

Memorias in Extenso



**CÁTEDRAS
DEL SEMIDESIERTO**

JARDÍN BOTÁNICO REGIONAL DE CADEREYTA

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 16, edición especial, agosto 2025. *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 2025

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

CORRECCIÓN DE ESTILO
DRA. MARÍA LUISA ÁLVAREZ MEDINA
MTRA. MONSERRAT ACUÑA MURILLO

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



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 2024. (Publicado en el periódico oficial del estado de Querétaro, La Sombra de Arteaga).

Comentario *Nthe*

Este número especial de NTHE, la revista del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, reúne los trabajos presentados durante la décima edición del foro de investigación que organiza el Jardín Botánico Regional de Cadereyta: las “Cátedras del Semidesierto”.

A través de este ejercicio anual, el Jardín Botánico ha buscado robustecer y arraigar el trabajo de investigación de estudiantes de licenciatura y posgrado de sus socios académicos —el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México, y la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco— y de otras instituciones que contribuyen a la generación del conocimiento científico de la biodiversidad de nuestra región semiárida.

El número se estructura en cinco secciones que muestran la riqueza de temas de este foro. La primera incluye una nota acerca de las amenazas contra la biodiversidad de zonas áridas. Sigue “A favor y en contra: relaciones ecológicas en el semidesierto”, con cuatro trabajos que analizan los factores intrínsecos y ecosistémicos que inciden en la permanencia de varias especies de Cactáceas. A continuación, tres estudios describen aspectos de biología floral e interacciones de “Invitados no deseados: especies invasoras y control de plagas”. Posteriormente, “Enfoques múltiples para la conservación de la flora” presenta cinco trabajos que ofrecen perspectivas sistemáticas, teóricas y prácticas para el estudio y manejo de la biodiversidad vegetal. Por último “Flora útil de la Zona Semiárida y matorrales afines” comparte cuatro estudios acerca de las relaciones humanas con la riqueza de las plantas desérticas.

Agradezco el trabajo realizado a lo largo de estos diez años por el Jardín Botánico de Cadereyta, especialmente a su director el Ing. Emiliano Sanchez 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.

En el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro trabajamos para transmitir el conocimiento científico a las nuevas generaciones. Exhorto a jóvenes estudiantes, y al público en general, a adentrarse en estos textos, explorarlos y extraer la esencia de cada artículo publicado. Deseo que estos trabajos sean de su interés, les hagan reflexionar, y los motiven a ser factores activos en la conservación de la biodiversidad.

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

Las Cátedras del Semidesierto: 10 Años

PRESENTACIÓN

Diez años ha que, junto con los doctores Golubov y Mandujano, concebí las Cátedras del Semidesierto. Mi propósito era incorporar a los estudiantes al desarrollo de una teoría operativa para el manejo de la biodiversidad vegetal del Semidesierto Queretano-Hidalguense. Hoy lo puedo expresar con más claridad; sin embargo, en aquel momento tal vez imaginaba una victoria rápida y concluyente. Han pasado 10 años. Una teoría operativa no se vincula tan pronto. Hemos, juntos, a pesar de todo, aprendido. Tenemos un legado.

Al menos 3 hitos soportan esta herencia:

1. Concretamos un concepto, una marca que deja ahora huella. Las Cátedras del Semidesierto evolucionan hoy por sí solas, como un rizoma educativo que se extiende y que da brotes en cada uno de los estudiantes que ha participado en el ejercicio anual de exponer sus investigaciones, luego de haberlas planeado y ejecutado en el territorio queretano.
2. Aportamos conocimiento como cipos que sostienen las acciones que sumarán al aprovechamiento, conservación y distribución justa de los beneficios que deriven del patrimonio natural de nuestra región.
3. Tendimos puentes con universidades y con varios de los actores esenciales en la escena de la preservación de la naturaleza local. Especialmente relevante es la tríada de trabajo afinada con la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Autónoma Metropolitana.

Las gavias están enhiestas y contra el viento, incluso, los pendones del saber ondean. Queda a los que vengan elevar más los principios ya enarbolados en favor de la estructura de la vida y sus funciones.

Una teoría operativa no se vincula tan pronto, pero se ha dado el primer paso, firme y estable. No priva ya el temperamento del Vine, vi y vencí; prevalece gozoso un sentir benévolo basado en el Vine, vi y amé. Amé a los estudiantes, a los investigadores, a colaboradores todos del proyecto. Amé al Semidesierto Queretano-Hidalguense que me enseñó a quererlo.

Estas son mis Cátedras del Semidesierto que espero sigan progresando a fuerza de presión administrativa y fuego del intelecto. Les recomiendo mantener la constancia en el propósito de conservar la sabiduría inmersa en cada cosa viva. Les encomiendo a los estudiantes que vendrán a seguir abrevando de este pequeño ecosistema científico.

Veinte veces veinte nos desvivimos para crear una sociedad de búsqueda e investigación. Cuatrocientas veces lo volveríamos a hacer. ¡Ya concebimos las Cátedras del Semidesierto! ¡Que las Cátedras del Semidesierto pervivan!

Emiliano Sánchez Martínez

**Director del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”
Cadereyta de Montes, a once de noviembre de 2024.**

10 años de Cátedras del Semidesierto

La palabra *cátedra* tiene diversos significados relativos a contextos distintos. En las primeras entregas de las Cátedras del Semidesierto, el premio al primer lugar de las presentaciones fue una silla de mármol (aproximadamente de 30 cm de alto y 15 cm de ancho), alusiva al significado de la palabra *cathēdra* en latín, que refiere a un asiento. En la educación, asociamos una cátedra con la materia o curso que imparte el profesorado, con alto nivel, dado que quien la imparte suele sentarse en una silla alta, al frente del grupo de estudiantes.

Es así que el nombre de este evento organizado por el Jardín Botánico Regional de Cadereyta y con la colaboración de otras instituciones de educación, así como organizaciones sociales sin fines de lucro, mantiene esta multifacética expresión del asiento especial del que imparte un conocimiento, y felizmente en 2024 festeja 10 años ininterrumpidos de llevarse a cabo.

En este foro se ha visto la evolución del estudiantado y sus proyectos, en la búsqueda del conocimiento científico, para hacer diagnósticos de la biodiversidad y visualizar estrategias de conservación. La participación de la academia, sociedad y gobierno comienzan a dar sus primeros pasos en la constante construcción de puentes entre el conocimiento y su aplicación en el diagnóstico y posible solución o amortiguamiento de problemáticas importantes de Querétaro y otras entidades federativas de México.

Además, es un foro que se ha enriquecido con temáticas diversas desde la geomorfología, el origen de la vida, los animales y plantas usados por la humanidad, la arqueología, el impacto del cambio climático, la experimentación y la búsqueda de respuestas, y los conflictos productivos y paradigmas mágico religiosos en ocasiones en contrapunto con la conservación.

Las Cátedras del semidesierto son un granito de arena en la dirección correcta para conocer y proteger la biodiversidad que aún se encuentra. Deseamos que este foro perdure más allá de sus creadores, se replique en otros lugares y crezca exponencialmente su poder de convocatoria.

Felicidades por 10 años de Cátedras del Semidesierto.

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

Las Cátedras del Semidesierto, motor que impulsa al Desarrollo Sostenible

Las décimas Cátedras del Semidesierto se desarrollan en paralelo con los informes relacionados con las Metas de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. En 2015, los países adoptaron oficialmente dichas metas, que habían sido propuestas en 2012 por la misma organización. Estas metas son universales y buscan incentivar a las naciones a reducir la pobreza, promover la prosperidad y preservar el equilibrio del planeta. Según el informe de 2024, solo el 17 % de estas metas están logrando resultados positivos; casi la mitad presenta avances mínimos o moderados, mientras que aproximadamente una tercera parte no muestra progreso o incluso retrocesos.

