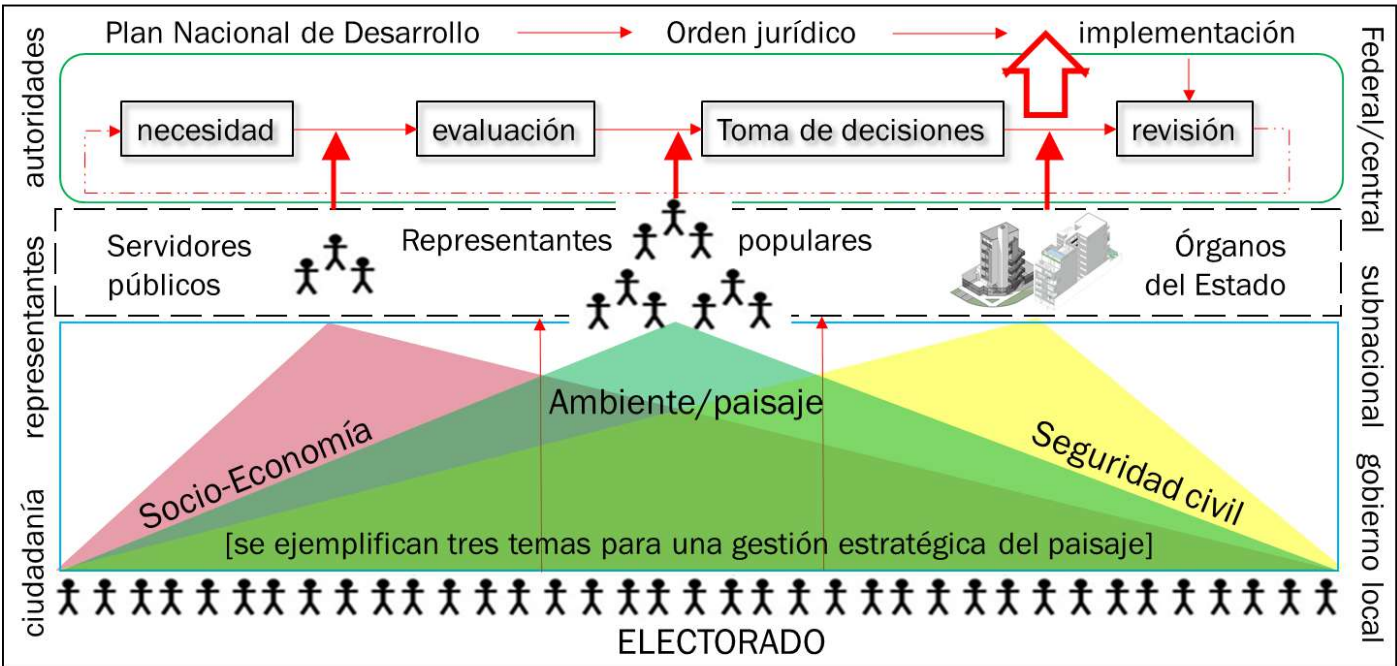


Figura 2. Diagrama esquemático de la Democracia Colaborativa Directa en la cual el poder, como dice nuestra constitución, efectivamente reside en el pueblo, aunque lo ostenten nuestros representantes *de facto*.

Los beneficios directos de la política sincrética científica ambiental son varios, por supuesto. Resalto algunos de ellos:

- Optimización de recursos: prácticas agroecológicas con agricultura regenerativa (rotación de cultivo, policultivos, agroforestería) que reducen la dependencia de agroquímicos, abaratan los costos de producción, mejoran la fertilidad del suelo, promueven los polinizadores naturales y reducen plagas ocasionadas por monocultivo;
- Reducción de conflictos socioambientales: la concordia normativa permite acuerdos más equitativos, o al menos *justos*, bajo el campo normativo, entre productores, comunidades y autoridades, evitando sanciones o conflictos legales;
- Diversificación económica: se fortalece la integración de cultivos con valor agregado, el turismo se vuelve responsable y se basa en paisajes, no en escenarios paisajísticos; se conservan variedades vegetales locales;
- Mayor resiliencia ambiental: los sistemas agrícolas diversos son más resistentes a sequías, plagas y enfermedades;
- Agricultura regenerativa y agroecología: permiten producir alimentos manteniendo suelos vivos y biodiversidad funcional (polinizadores, depredadores naturales de plagas);
- Corredores biológicos y paisajes bioculturales: conectan hábitats silvestres con zonas agrícolas, aumentando diversidad sin reducir superficie productiva; se fomenta el cultivo en milpa, écuaro, chinampa, entre otros;
- Innovación tecnológica: uso de biofertilizantes, agricultura de precisión y sistemas de riego eficientes que reducen presión sobre paisajes bioculturales;
- Políticas públicas verdaderas: a través de concordia normativa los marcos legales que equilibran derechos del agricultor y empresario con la sociedad y con el deber de conservación

de la naturaleza a través de acuerdos de manejo comunitario, responsabilidad compartida y responsabilidad extensiva del productor, programas de pago por servicios ambientales, por decir algunos.

Finalmente, no quiero dejar pasar la ocasión para hacer referencia de la enorme virtud del sincretismo científico ambiental en un mundo globalizado y globalizante, como el actual, para alcanzar las metas que nos tienen en vilo, como sociedad universal: Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS).

Los conceptos de consiliencia, concordia y derecho ecológico se vuelven herramientas clave para conservar la naturaleza y cumplir con los ODS más recientes, ya que como sabemos, desde hace más de 30 años Naciones Unidas, junto con los países parte, establecen objetivos y metas que no se cumplen y se trasladan en tiempo y disgregan en otras metas (objetivos del desarrollo del milenio a 2015; Metas de Aichi a 2020; por ejemplo). Actualmente, dentro de la Agenda 2030 se fijaron 17 objetivos que van a la par con los nuevos resultados de la Convención de la Diversidad Biológica al generar el Marco Mundial de Biodiversidad Kunming-Montreal (MBB), como un acuerdo *histórico* (siempre son llamados *históricos*, como el Acuerdo de París para cambio climático y los de Derechos Humanos de última generación —DESCA—, incluyendo el Acuerdo de Escazú). Este acuerdo fue adoptado en 2022 durante la COP15 de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica en Montreal. La finalidad sustantiva es «*detener y revertir la pérdida de biodiversidad para 2030, estableciendo cuatro objetivos principales y 23 metas para 2050, que incluyen la protección de, al menos, el 30% de las tierras y océanos, y la eliminación de subsidios perjudiciales para la naturaleza*»⁴. En esencia, el acuerdo propone superar la fragmentación disciplinaria (persigue la interdisciplina al comprender cómo pensamos y la

⁴ Pongo la referencia nacional de los resultados del MBB, que fue el que trabajamos de manera sincrética los sectores académico, ambiental, agropecuario, social, económico y de relaciones exteriores durante unos 3 años.

<https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/cbd/marco-mundial-de-biodiversidad-post-2020>

transdisciplina al decidir cómo debemos actuar) de intereses y de valores.

Por principio de cuentas, se usan los criterios de consiliencia para combinar eficientemente la ecología con la economía y, junto con la política pública y la ética, tomar decisiones informadas realmente consensuadas con la comunidad local y no parciales. Se pudieron visualizar los diferentes valores de la conservación, la consiliencia integra datos ecológicos (función ecológica, biodiversidad), sociales (usos comunitarios e individuales), económicos (valor de los recursos tangibles e intangibles) y culturales (significado simbólico, identidad y sentido de pertenencia al paisaje biocultural). Una vez realizado este trabajo, los vinculamos con los ODS: 13 (Acción por el clima), 14 (Vida submarina), 15 (Vida de ecosistemas terrestres). Una vez hecho este ejercicio, mediante la concordia se procura la armonización de intereses para la sostenibilidad y el derecho ecológico como principio normativo y ético de equilibrio, cooperación y resolución de conflictos, acercándonos a la justicia ambiental. Los principales ODS vinculados en esta parte del trabajo son: 10 (reducción de las desigualdades), 11 (ciudades y comunidades sostenibles), 12 (producción y consumo responsable), 16 (Paz, justicia e instituciones sólidas) y 17 (Alianzas para lograr los

objetivos). El resultado final podría ser una mejoría visible en la gestión de conflictos socio-ecológicos, evitando que la conservación se vea como un obstáculo y transformándola en una oportunidad compartida; y fortalecimiento del gobierno colaborativo multinivel: desde lo local (individuos y comunidades) hasta lo global Municipio, entidad federativa y País globalizado, vinculando ciencia, ética y política.