Al analizar cómo es que las Cátedras contribuyen a las Metas de Desarrollo Sostenible, se observa que lo hacen de manera indirecta o directa en cinco de ellas, abarcando un total de once indicadores. Los más relacionados con los temas abordados en las conferencias corresponden a los indicadores 13.3 (Concientización sobre el cambio climático), 15.1 (Conservación y reforestación), 15.3 (Combate a la desertificación), 15.5 (Reducción de la pérdida de biodiversidad) y 15.8 (Disminución de los efectos de las especies invasoras). Además, de manera indirecta, estas cátedras reflejan el acceso de los ponentes a la educación superior (meta 4.3); y la transmisión por internet contribuye a la meta 17.8, que busca fortalecer los medios de implementación y revitalizar la asociación mundial para el desarrollo sostenible.

Es así como debemos hacer hincapié en la importancia de las Cátedras del Semidesierto como un motor que, de manera sostenida y durante ya una década, contribuye al bienestar general abordando varios de los indicadores propuestos a nivel internacional. La diversidad de temas no hace más que enriquecer los enfoques con los cuales podemos abordar la problemática ambiental a la cual nos enfrentamos de manera urgente durante la próxima década, y sin duda seguirá aportando durante los años que vienen.

Dr. Jordan Golubov
Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco

ÍNDICE

Conferencia Magistral

Amenazas para la biodiversidad en zonas áridas: el cambio climático y las invasiones biológicas

Ernesto I. Badano

A favor y en contra: relaciones ecológicas en el semidesierto

Efecto de la facilitación en la granivoría y germinación de *Ariocarpus retusus*

Diana Cárdenas Ramos
María C. Mandujano

El papel del polimorfismo floral en el éxito reproductivo del peyote queretano

José Manuel Matías Cruz
Isabel Briseño Sánchez
María C. Mandujano

Redes ecológicas en cactus: visitantes florales a través del tiempo

Pactli Fernando Ortega González
María C. Mandujano

Factores que vulneran la sobrevivencia de *Opuntia cantabrigiensis* en el JBRC

Linda Martínez Ramos
María C. Mandujano

Invitados no deseados: especies invasoras y control de plagas

Evaluación de diferentes atrayentes de picudo en magueyes de Boyé, Cadereyta, Querétaro, México

Rosalinda González Santos,
Jesús Luna Cozar,
Luis Hernández Sandoval,
Salvador Villaseñor Barrera,
Donaji Hernández Contreras

Integración de *Kalanchoe delagoensis* en las redes de polinización del Semidesierto Queretano

Andrés Pereira Guaqueta
María C. Mandujano

Biología reproductiva de *Kalanchoe delagoensis*

Karen A. Ortega Ramírez
María C. Mandujano

Enfoques múltiples para la conservación de la flora

Desierto Chihuahuense: historia y biogeografía de sus cactáceas

David Brailovsky Signoret

Secretos del semidesierto: visitantes florales de un matorral xerófilo del Semidesierto Queretano

Esteban O. Munguía Soto
Gerardo Manzanarez Villasana
José A. Aranda Pineda
Linda Martínez Ramos
M. Isabel Briseño Sánchez
Pactil F. Ortega González
Andrés Pereira Guaqueta
Karen A. Ortega Ramírez
Diana Cárdenas Ramos
Mariana P. Bravo Correa
Bruno Saldaña Gómez
Mariana Cano Rodríguez
Jordan Golubov
María C. Mandujano

Conservación de la flora semidesértica queretana-hidalguense en el Banco de Semillas FESI-UNAM

María Guadalupe Chávez Hernández
Isela Rodríguez Arévalo
Patricia Dávila Aranda
Juana Lilia García Rojas
Armando Ponce Vargas

1

2

6

11

15

20

25

31

36

41

45

ÍNDICE

Efecto de fitorreguladores en *Cephalocereus polylophus* y su citotoxicidad en HCT 116

Tania Citlalli Gómez Carreño
Perla Karen Orihuela Villegas
Ana Yoali Pérez Bosques
Mariana Márquez De La Vega
Elvira del Carmen Arellanes Licea,
Verónica Saavedra Gastélum
María Goretti Arvizu Espinosa

49

Germinación de morfotipos de *Astrophytum ornatum*, bajo dos tratamientos germinativos diferentes

Erick Baruch Rodríguez Romero
María C. Mandujano

54

Flora útil de la Zona Semiárida y matorrales afines

Alimentación prehispánica de Toluquilla y Ranas

María de Jesús Martínez Serrano
Elizabeth Mejía Pérez Campos

59

Plantas que curan y alimentan en la zona urbana de Querétaro

Angélica Navidad Morales Figueroa

63

Flora útil para la conservación del Semidesierto Hidalguense, en Maney Huichapan, Hidalgo

Leonardo Kanek Reyes Salazar

66

Riqueza etnobotánica de la subfamilia Opuntioideae en el matorral crasicaule del municipio de Querétaro

Aarón Misael Carpio Dávila

71

Amenazas para la biodiversidad en zonas áridas: el cambio climático y las invasiones biológicas

Ernesto I. Badano
División de Ciencias Ambientales
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica
ernesto.badano@ipicyt.edu.mx

Resumen

Las invasiones biológicas inician cuando las actividades humanas movilizan especies desde sus regiones de origen, donde son nativas, hacia regiones donde nunca estuvieron presentes. Estas especies que arriban a una nueva región se denominan “exóticas”, pero no todas ellas llegan a ser invasoras. Para que esto ocurra, las especies exóticas primero deben naturalizarse (desarrollar poblaciones viables locales) y luego expandirse (colonización de nuevos sitios). Bajo este marco conceptual, se analizará el proceso de invasión de una especie que fue introducida a México hace casi 500 años atrás, el Pirul (*Schinus molle*, Anacardiaceae). Esta especie arbórea, de origen sudamericano, fue introducida en el valle de México por el primer virrey de Nueva España (hoy México). Antonio de Mendoza y Pacheco, pero hoy se encuentra distribuida en todos los ecosistemas semiáridos del país. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

(CONABIO) considera que este árbol es solamente una especie naturalizada, sin impactos sobre la salud humana, las actividades económicas o los ecosistemas nativos. Sin embargo, el extenso rango geográfico del Pirul en México permite sospechar que es un árbol invasor. De hecho, debido al largo tiempo que ha transcurrido desde su introducción, podría esperarse que la especie haya evolucionado localmente en México y que, por lo tanto, las características ambientales que definen su distribución difieran entre las áreas que ha invadido y aquellas donde es nativa. Sobre esta base, desarrollamos una serie de estudios destinados a: (1) identificar qué factores ambientales promueven la expansión del Pirul en el país y cómo los humanos contribuimos a este proceso; (2) definir si la especie ha evolucionado localmente y establecer cuáles son las consecuencias de estos procesos; (3) qué efectos tiene el Pirul sobre las especies nativas, y (4) cómo responderá esta especie exótica ante el cambio climático.

Efecto de la facilitación en la granivoría y germinación de *Ariocarpus retusus*

Diana Cárdenas Ramos^{1,2*} 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. orcid.org/0000-0001-9855-6645.

²Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

*dianacardenasr92@gmail.com

**mcmandujano@ieciologia.unam.mx

Resumen

El principal cuello de botella en la familia Cactaceae es el reclutamiento de nuevos individuos (germinación y supervivencia de plántulas). La facilitación es una interacción que podría reducir la granivoría, la herbivoría y el efecto negativo de los factores abióticos que comprometen el reclutamiento en las poblaciones. Realizamos experimentos en campo y bajo condiciones controladas para evaluar si las plantas nodrizas reducen la granivoría y favorecen la germinación de *Ariocarpus retusus*. En San Luis Potosí, colocamos unidades experimentales con semillas para evaluar la germinación y la granivoría bajo dos factores: 1) con o sin una planta nodriza, y 2) con y sin exclusión de depredadores. En un invernadero, colocamos macetas de celulosa con o sin malla sombra (nodriza artificial) para evaluar la germinación durante un año. En condiciones naturales, la granivoría de semillas se reduce drásticamente en presencia de una planta nodriza; no encontramos diferencias en el factor exclusión de depredadores y registramos una proporción de 0.008 semillas germinadas bajo plantas nodrizas. En condiciones controladas, la germinación es mayor debajo de una nodriza artificial (49%) que en espacios abiertos (36%). Las plantas nodrizas favorecen el establecimiento del cactus, que es un proceso fundamental para asegurar la permanencia de sus poblaciones.

Palabras clave: Cactaceae, planta nodriza, reclutamiento

Abstract

The main bottleneck in the Cactaceae family is recruiting new individuals (germination and seedling survival). Facilitation is an interaction that could reduce granivory, herbivory, and the negative effect of abiotic factors that compromise recruitment in populations. We conducted field and controlled condition experiments to evaluate whether nurse plants reduce granivory and favor the germination of *Ariocarpus retusus*. In San Luis Potosí, we placed experimental units with seeds to evaluate germination and granivory under two factors: 1) with or without a nurse plant and 2) with and without predator exclusion. In a greenhouse, we placed cellulose pots with or without shade mesh (artificial nurse plant) to evaluate germination over a year. Under natural conditions, seed predation is drastically reduced in the presence of a nurse plant; we found no differences in the predator exclusion factor and only recorded five germinated seeds under nurse plants. Under controlled conditions, germination is higher beneath an artificial nurse (49%) than in open spaces (36%). Nurse plants favor the establishment of the cactus, which is a fundamental process to ensure the permanence of its populations.

Keywords: Cactaceae, nurse plant, recruitment

Importancia para la conservación

En este estudio, encontramos que las plantas nodrizas reducen la depredación de semillas y promueven la germinación de *Ariocarpus retusus*, una cactácea amenazada. Actualmente estamos evaluando el efecto de la facilitación en la supervivencia de las plántulas. Esta información es clave para conocer las condiciones bajo las cuales se pueden reintroducir semillas o plántulas para mantener el reclutamiento constante en la población, un proceso crucial para la conservación de la especie.

Introducción

El principal cuello de botella en las poblaciones de cactáceas es el reclutamiento de nuevos individuos (germinación y supervivencia de plántulas; Esparza-Olgún *et al.*, 2002; Mandujano *et al.*, 2007). La frecuencia baja de plántulas en las poblaciones se ha atribuido a factores abióticos e interacciones bióticas como la granivoría, que reduce el número de semillas viables en una población (Gutterman, 1994; Rojas-Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000), y la herbivoría, que reduce el número de plántulas en la población ya que los depredadores atacan frecuentemente a las plántulas que no cuentan con mecanismos de defensa, a diferencia de los individuos adultos (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991). Con respecto a los factores abióticos, en las zonas áridas y semiáridas persisten condiciones ambientales estresantes y cambiantes que reducen la germinación y aumentan la mortalidad de las plántulas. Se ha sugerido que la facilitación por plantas nodrizas favorece el reclutamiento, reduciendo el robo de semillas y el ataque de herbívoros en las plántulas protegidas (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Ramírez C., 2011; Filazzola y Lortie, 2014). De acuerdo con lo anterior, en este trabajo determinamos si la asociación nodriza protegida favorece la germinación de *Ariocarpus retusus*.

Métodos

Realizamos dos experimentos, uno *in situ* y otro en condiciones controladas. El trabajo de campo se realizó en Las Tablas, San Luis Potosí, para evaluar la

granivoría y la germinación de *Ariocarpus retusus* (Cactaceae). Las unidades experimentales consistieron en tiras de malla blanca para exclusión de áfidos, con cinco semillas adheridas con silicón frío (Ortiz Martínez *et al.*, 2021). Enterramos un tubo de PVC en el suelo, colocando las mallas con semillas en el centro; en los tratamientos con exclusión de depredadores, se cubrió la boquilla del tubo con malla contra áfidos. En octubre de 2022, se colocaron los experimentos bajo dos factores: 1) con o sin planta nodriza y 2) con o sin exclusión de depredadores (Figura 1), con 30 réplicas para cada combinación de tratamiento. Las réplicas experimentales correspondientes al factor nodriza, se colocaron de forma aleatoria bajo el dosel de plantas nodriza en las que se establece *A. retusus* en la población estudiada, tal como *Croton sonorae*, *Fouquieria splendens*, *Jatropha dioica*, *Larrea tridentata* y *Lippia dulcis*. Registramos el número de semillas robadas y germinadas después de un año. Ajustamos dos modelos lineales generalizados (GLM) con distribución binomial y función de enlace *logit*; un modelo evaluó la proporción de semillas germinadas y el otro modelo el número de semillas robadas entre cada combinación de tratamientos. Evaluamos la germinación de *A. retusus* bajo condiciones controladas, considerando el factor nodriza. Utilizamos 192 macetas de cartón con tierra del sitio de estudio, sembrando cinco semillas en cada maceta. En 96 macetas, simulamos la presencia de una nodriza colocando malla sombra en el borde, reduciendo el paso de la luz en un 50%; el resto de las macetas simulaban espacios abiertos (sin malla sombra). Las macetas se colocaron en un invernadero en Cadereyta de Montes, Querétaro. Mensualmente registramos el número de semillas germinadas y analizamos con una prueba de bondad de ajuste con el estadístico χ^2 ; de encontrarse diferencias significativas en la prueba se calcularon los residuos estandarizados (Everitt, 1992).

Figura 1. Experimento *in situ* que evalúa granivoría y germinación en *Ariocarpus retusus* en Las Tablas, San Luis Potosí, México. (Izquierda) Se observa una tira de malla blanca que contiene semillas y se encuentra fija al sustrato. (Derecha) Tratamiento con exclusión de depredadores.



Resultados

Determinamos que, en condiciones naturales, la presencia de una planta nodriza reduce la granivoría de semillas ($\chi^2 = 18.497$, $g. l. = 1$, $p = 0.016$; Figura 1a). No se encontraron diferencias significativas en el factor de exclusión de depredadores ($p = 0.715$), ni en la interacción entre ambos factores ($p = 0.481$) en el sitio de estudio. Con respecto a la germinación *in situ*, solo cinco semillas germinaron después de un año de colocarse el experimento, todas bajo una planta nodriza. En condiciones controladas, la presencia de una nodriza artificial favorece la germinación en *A. retusus* ($\chi^2 = 9.601$, $g. l. = 1$, $p = 0.001$; Figura 1b).

Figura 2. a) Granivoría registrada en una población silvestre de *Ariocarpus retusus* en Las Tablas, San Luis Potosí, México. Se muestra la proporción de semillas encontradas por unidad experimental (malla de plástico con semillas adheridas). Las unidades experimentales fueron colocadas en espacios abiertos (Expuesta) y bajo una planta nodriza (Nodriza biótica), así como con y sin exclusión de depredadores (malla contra áfidos). Datos correspondientes a octubre de 2022 a octubre de 2023.

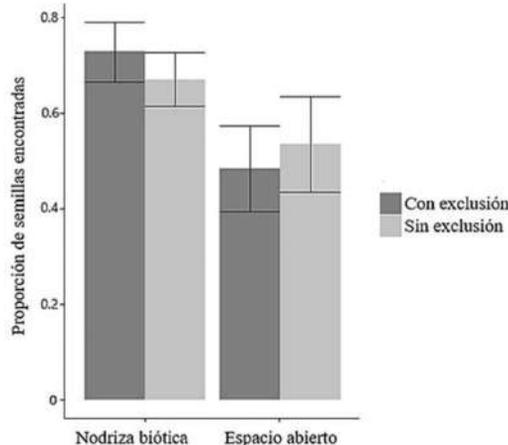
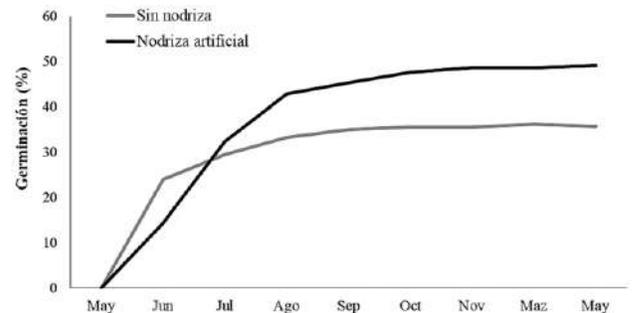


Figura 2 b) Germinación (%) de *A. retusus* registrada en macetas de celulosa con y sin nodriza artificial o malla sombra ($n = 480$ semillas) colocadas en un invernadero en Querétaro, México. Datos correspondientes de mayo de 2023 a mayo de 2024.