Profundizando en el concepto de derecho ecológico, es relevante mencionar que para garantizar no sólo una justicia ambiental sino también administrativa, social y penal, se puede hacer uso de los nuevos mecanismos del sistema jurídico nacional para la impartición de justicia, como son los Medios Alternativos de Solución de Controversias (MASC), previstos en el artículo 17 de nuestra Constitución Política y profusamente desarrollados en leyes secundarias en sus modalidades de mediación, conciliación y arbitraje. Estos mecanismos, como la concordia, se justifican para reducir y eliminar conflictos, particularmente cuando se habla de realizar justicia restaurativa.

Así como es importante hablar de estos mecanismos nuevos del derecho mexicano, también es necesario hablar de sus limitaciones, las cuales están agrupados en estructurales, normativas y administrativas (Tabla 2).

Tabla 2: Problemas y soluciones de los Medios Alternativos de Solución de Controversias (MASC) en México.

Problema	Posible solución
Desigualdad en el acceso a mediación y conciliación	Expandir territorialmente los Centros de Mediación, especialmente en zonas rurales e indígenas
Capacitación insuficiente de mediadores	Programas nacionales de certificación en mediación, conciliación y justicia restaurativa
Cultura litigiosa que desincentiva acuerdos	Campañas educativas que promuevan cultura de paz y resolución colaborativa de conflictos
Carga excesiva de los tribunales	Ampliar el uso efectivo de MASC para descargar el sistema judicial
Fragmentación legal de los MASC	Unificar normativamente los MASC en todas las materias (civil, penal, laboral, administrativa)
Limitaciones en justicia penal (solo delitos no graves)	Ampliar justicia restaurativa a delitos de mediana gravedad con enfoque de reparación
Homologación judicial lenta de convenios	Otorgar fuerza vinculante directa a convenios para ejecución sin necesidad de juez
Falta de infraestructura en centros de mediación	Invertir en infraestructura y oficinas de mediación en todos los estados
Burocratización de la conciliación laboral	Reformar prácticas administrativas para que la conciliación laboral sea diálogo real
Recursos limitados para mediación	Aumentar presupuesto y plazas para mediadores y facilitadores
Seguimiento deficiente de acuerdos	Crear sistemas nacionales de monitoreo y evaluación del cumplimiento de acuerdos

VI. Discusión

Consiliencia, concordia o derecho ecológico. Lo que no tomaron en cuenta ninguno de los autores modernos que citamos, así como otros muchos (digamos a partir del siglo XX: Smuts, Snow, Monod, Wilson, Richard Dawkins, Donald Symons, o algunos más radicales como Arne Naess o Fritjof Capra ...), quienes de una u otra manera contribuyeron a crear teorías o metodologías para unificar el conocimiento, es que la naturaleza humana evoluciona de muy diversas maneras, tanto biológica como intelectualmente, y estas diferentes evoluciones tienen muy diferentes velocidades. Y dichas velocidades conllevan diferentes formas de entender y relacionarnos con el mundo natural. La armonía no viaja en un tren tan veloz como las necesidades humanas. Bajo esta mirada más integradora, pero sin llegar al reduccionismo o a la pretensión de unificar el conocimiento, Ernest Mayr, Theodosius Dobzhansky, Francisco Ayala Stephen Jay Gould, Deleuze, Guattari y Richard Lewontin —por mencionar los más sobresalientes en literatura científica ligada a biología o naturalismo—, mencionan que la evolución genética también conlleva algo de influencia por el ambiente, no sólo son simples mutaciones y cambios en la frecuencia de genes por temas bioquímicos, sino que el ambiente modifica su adaptación y, con ello, cada especie construye su nicho ecológico. Richard Lewontin, Steven Rose y León Kamin (1984) en su inspirador libro donde integran varios de sus estudios sobre evolución biológica y cultural *“Not in our genes: biology, ideology, and human nature”*, hacen una fuerte crítica sobre los textos que buscan la “unificación” del conocimiento en el sentido de que son reduccionistas y en cierta forma promueven el determinismo biológico.