Discusión

En las zonas áridas se presentan numerosas asociaciones de facilitación planta-planta, esto se puede afirmar al observarse diversas especies creciendo juntas en parches de vegetación (Rodríguez-Ortega y Ezcurra, 2000). La frecuencia de este fenómeno se debe a que, a diferencia de los espacios abiertos, bajo el dosel de una planta nodriza, la planta protegida encuentra un microambiente con más humedad en el suelo, reducción de radiación solar directa y mayor disponibilidad de nutrientes, esto derivado de la caída de las hojas de la planta nodriza y su posterior descomposición. Estas condiciones microambientales aumentan la supervivencia de las plántulas al reducir la desecación y el ataque de los herbívoros ya que actúan como camuflaje (Nassar y Emaldi, 2008). La asociación planta-planta también reduce la depredación de semillas (granivoría), incrementando la cantidad de semillas disponibles para germinar y establecerse como un nuevo individuo (Valiente-Banuet 1991; Filazzola y Lortie, 2014; Arroyo-Cosultchi, 2016). Es posible que las condiciones descritas, beneficien a *A. retusus*, observándose un aumento en las tasas de germinación y una reducción en la granivoría de semillas.

Conclusiones

Las plantas nodriza reducen la granivoría de semillas y favorecen la germinación de *Ariocarpus retusus*. El reclutamiento constante de plántulas por la presencia de estas nodrizas, podría mantener en equilibrio numérico esta población.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada a DCR y al Programa de Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para el grado de doctorado de DCR, primer autor. Este proyecto fue financiado con presupuesto del Instituto de Ecología, UNAM, Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica UNAM-DGAPA-PAPIIT <<IN217324>> y CONAHCyT-CBF 2023-2024-1303 a María C. Mandujano. Agradecemos al M. Rojas-Aréchiga por brindar apoyo logístico.

Referencias bibliográficas

- Arroyo Cosultchi, G. (2016). Las causas y efectos del reclutamiento en la dinámica de poblaciones de cactáceas columnares. [Tesis de doctorado. UAM, México].
- Esparza-Olguín, L., Valverde, T. and Vilchis-Anaya, E. (2002). Demographic analysis of a rare columnar cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Mexico. *Biological Conservation*, 103, 349-359. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00146-X)
- Everitt, B. S. (1992). *The Analysis of Contingency Tables* (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/b15072>
- Filazzola, A. y Lortie, C. J. (2014). A systematic review and conceptual framework for the mechanistic pathways of nurse plants. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 1335-1345. DOI: 10.1111/geb.12202.
- Guterman, Y. (1994). Strategies of seed dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *The Botanical Review* 4, 403-405.
- Mandujano, M. C., Verhulst, J. A. M., Carrillo, A. I. G., and Golubov, J. (2007). Population Dynamics of *Ariocarpus scaphirostris* Bodeker (Cactaceae): Evaluating the Status of a Threatened Species. *International Journal of Plant Sciences*, 168(7), 1035-1044. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1086/519008>
- Nassar, J. y Emaldi, U. (2008). Fenología reproductiva y capacidad de regeneración de dos cardones, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. y *Cereus repandus* (L.) Mill. (Cactaceae). *Acta Bot. Venez.*, 31(2), 495-528.
- Ortiz Martínez, L. E., Arroyo-Cosultchi G., Golubov, J. y Mandujano, M. C. (2021). Experimentos de germinación de cactáceas en condiciones naturales: ¿Cómo documentar el destino de cada semilla introducida? *Cact Suc Mex*, 66(2), 36-47.
- Ramírez C., D. A. (2011). Los objetos nodriza como refugio y fuente de nutrientes: reflexiones sobre el establecimiento y restauración de cactáceas en zonas áridas de la vertiente occidental de los andes. *Ecología Aplicada*, 10:83-86.
- Rodríguez-Ortega, C. E. y Ezcurra, E. (2000). Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *Mammillaria carnea* en el

Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Cact Suc Mex*, 45, 4-14.

Rojas-Aréchiga, M. and Vázquez-Yanes, C. (2000). Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments*, 44(1), 85-104. <https://doi.org/10.1006/jare.1999.0582>.

Valiente-Banuet, A. and Ezcurra, E. (1991). Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ecology*, 79, 961-971. DOI: 10.2307/2261091.

El papel del polimorfismo floral en el éxito reproductivo del peyote queretano

José Manuel Matías-Cruz¹, M. Isabel Briseño-Sánchez^{1*}, 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.

*isabel.brisenosanchez@gmail.com

**mcmdujano@iecologia.unam.mx

Resumen

Dentro de las angiospermas, la mayoría de las especies muestra uniformidad en el color de las flores a nivel poblacional, sin embargo, hay una pequeña fracción que exhibe variaciones de color en estas estructuras, lo que podría afectar la dinámica reproductiva. El objetivo fue determinar si hay diferencias en el éxito reproductivo de dos morfos florales de color presentes en *Lophophora diffusa* (Cactaceae). Se realizaron censos de 2017 a 2023 para registrar el color de las flores, y se evaluó el éxito reproductivo de los morfos florales (flores rosas y flores blancas), en el Semidesierto-queretano ($n=500$ individuos). El porcentaje de individuos con flores blancas (81.3%) es mayor que para los individuos con flores rosas (18.7%). La proporción de frutos formados fue mayor en el morfo rosa para un periodo reproductivo, mientras que la producción de néctar fue mayor para el morfo blanco, sin embargo, los resultados no se mantienen constantes entre periodos reproductivos y por lo tanto no son concluyentes. Se sugiere que el polimorfismo de color podría ser una estrategia que facilite el éxito reproductivo de *L. diffusa* al tener una mayor oferta para atraer polinizadores, promoviendo que se mantengan los dos morfos en la población.

Palabras clave: Color de las flores, morfometría floral, néctar, cactáceas, Semidesierto-queretano

Abstract

Within angiosperms, most species exhibit uniformity in flower color at the population level, however, a small fraction displays color variations in flowers, which could affect reproductive dynamics. This study aimed to determine if there are differences in the reproductive success of two flower color morphs present in *Lophophora diffusa* (Cactaceae). Censuses were conducted from 2017 to 2023 to record flower color, and the reproductive success of the flower morphs (pink and white flowers) was evaluated in the Queretano Semi-desert ($n=500$ individuals). The percentage of individuals with white flowers (81.3%) is higher than for those with pink flowers (18.7%). The proportion of fruits formed was higher in the pink morph for one reproductive period, while nectar production was higher in the white morph; however, the results are inconsistent across reproductive periods and are therefore inconclusive. It is suggested that color polymorphism could be a strategy that facilitates the reproductive success of *L. diffusa* by providing a greater variety to attract pollinators, promoting the maintenance of both morphs in the population.

Keywords: Flower color, floral morphometry, nectar, cacti, Queretano Semi-desert

Importancia para la conservación

Estudiar y describir los procesos mediante los cuales las plantas y polinizadores interactúan permite crear estrategias de reproducción para especies que se encuentran en peligro de extinción y así mantener la diversidad genética de las poblaciones, en este caso, de una especie de cactus amenazado con polimorfismo en el color de las flores.

Introducción

El éxito reproductivo de las plantas con flor se vincula con la disponibilidad de parejas, la disponibilidad de polinizadores y el patrón de floración; con la presencia de recompensas como polen y néctar; y con rasgos como el color y el tamaño de las flores (Fenner 1985, Sapir *et al.* 2021). El color se considera uno de los principales rasgos florales que permite a los polinizadores localizar a las flores y reconocerlas como un recurso viable (Reverté *et al.* 2016, Sapir *et al.* 2021). Las angiospermas, en su mayoría, muestra uniformidad en el color de las flores a nivel poblacional, sin embargo, hay una pequeña fracción que exhibe variaciones en el color de las flores en una población, lo que podría afectar la dinámica reproductiva (Sapir *et al.* 2021). La coexistencia de diferentes morfos de color en una población puede explicarse por presiones de selección variables (Carlson y Holsinger 2013), como la selección dependiente de la frecuencia (Barrett 1988, Gigord *et al.* 2001), la selección mediada por polinizadores o herbívoros, y debido a gradientes climáticos (Strauss e Irwin 2004). El polimorfismo floral puede promover la entrecruza al tener morfos florales con diferentes polinizadores asociados, sin embargo, se considera poco probable que tal variación pueda conducir al aislamiento reproductivo de los diferentes morfos (Waser 2001). El objetivo de este trabajo fue determinar si hay diferencias en el éxito reproductivo de dos morfos florales de color presentes en una población de *Lophophora diffusa* (Cactaceae).

Métodos

Lophophora diffusa (Croizat) Bravo, es conocida comúnmente como peyote queretano. Es una planta geófito con crecimiento depreso-globoso. Tallos de color verde claro a verde amarillento, de 2 a 7 cm de altura. Costillas poco marcadas con areolas circulares y espinas ausentes. La floración ocurre entre marzo y septiembre, presenta individuos con flores blancas e individuos con flores rosas (Figuras 1 y 2, Bravo-Hollis 1967). Es una especie en peligro de extinción (P) (NOM-059-SEMARNAT-2010), se encuentra en riesgo debido al cambio de uso de suelo y a la colecta de individuos para fines ornamentales y terapéuticos. El proyecto se desarrolló en la localidad Agua de

Ángel, municipio de Peñamiller, Querétaro, México, con una altitud de 1400 m s.n.m. El tipo de vegetación es matorral xerófilo micrófilo (Rzedowski *et al.* 2012).

Durante el periodo reproductivo de 2016-2023 se hicieron censos para registrar el color de las flores y obtener el porcentaje de individuos que presentan cada morfo floral ($n=500$ individuos). El éxito reproductivo para cada morfo se determinó a partir de la formación de frutos y semillas y el porcentaje de germinación, además se registró la producción de néctar para saber si esta recompensa difería entre morfos florales (Tabla 1). Adicionalmente, se describió la morfometría floral, se midieron rasgos como el diámetro del perianto, altura de la flor, número de óvulos y número de anteras (morfo blanco: $n=10$ flores, 10 individuos, morfo rosa: $n=10$ flores, 10 individuos). Las diferencias entre morfos se evaluaron mediante pruebas de χ^2 .



Figura 1. Morfo floral blanco en *Lophophora diffusa*, población de Agua de Ángel, municipio Peñamiller, Querétaro. Foto: Isabel Briseño-Sánchez.



Figura 2. Morfo floral rosa en *Lophophora diffusa*, población de Agua de Ángel, municipio Peñamiller, Querétaro. Foto: Isabel Briseño-Sánchez.

Tabla 1. Indicadores de éxito reproductivo evaluados en los morfos florales de *Lophophora diffusa*, población de Agua de Ángel, municipio Peñamiller, Querétaro, México.

En cada morfo de color se indica la cantidad de flores producidas en la población, el número de individuos que fueron reproductivos y el año de la temporada reproductiva.

Indicador de éxito reproductivo	Morfo blanco	Morfo rosa
Formación de frutos (<i>fruit set</i>)	<i>n</i> =206 flores, 37 individuos (2017)	<i>n</i> =105 flores, 28 individuos (2017)
	<i>n</i> =48 flores, 14 individuos (2018)	<i>n</i> =50 flores, 15 individuos (2018)
Formación de semillas (<i>seed set</i>)	<i>n</i> =52 frutos, 38 individuos	<i>n</i> =31 frutos, 18 individuos
Germinación (10 semillas por unidad experimental, 10 repeticiones por morfo)	<i>n</i> =28 frutos, 20 individuos (2017)	<i>n</i> =17 frutos, 10 individuos (2017)
	<i>n</i> =24 frutos, 18 individuos (2018)	<i>n</i> =14 frutos, 8 individuos (2018)
Producción de néctar	<i>n</i> =52 flores, 40 individuos	<i>n</i> =12 flores, 9 individuos

Resultados

El porcentaje de individuos que presentan flores blancas (81.3%) es más alto en comparación con los individuos con flores rosas (18.7%). El promedio de semillas por fruto es mayor en las flores rosas, mientras que la producción de néctar es mayor para las flores blancas, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas al comparar estos resultados; el resumen de los resultados se muestra en la Tabla 2. Sólo se encontraron diferencias significativas en la cantidad de frutos que se forman en respuesta al morfo floral y el año ($\chi^2=28.95$, $P<0.0001$, g.l.=3), lo que indica que la formación de frutos puede variar entre morfos e inclusive para el mismo morfo entre temporadas reproductivas. Sin embargo, los resultados no se mantienen constantes entre periodos reproductivos y por lo tanto no son concluyentes. El éxito reproductivo en el 2018 señala un mayor *fruit set* para el morfo rosa que para el morfo blanco, mientras que no se observaron diferencias significativas entre morfos para el 2017 (Tabla 2). La formación de frutos difiere entre años para los dos morfos: flores blancas 2017 vs flores blancas 2018 ($\chi^2=5.74$, $P<0.05$, g.l.=1) y flores rosas 2017 vs flores rosas 2018 ($\chi^2=17.68$, $P<0.0001$, g.l.=1).

Discusión

La población de *L. diffusa* presenta en su mayoría individuos con flores blancas, mientras que menos

del 20% de los individuos reproductivos exhiben flores rosas. Independientemente del color de la

Tabla 2. Características asociadas al color de la flor en los individuos de *Lophophora diffusa*, población de Agua de Ángel, municipio Peñamiller, Querétaro.

Características asociadas al color de la flor	Morfo	
	Blanco	Rosa
Formación de frutos (<i>fruit set</i>)		
2017 ($\chi^2=0.43$, $P>0.5$, g.l.=1)	0.30	0.34
2018 ($\chi^2=4.57$, $P<0.05$, g.l.=1)	0.48	0.70
Semillas por fruto ($\bar{x}\pm e.e.$)	27.14 \pm 1.68	28.32 \pm 2.12
($\chi^2=0.38$, $P=0.53$, g.l.=1)		
Germinación (%)		
2017 ($\chi^2=0.13$, $P=0.71$, g.l.=1)	46	38
2018 ($\chi^2=0.18$, $P=0.66$, g.l.=1)	27	36
Producción de néctar (μL, $\bar{x}\pm e.e.$)	2.43 \pm 0.26	1.74 \pm 0.54
($\chi^2=0.62$, $P=0.42$, g.l.=1)		
Diámetro del perianto (mm, $\bar{x}\pm e.e.$)	9.25 \pm 0.52	10 \pm 0.44
Altura de la flor (mm, $\bar{x}\pm e.e.$)	19.39 \pm 0.84	22.55 \pm 1.55
Número de óvulos ($\bar{x}\pm e.e.$)	33 \pm 2.99	33 \pm 2.95
Número de anteras ($\bar{x}\pm e.e.$)	140.7 \pm 7.28	114.75 \pm 7.36

flor, se registraron valores bajos de *fruit set*, con porcentajes que por lo general se mantuvieron por

debajo del 50%. Aunque la presencia de un morfo floral raro a nivel poblacional podría indicar selección dependiente de la frecuencia (Gigord *et al.* 2001), los rasgos evaluados en la especie de estudio no presentaron diferencias que indiquen mayor éxito reproductivo en uno de los morfos para la mayoría de los atributos. Se observó una diferencia en la cantidad de frutos que se forman en respuesta al número de flores disponibles para cada morfo floral. El morfo floral menos frecuente (de color rosa) presentó valores más altos de *fruit set* para el 2018. Sin embargo, los resultados no se mantuvieron constantes entre periodos reproductivos. A pesar de que no se observaron diferencias significativas en la altura de las flores, el diámetro del perianto, el número de óvulos y el número de anteras; ni en la cantidad de recompensas (néctar), parece que el morfo más común produce más néctar que el morfo floral rosa. La baja proporción de las flores con menos recompensas puede permitir su permanencia como se ha reportado en especies con polinización por engaño (Gigord *et al.* 2001). El mantenimiento de diferentes morfos florales puede darse en una población por acción de los polinizadores (Sapir *et al.* 2021). En este trabajo no se analizó el efecto de los polinizadores en el mantenimiento del polimorfismo en el color de las flores, sin embargo, se sabe que las abejas solitarias y los escarabajos son los principales visitantes florales de esta especie (Briseño-Sánchez *et al.* 2022), por lo tanto, el polimorfismo de color podría favorecer la atracción de un mayor número de polinizadores para *L. diffusa*.