Con la nueva visión que nos ofrece el oráculo de Delfos y la teoría de ecología rizomática buscamos que la unificación del conocimiento y la armonización del comportamiento humano con los sistemas naturales nos lleven a una construcción epistemológica de los saberes más sobre conceptos que sobre leyes. Las ciencias naturales no se soportan en leyes como la física, sino que versan en

conceptos, dado que no es fácil establecer relaciones entre causa y efecto debido a la gran cantidad de variables que se encuentran en un sistema ecológico, como dijo Mayr (2001) en su tratado *“The Philosophical Foundations of Darwinism”*; siguiendo un poco el famoso artículo de Dobzhansky (1973) titulado *“Nothing in biology makes sense except in the light of evolution”*. Carecer de una visión científica transdisciplinar, más que interdisciplinar —en el sentido de que la interdisciplina se caracteriza porque expertos de diferentes áreas abordan el mismo problema desde su disciplina, pero de manera conjunta, debatiendo sus puntos de vista con los otros expertos de las diferentes disciplinas—; es un inconveniente, pues en la transdisciplina, un investigador y su grupo interdisciplinario, trascienden los límites de las disciplinas académicas, integrando diversos saberes y métodos para abordar problemas complejos y crear un nuevo nivel de entendimiento.

Darwin (1859), por ejemplo, logró que varias ciencias, como la biogeografía, paleontología, anatomía comparada y embriología, convergieran y dieran un salto conjunto en su teoría de la evolución por selección natural, aunque de manera reduccionista. Más adelante, se genera un conocimiento también reduccionista en la moderna biología molecular, ya que se enfoca en analizar, literalmente, los sistemas biológicos complejos en sus componentes más simples, como moléculas y átomos, para entender su funcionamiento y explicar procesos a nivel de organismo con técnicas de química orgánica, química inorgánica, biofísica, fisicoquímica, fisiología, por decir algunos. La teoría de la evolución, más desarrollada a mediados del siglo XX, conjuntó la teoría darwinista con genética, corología, biogeografía, ecología, botánica, zoología, paleontología, etc.... sin embargo, la integración no se limitó a la esencia de los mecanismos de la evolución y sus consecuencias, sino que logró conciliar los distintos campos de la biología y la química, básicamente, en una explicación coherente y compleja, creando la llamada *“Teoría Sintética de la Evolución”*. La diferencia estribó en que el reduccionismo tomaba

parte de cada ciencia sin ver en su conjunto su episteme ni cómo interactúan los diferentes saberes entre sí al abordar un problema complejo, como la armonía entre humano-naturaleza.

Actualmente, podría decirse que la consiliencia es un marco teórico que puede interpretarse de maneras diversas en relación con el reduccionismo, pero al mismo tiempo, también puede explicar la síntesis en las ciencias unificadas. Gutiérrez-Yurrita en su libro “*¿A diseñar el futuro! El Holismo de la Tercera Cultura: hacia la integración científica y cultural*”, desarrolla la consiliencia en clave ecológica y transdisciplinaria, como un puente entre ciencias naturales, sociales y humanidades, con especial énfasis en la gestión ambiental y la sustentabilidad, y con enfoque transdisciplinar. Al tratarla como una síntesis, evitando el reduccionismo, permite que cada disciplina mantenga sus dominios epistémicos (los internos como los derivados de cada disciplina). Su núcleo es unificar los marcos epistemológicos para superar la fragmentación del conocimiento, creando así un oximorón, unificar el conocimiento de diferentes disciplinas sin perder de vista la individualidad disciplinaria. Un ejemplo de cómo podría entenderse esta visión es a través de ciencias del paisaje: ecología + política pública + sociología + economía + sistemas complejos... Una vez más, Wilson (1986) publica un libro intentando crear una sinergia de concordia entre humanos con la naturaleza retomando el neologismo de Erich Fromm (1964) *Biofilia* en su libro “*The heart of man*” (del griego: *bios*: vida; *philía*: afinidad, literalmente amor por la vida). Sin embargo, el libro de Wilson “*Biophilia. The human bond with other species*”, resultó un texto más personal de su relación con la vida silvestre y la ética que debemos

tener los humanos, que sintético entre necesidades humanas y conservación biológica.

En el campo del derecho ecológico, también ha habido avances frente al derecho ambiental, sobre todo en la esfera internacional. El Derecho Ecológico se define como: «*conjunto de políticas y normas jurídicas que regulan la vida en los ecosistemas en su totalidad. Se trata de un conjunto de normas internacionales e internas destinadas a la conservación de los ecosistemas y los seres vivos que los habitan*». Por consiguiente, la vida y los ecosistemas, son los bienes jurídicos protegidos por el Estado. El derecho ambiental, además de ser derecho público administrativo, pretende defender el ambiente en su conjunto, regulando la manera en la cual aprovechamos sus recursos tanto estructurales como intangibles, de tal manera que sobrepasa la esfera ecológica para alcanzar la antropocéntrica en el sentido de que nosotros, los humanos, alcancemos los niveles de bienestar que deseamos a través del desarrollo sustentable. Aunque la concordia nos invite a decantarnos por el derecho ecológico, no lo podremos hacer sin su gemelo el derecho ambiental, dado que las normas administrativas son generales, universales y tanto confieren derechos como obligaciones, de tal forma que su fiscalización es obligada y, en caso de quebranto de una norma, la sanción va emparejada a la infracción. Dada su finalidad de proteger los ecosistemas, las leyes ecológicas deberían centrarse en cómo se reparten los recursos que hay en la naturaleza, dejando una parte funcional para los procesos ecológicos, otra parte para reservas ecológicas, otra parte para los humanos locales y otra parte para el resto de la humanidad. La figura 3 muestra un ejemplo de cómo podría llevarse a cabo una política ambiental pública transdisciplinaria.

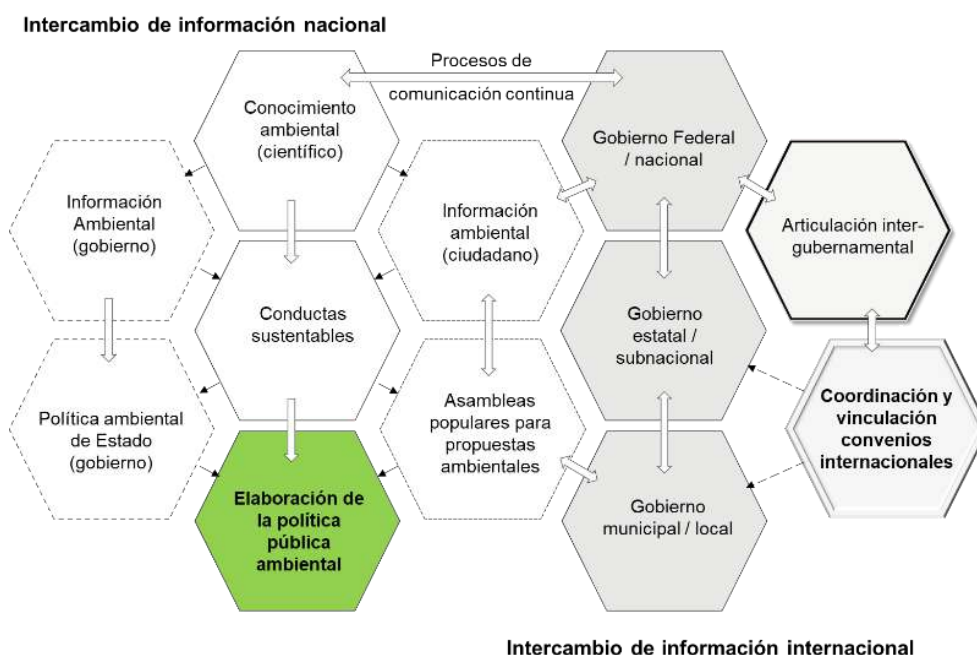


Figura 3. Esquema del desarrollo de una política pública en materia ambiental bajo un paradigma de concordia normativa consiliente.