Conclusiones

El éxito reproductivo de los morfos florales de color en *L. diffusa* sugiere que el polimorfismo de color podría ser una estrategia que facilite la formación de frutos en *L. diffusa* al exhibir una mayor oferta para atraer polinizadores, promoviendo que se mantengan las flores blancas y rosas en la población.

Agradecimientos

Al Programa del Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM. Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca de Posgrado otorgada a Isabel Briseño Sánchez. Este proyecto fue financiado por el Programa de apoyo a Proyectos de investigación e innovación tecnológica UNAM-DGAPA-PAPIT <<IN217324>> y CONAHCyT-CBF 2023-2024-1303 otorgados a María C. Mandujano. Gracias a Linda Martínez, Esteban Munguía, Diana Cárdenas, Gerardo Manzanarez y José Aranda Pineda por el apoyo brindado en campo, y a Mariana Rojas por la logística para las salidas al campo.

Referencias bibliográficas

- Barrett, S. C. (1988). The evolution, maintenance, and loss of self-incompatibility systems. *Plant reproductive ecology: patterns and strategies*, 98-124.
- Briseño-Sánchez, M. I., Martorell, C., Valverde, P. L. and Mandujano, M. C. (2022). Biotic interactions prior to seed dispersal determine recruitment probability of peyote (*Lophophora diffusa*, Cactaceae), a threatened species pollinator-dependent. *Plant Ecology*, 223(10), 1193-1206.
- Carlson, J. E. and Holsinger, K. E. (2015). Extrapolating from local ecological processes to genus-wide patterns in colour polymorphism in South African *Protea*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1806), 20150583.
- Fenner, M. (1985) Seed ecology. *Outline Studies in Ecology*. London: Chapman & Hall.
- Gigord, L. D., Macnair, M. R. and 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.
- Reverté, S., Retana, J., Gómez, J. M. and Bosch, J. (2016). Pollinators show flower colour preferences but flowers with similar colours do not attract similar pollinators. *Annals of botany*, 118(2), 249-257.
- Rzedowski, J., Calderón de Rzedowski, G. and Zamudio, S. (2012). The endemic vascular plants in the state of Queretaro. I. Preliminary numerical analysis and definition of areas of concentration of species of restricted distribution.
- Sapir, Y., Gallagher, M. K. and Senden, E. (2021). What maintains flower colour variation within populations? *Trends in Ecology & Evolution*, 36(6), 507-519.
- Strauss, S. Y. and Irwin, R. E. (2004). Ecological and evolutionary consequences of multispecies plant-animal interactions. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35(1), 435-466. ser. N. M. (2001). Pollinator behavior and plant speciation: looking

El papel del polimorfismo floral en el éxito reproductivo del peyote queretano

beyond the “ethological isolation” paradigm. *Cognitive ecology of pollination*, 318-335.

Redes ecológicas en cactus: visitantes florales a través del tiempo

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

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.

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

[**mcmdujano@iecologia.unam.mx](mailto:mcmdujano@iecologia.unam.mx)

Resumen

Las interacciones ecológicas en la naturaleza son importantes. Un ejemplo de ellas es la polinización, que es reconocida como un servicio ecosistémico que determina y moldea el ensamblaje de las comunidades y los ecosistemas. El enfoque de la teoría de redes ecológicas permite identificar patrones y especies clave en este entramado de interacciones. El objetivo de este trabajo es monitorear mensualmente la dinámica de la interacción entre los cactus y sus visitantes florales en la zona silvestre de un jardín botánico del Semidesierto Queretano. Las visitas se monitorearon durante un año y los datos se analizaron por medio de redes de interacción. En los resultados se resalta que durante la primavera se obtuvieron la mayoría de los registros gracias a la floración de las especies del género *Opuntia*, y la presencia de abejas medianas y pequeñas. Con respecto a las métricas de la red, los meses de marzo y mayo fueron los más destacados al indicar un anidamiento ponderado significativo y no registrar modularidad. Por otro lado, se registraron visitantes no tan frecuentes como aves, avispas, escarabajos, mariposas, entre otros. Es esencial seguir recabando más información sobre la interacción entre cactus y visitantes para establecer estrategias de conservación.

Palabras clave: Abejas medianas, abejas pequeñas, Cactaceae, *Opuntia*

Abstract

Ecological interactions in nature are important. One of them is pollination, which is recognized as an ecosystem service that determines the assembly of communities and ecosystems. The approach of ecological network theory allows for the identification of patterns and key species in this web of interactions. This work aims to monitor monthly the interaction dynamics between cacti and their floral visitors in the wild area of a botanical garden in the Querétaro semi-desert. Visits were monitored for a year, and the data were analyzed through ecological networks. The results highlight that most records were obtained during the spring, thanks to the presence of flowers of *Opuntia* species, and medium and small bees. Referring to network metrics, March and May were the most important months, indicating significant weighted nestedness and without modularity. On the other hand, less frequent visitors such as birds, wasps, beetles, butterflies, and others were recorded. To establish conservation strategies, it is essential to continue gathering more information about the interaction between cacti and visitors.

Keywords: Medium-sized bees, small-size bees, Cactaceae, *Opuntia*

Importancia para la conservación

Es esencial trabajar en la dinámica de las interacciones ejemplificando este trabajo entre cactus y sus visitantes florales a través del tiempo. Esto ayuda a comprender como influye la estacionalidad y variación de la floración de los cactus en sus visitantes florales, además de apoyar a los trabajos de polinización. Se espera que el conocimiento generado ayude a tomar mayor conciencia sobre la conservación de las especies mexicanas mediante el enfoque de teoría de redes.

Introducción

Uno de los mutualismos mejor reconocidos en la naturaleza es la polinización, debido a que es un servicio ecosistémico que determina y moldea el ensamblaje de las comunidades y los ecosistemas (Dáttilo y Rico-Gray, 2018). En los últimos años, algunos estudios han registrado una disminución de polinizadores nativos (Ej: Munguía-Soto *et al.*, 2023), de forma que las poblaciones de plantas silvestres se pueden ver afectadas debido a la reducción de la producción de frutos y semillas. Por lo que estudios sobre esta problemática son necesarios para realizar acciones y estrategias de conservación (SADER, 2021). Entretanto, una de las herramientas adecuadas para estudiar este tipo de relaciones a nivel de comunidad, es el enfoque de la teoría de redes ecológicas, pues permite identificar patrones y las especies clave en este tipo de interacciones bióticas (Bascompte y Jordano, 2014). Entonces, el objetivo de este trabajo fue monitorear y analizar la dinámica de la interacción entre los cactus y sus polinizadores en el área silvestre de un jardín botánico del Semidesierto Queretano.

Métodos

El sitio de estudio establecido fue el área silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”, en Cadereyta de Montes, Querétaro, cuya vegetación pertenece al matorral desértico crassicaule ya que predominan varias especies de nopales (*Opuntia* spp). Para estudiar la dinámica de la interacción cactus-visitante floral, se realizaron salidas de campo mensuales durante un año para monitorear los visitantes florales de las cactáceas

en un horario de trabajo de 0900 hasta las 1700. Posteriormente, se construyeron matrices de interacción por mes, y se analizaron los datos con por medio de R Software 4.3.1 (2023) con ayuda de los paquetes *bipartite* y *FALCON*. Las métricas utilizadas fueron el número de enlaces por especie, nivel de especialización, anidamiento ponderado y modularidad. Como complemento, se calcularon los porcentajes de riqueza de interacciones para determinar el esfuerzo de muestreo.