VII. Conclusiones

Consiliencia existe desde muy antiguo, sin embargo, con diferentes connotaciones. La consiliencia moderna es epistemológica y científica, mientras que en la cultura jónica era ontológica y filosófica, busca el ser y no validar teorías empíricamente.

Aunque en la cultura jónica no existía la palabra *consiliencia*, sí existían nociones análogas: *physis*, *arché* y *logos*, que perseguían la misma aspiración: explicar la diversidad del mundo a partir de un principio unificador al integrar saberes diversos y tomar decisiones basadas en evidencia y comprensión profunda.

Concordia es otro concepto muy antiguo, sin embargo, la diosa romana Concordia también tendría discrepancias con el empleo contemporáneo del término. Con concordia deseamos armonizar los intereses humanos con la naturaleza a través del diálogo entre comunidades y con la autoridad, estableciendo reglas claras de cooperación y canales abiertos de comunicación constante.

El derecho ecológico nos faculta para establecer límites, derechos y deberes, con lo cual podremos generar mejores políticas que en verdad

sean públicas y un gobierno relacional o gobernanza eficaz.

Solo combinando estos tres hilos dorados se puede alimentar a la creciente población humana sin destruir la Tierra, cumplir todos los ODS y preservar la belleza y diversidad de los bosques, los mares y los cielos.

En gobiernos relacionales y de gobernanza, la concordia normativa es fundamental porque actúa como pegamento social y epistémico que hace posible la cooperación en contextos plurales. Su mayor virtud sería la legitimación, cohesión e integración de diversas políticas públicas.

La concordia normativa, desafortunadamente, también conlleva ciertas desventajas respecto a un derecho administrativo con gobiernos bajo política ambiental de estado. Entre otras, están: mayor lentitud en la resolución de conflictos; riesgo de superficialidad al escuchar tantas voces, sin poder profundizar en todas ellas por falta de tiempo y recursos humanos y materiales por parte del gobierno; desequilibrios de poder con el advenimiento de pequeños líderes en las comunidades o líderes inventados por la autoridad

para que arrastren a sus compañeros a decisiones políticas y no socio-ecológicas.

La concordia, aplicada a la conservación biológica, funciona como una estrategia de conciliación entre la necesidad humana de producir alimentos y la urgencia de preservar ecosistemas. Le da al agricultor herramientas técnicas, apoyo institucional y legitimidad social para ser un agente de conservación en lugar de un adversario de la biodiversidad.

Panel-deliberación "Concordia aliada con la naturaleza" disponible en Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=khTv0F5jA0o&t=12891s>

Bibliografía recomendada

- Arendt, H. (1968). *Between Past and Future*. Viking Press.
- Barceló, J. & De Rotterdam, E. (1996). Selección de escritos de Erasmo de Rotterdam. *Estudios Públicos*, (61).
- Beard, M., North, J., Price, S. (1998). *Religions of Rome: Volume 1, A History*. Cambridge University Press.
- Cámara de Diputados (2017). *Informe sobre mediación y justicia restaurativa en México*. Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM.
- Última Reforma DOF 15-04-2025. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. www.diputados.gob.mx
- Deleuze, G. & Guattari, F. (1980). *Capitalisme et schizophrénie (2): Mille plateau*. Éditions de minuit, cop.
- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London: John Murray.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35(3): 125-129.
- Dobzhansky, T. (1937). *Genetics and the origin of species*. Columbia University Press.
- Elizondo, C. & Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2023). La necesidad de mecanismos legales más fuertes para el sector minero en México. Una reseña. *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*. 56(3): 43-82.
- Ernout, A. & Meillet, A. (2001). *Dictionnaire étymologique de la langue latine: Histoire des mots*. (4ª ed.) Klincksieck.
- Fisher, R. A. (1930). *The genetical theory of natural selection*. Clarendon Press.
- Flores, F., & Carvajal, G. (1970). *Nociones de derecho positivo mexicano*. Porrúa.
- Fromm, E. (1964). *The Heart of Man: Its Genius for Good and Evil*. Prentice Hall.
- Gadamer, H. G. (1999). *Verdad y método*. Ed. Sígueme.

- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2009). *¡A diseñar el futuro! El Holismo de la Tercera Cultura: hacia la integración científica y cultura*. Instituto Politécnico Nacional – Centro de Estudios Jurídico Ambientales.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2017). *Ecología rizomática: origen y fundamento*. Capítulo 2, Pp.: 30-59. En: Roble, M., García, L. (Coord.): *Retos de las ciencias ambientales y de la sustentabilidad*. Altres Costa-Amic Editores.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2018). Desarrollo duradero (sostenible, sustentable). Reflexiones geo-políticas a 30 años de su presentación oficial. *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, 41(3): 1-25.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. & Rodríguez Peñaguirre, F. J. (2022). Las acciones colectivas en la constitución y su aplicación en sus leyes reglamentarias. Caso de estudio: sentencia acción colectiva 129/2012 Xochimilco, Ciudad de México. *Cuadernos Manuel Giménez Abad (ESP)*, 24-Dic: 132-150.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J. (2025). *Conservación Ecológica con Inteligencia Artificial*. Pp.: 25-66. En: Bravo, J., Nolasco, J., Vega R. (compiladores): *Inteligencia Artificial, Innovación, impacto y futuro en el Medio Ambiente*. Ed. Fundación Universitaria de Derecho administrativo y Política, S.C.
- Habermas, J. (1987). *Teoría de la acción comunicativa*. Taurus.
- Hadot, P. (1995). *Qu'est-ce que la philosophie antique?* Gallimard.
- Haldane, J. B. S. (1932). *The causes of evolution*. Harper & Brothers.
- Heráclito de Éfeso. (1903). En H. Diels & W. Kranz (Eds.), *Die Fragmente der Vorsokratiker*. Weidmann.
- Hobbes, T. (1651). *Leviathan, or The Matter, Forme and Power of a Common Wealth Ecclesiasticall and Civil*. Andrew Crooke.
- Hubbard-Zamudio, W., Rodríguez-Quiroz, G., Gutiérrez-Yurrita, P.J. (2023). Shrimp Farming and Mangroves: Entities in Conflict? *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(5): 642-657.
- Kirk, G. S., Raven, J. E., Schofield, M. (1983). *Los filósofos presocráticos*. Gredos.
- Lewis, C. T. & Short, C. (2017). *A Latin Dictionary*. Clarendon Press.
- Lewontin, R., Rose, S., Kamin, L. (1984). *Not in our genes: biology, ideology, and human nature*. Pantheon Books.
- Nueva Ley DOF 26-01-2024. Ley Federal de Mecanismos Alternativos de Solución de Controversias.
- Long, A. A. (1999). *The Cambridge companion to early Greek philosophy*. Cambridge University Press.
- Mayr, E. (1942). *Systematics and the origin of species*. Columbia University Press.
- Mayr, E. (2001). The philosophical foundations of Darwinism. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 145(4): 488-495.
- Monod, J. (1970). *Le Hasard et la Nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Éditions du Seuil.
- Rawls, J. (1971). *A Theory of Justice*. Harvard University Press.
- Rentería Tamayo, O., Sánchez, E., Gutiérrez-Yurrita, P.J. (2024). El paisaje como concepto conciliador para la formulación de leyes y políticas públicas agrarias en México. Revisión del tema. *Legalteca Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, 59 (2): 1-29.