Resultados

Los resultados principales indican que entre los meses de marzo y abril hay variación en la floración de los cactus del sitio, teniendo el pico en las cuales predominan *Opuntia robusta*, *O. steptacantha* y *O. tomentosa* (Figura 1). Con respecto a los visitantes florales en esta temporada, predominan las abejas (Figura 2) de tamaño mediano (especies que miden entre 8 a 15 mm, como *Diadasia* spp. y *Apis mellifera*) y pequeño (aquellas que miden menos de 8 mm, como *Macrotera sinaloana*). Pasando la mitad del año, se registraron pocas interacciones ya que hubo pocos cactus en floración como *Cylindropuntia imbricata* y *Ferocactus latispinus*, además de presenciar otras abejas medianas y escarabajos.

El esfuerzo de muestreo determinó que se han registrado del 61.08% al 82.84% de las interacciones posibles, y esto indica que el registro de las interacciones fue bueno y representativo. Con respecto los parámetros de las redes; el número de enlaces y la especialización entre los meses marzo y abril fue similar, indicando que cada visitante visita entre una a dos especies de cactáceas, y las interacciones cactus-visitantes son sistemas generalizados. Asimismo, los meses de marzo y mayo indicaron un anidamiento significativo (*weighted NODF* = 62.68 y 70.97, $p = 0.012$ y 0.001, respectivamente) y no son redes modulares ($M = 0.2925$ y 0.306, *número de módulos* = 3 y 4, $p = 0.66$ y 0.59, respectivamente). Es decir, los visitantes florales tienen una amplia variedad de cactus con las cuáles interactúan, y viceversa. Además, no existen subgrupos de especies que solo interactúan principalmente entre ellos mismos, sino que lo hacen con el resto de la red.

Discusión

Hay que tomar en cuenta que existe un fuerte impacto de la estacionalidad de las interacciones ecológicas en el Semidesierto Queretano (Argueta-Guzmán *et al.*, 2022). En el presente trabajo, la estacionalidad se debe a la variación de la floración de los cactus teniendo su pico durante la primavera, y en

otoño se registran muchos menos cactus en floración. No obstante, falta monitorear la actividad de los visitantes florales para la segunda mitad del año, ya que pueden estar interactuando con otras plantas de la zona que no fueron contempladas como Asteraceae, Fabaceae y Lamiaceae (Pereira-Guaqueta y Mandujano, 2023).

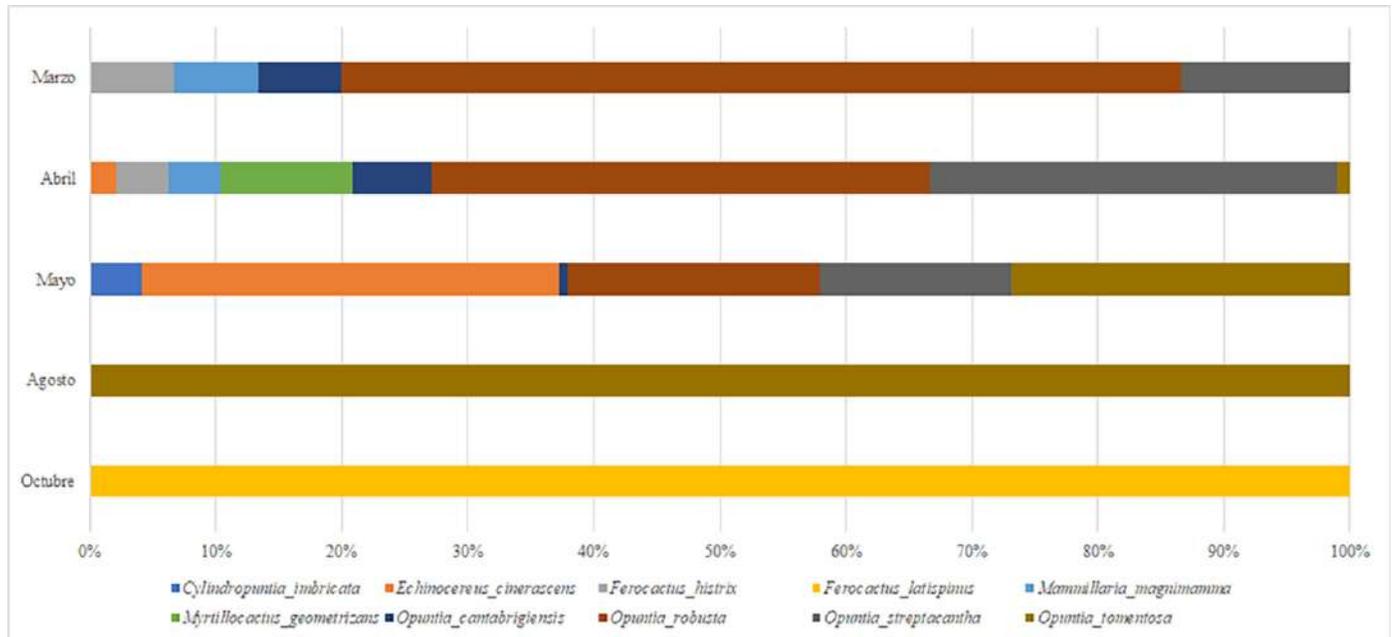


Figura 1. Gráfico de barras apiladas que muestra los porcentajes de fenología floral de las cactáceas en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta, Querétaro, México, en diferentes meses del año. Datos de marzo a mayo de 2023 y 2024 y en agosto a octubre de 2024.