- Ricoeur, P. (1990). *Soi-même comme un autre*. Éditions du Seuil.
- Rojas, M. & Arriaga, M. (2018). *Mecanismos alternativos de solución de conflictos en México: avances y desafíos*. Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE).
- Simental, V. (2010). *Derecho ambiental*: Limusa.
- Simpson, G. G. (1944). *Tempo and mode in evolution*. Columbia University Press.
- Skinner, Q. (1998). *Liberty Before Liberalism*. Cambridge University Press.
- Smuts, J. C. (1926). *Holism and evolution*. The MacMillan Co.
- Snow, Ch. (1959). *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. Cambridge University Press.
- Stebbins, G. L. (1950). *Variation and evolution in plants*. Columbia University Press.
- Tales de Mileto, Anaximandro, Anaxímenes. (1903). En H. Diels & W. Kranz (Eds.), *Die Fragmente der Vorsokratiker*. Weidmann.
- Whewell, W. (1840). *The Philosophy of the Inductive Sciences, Founded Upon Their History*. J.W. Parker.
- Wilson, E. O. (1975). *Sociobiology: The New Synthesis*. Harvard University Press.
- Wilson, E. O. (1986). *Biophilia. The human bond with other species*. Harvard University Press.
- Wilson, E. O. (1998). *Consilience: The Unity of Knowledge*. Alfred A. Knopf.
- Wright, S. (1931). Evolution in Mendelian populations. *Genetics*, 16(2): 97–159.

Glosario⁵

concertación (como uso jurídico). Mecanismo para articular las decisiones de los jueces después de escuchar a las partes en conflicto judicial o administrativo para que ellas lleguen a un acuerdo.

(a)

desertificación: proceso por el cual una tierra fértil que usaban los humanos, pierde su capacidad productiva por mal manejo y quedó expuesta a los intemperismos naturales. (b)

desertización. Término empleado para a) la degradación de la tierra en zonas de tierras áridas por acción natural. y/o b) el cambio irreversible e irrecuperable de la tierra. (b)

determinismo. En filosofía, doctrina según la cual todos los acontecimientos, y en particular las acciones humanas, están unidos y determinados por la cadena de acontecimientos anteriores. (c)

écuaro. Del p'urhépecha ekuarhu (patio). Sistema etnoagroforestal tradicional complejo propio de los P'urhépechas o Tarascos. (d)

epistemología. Teoría de los fundamentos y métodos del conocimiento científico. (c)

exégesis. Griego ἐξήγησις exégēsis. Explicación, interpretación. (c)

gobernanza. manera de gobernar que se propone con dominio conjunto, entre el poder del pueblo y del gobierno, para dirigir el destino del Estado a la sustentabilidad. (e)

hermenéutica. Del griego ἑρμηνευτικός hermēneutikós. Interpretación de los textos, originalmente los sagrados. (c)

holismo. En filosofía, doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen. (c)

ontología. Parte de la metafísica que trata del ser en general y de sus propiedades trascendentales. (c)

oxímoron. Combinación, en una misma estructura sintáctica, de dos palabras o expresiones de significado opuesto que originan un nuevo sentido, como en un “silencio atronador”. (c)

reduccionismo. Método filosófico que emplea la reducción fenomenológica. Simplificación excesiva de algo complejo. (c)

sincretismo. Sistema filosófico que trata de conciliar doctrinas diferentes. En su forma más simplificada, amalgama, síntesis. (c)

sustentabilidad. Ideal de desarrollo que podría alcanzarse mediante el balance de cuatro ejes: el desarrollo económico, que debe incrementarse a un ritmo que permita la conservación biológica y disminución de la brecha socioeconómica gracias a tecnología nueva. (f)

teleonomía. En contextos biológico-filosóficos, precisa que, partiendo del supuesto de que «la naturaleza es objetiva y no proyectiva» (Jacques Monod), en los seres vivos la finalidad no es más que un fenómeno de adaptación evolutiva orientada. (g)

⁵ Glosario de los Editores. Adaptado de: (a). Secretaría de la Función Pública de México. *Glosario*. (b). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Glosario del Portal de Suelos*. (c). Real Academia Española. *Diccionario de la Lengua Española*. (d). Franco Gaona et al. (2016). *Revista Mexicana de Ciencias*

Agrícolas. (e). Sarukhán et al. (2012) *Capital Natural de México*, CONABIO. (f). Gutiérrez Yurrita (2009). *Derecho Ambiental y Ecología*. (g). *Encyclopaedia Herder* (En línea).



CONCYTEO

CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEL ESTADO DE QUERÉTARO