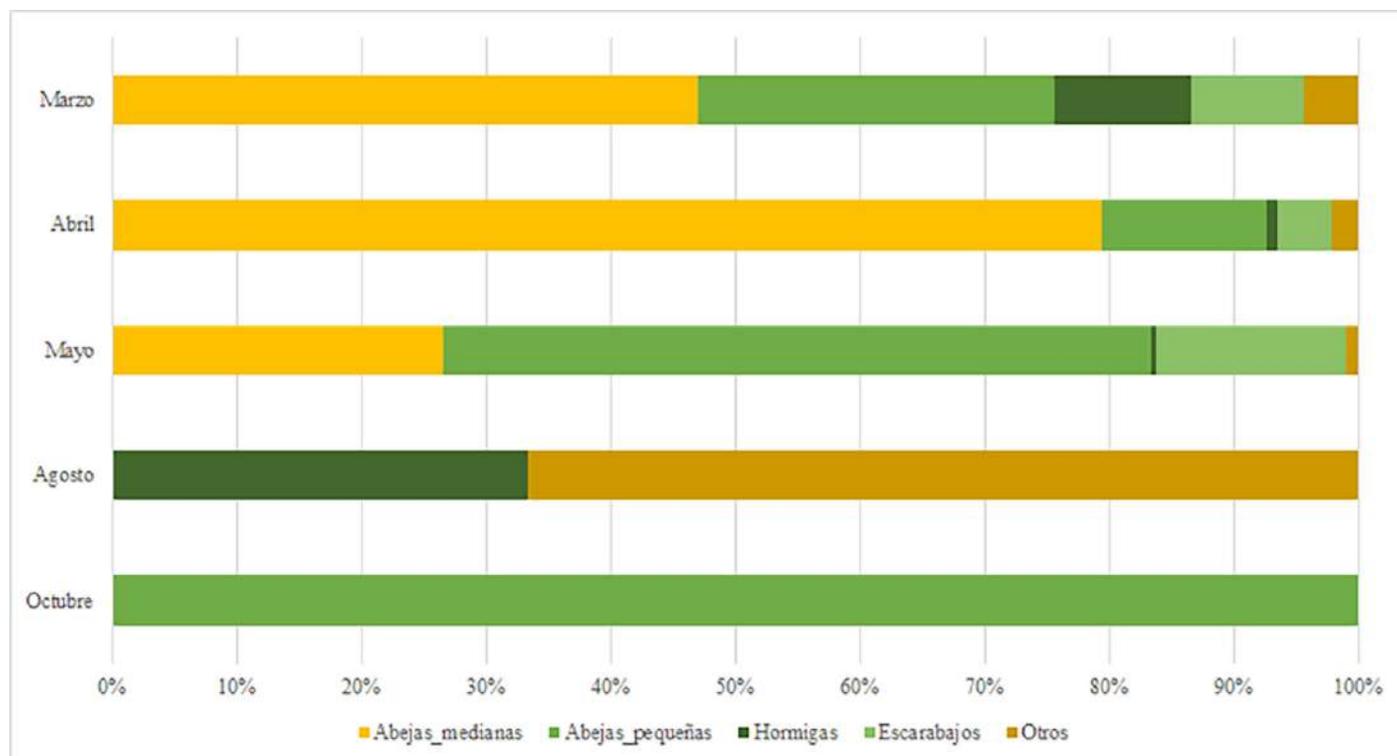


Figura 2. Gráfico de barras apiladas que muestra los porcentajes de abundancia de los grupos funcionales de polinización en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta, Querétaro, México, en diferentes meses. Datos de marzo a mayo de 2023 y 2024 y en agosto a octubre de 2024.

Se ha registrado la presencia de otros visitantes florales infrecuentes en el presente trabajo, tales como abejas grandes (aquellas que miden más de 15 mm como *Xylocopa* sp.), aves, avispas, escarabajos, hormigas, mariposas y moscas con menor frecuencia. Sin embargo, falta investigar su efectividad de polinización para determinar si son polinizadores efectivos de las cactáceas. Estos registros ayudarán a robustecer la información de la importancia de los polinizadores del Semidesierto Queretano en las plantas nativas, además de complementar los trabajos de conservación en el territorio mexicano (SADER, 2021).

Conclusiones

Esta información sobre monitoreo de visitantes florales en áreas silvestres del Semidesierto Queretano ayudará a comprender la dinámica de las redes de interacción, sobre todo las de polinización. Y es posible que algunos interactuantes sean especies amenazadas y/o vulnerables, para las cuales habrá que enfocar la atención.

Referencias bibliográficas

- Argueta-Guzmán, M., Golubov, J., Cano-Santana, Z. and Ayala, R. (2022). The role of seasonality and disturbance in bee-plant interactions in semi-arid communities of the southern Chihuahuan desert. *Insect Conservation and Diversity*, 15(5), 543-554.
- Bascompte, J. and Jordano, P. (2013). *Mutualistic Networks*. Princeton University Press.
- Dáttilo, W. and Rico-Gray, V. (2018). *Ecological Networks in the Tropics*. Cham, Switzerland: Springer.
- Munguia-Soto, E. O., Golubov, J. and Mandujano, M. C. (2023). Bee Assemblage in the Southern Chihuahuan Desert: The Role of Season, Year, and Trap Color in Abundance. *Insects*, 14(11), 875.
- Pereira-Guaqueta, A. and Mandujano, M. C. (2023). Redes de polinización e interferencia de una planta exótica invasora. *Nthe, Memorias in Extenso – IX Cátedras del Semidesierto*, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, pp: 34-37.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2021). Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores (ENCUSP). Gobierno de México, México.

Factores que vulneran la sobrevivencia de *Opuntia cantabrigiensis* en el JBRC

Linda Martínez-Ramos^{1*} y María C. Mandujano¹

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.

[*lindam.mtz@gmail.com](mailto:lindam.mtz@gmail.com)

[**mcmdujano@iecologia.unam.mx](mailto:mcmdujano@iecologia.unam.mx)

Resumen

Los nopales poseen características ecológicas que les permiten prosperar en ambientes estresantes. Sin embargo, hay especies en el género que pueden estar sujetas a factores que limitan su sobrevivencia. El objetivo de este trabajo es describir algunos factores que pueden limitar la sobrevivencia de *Opuntia cantabrigiensis* en el remanente de matorral xerófilo del Jardín Botánico Regional de Cadereyta. Para esto, registramos el número de individuos reproductivos durante tres años (2022-2024), realizamos experimentos de polinización y de germinación, y reportamos algunas interacciones antagonicas. Encontramos que solo la mitad de los individuos de *O. cantabrigiensis* produce estructuras reproductivas en los tres años, que la población depende de la polinización cruzada para formar semillas y que la germinación de los tratamientos de polinización abierta y cruzada es de 7-17%. Además, encontramos ortópteros, larvas y adultos de escarabajos que afectan negativamente a *O. cantabrigiensis*. Esta especie produce pocas estructuras reproductivas en comparación a las otras *Opuntia* del JBRC y depende de polinizadores para producir semillas; de esas semillas, un pequeño porcentaje puede germinar. Sumando el efecto de las interacciones antagonistas, podemos concluir que *O. cantabrigiensis* es vulnerable a desaparecer del sitio de estudio si no se implementan estrategias de control de las potenciales plagas.

Palabras clave: Éxito reproductivo, germinación, plagas, sobrevivencia

Abstract

The Prickly Pears possess ecological characteristics that allow them to thrive in stressful environments. However, some species in the genus can be subject to factors that limit their survival. This study aims to describe some factors that may limit the survival of *Opuntia cantabrigiensis* in the xerophytic scrub remnant at Cadereyta Regional Botanic Garden. We recorded the number of reproductive individuals over three years (2022-2024), conducted pollination and germination experiments, and reported some antagonistic interactions. We found that only half of the *O. cantabrigiensis* individuals produced reproductive structures over the three years, that the population relies on cross-pollination to form seeds, and that the germination rates of open and cross-pollination treatments range from 7-17%. Additionally, we found orthopterans, larvae, and adult beetles that negatively affect *O. cantabrigiensis*. This species produces few reproductive structures compared to other *Opuntia* in JBRC and depends on pollinators to produce seeds; of those seeds, a small percentage can germinate. Adding the effect of antagonistic interactions, we can say that *O. cantabrigiensis* is vulnerable to disappearing from the study site if strategies to control potential pests are not implemented.

Key words: Reproductive success, germination, pests, survival

Importancia para la conservación

Es de suma importancia identificar los factores que vulneran la sobrevivencia de las especies en su hábitat natural. Una vez identificados, podemos desarrollar estrategias que, por ejemplo, eviten la propagación de enfermedades y plagas en los individuos sanos y así incida positivamente en el éxito reproductivo en años posteriores y mantener las poblaciones.

Introducción

La subfamilia Opuntioideae es un grupo de cactáceas que se caracteriza por presentar tallos verdes cilíndricos o aplanados que están encadenados unos a los otros. Todos los géneros presentan glóquidas y en los tallos más jóvenes tienen hojas deciduas (Bravo-Hollis, 1978). Los géneros más comunes dentro de la subfamilia son *Opuntia* y *Cylindropuntia*, con aproximadamente 180 y 50 especies, respectivamente (Bravo-Hollis, 1978; WFO, 2024), y ambos son capaces de tener reproducción clonal, lo que les confiere ciertas ventajas ecológicas, como una mayor contribución al crecimiento poblacional y una propagación menos costosa (Mandujano, 2007). *Opuntia* también pueden ser exitosa sexualmente, pues pueden producir muchos frutos y semillas por individuo por ciclo reproductivo (Reyes-Aguero et al., 2006). En un fragmento de matorral xerófilo queretano, tres de cuatro especies (*O. tomentosa*, *O. streptacantha* y *O. robusta*) producen muchos frutos y semillas al año (Martínez-Ramos et al., 2024) y se han observado tallos desprendidos que desarrollan raíces (obs. per. Martínez-Ramos). No ocurre lo mismo con la cuarta especie, *O. cantabrigiensis*, pues produce menos frutos, semillas y no se han observado tallos enraizados (obs. per. Martínez Ramos). En este trabajo proporcionamos evidencias de la vulnerabilidad de *O. cantabrigiensis* en el sitio de estudio, considerando su éxito reproductivo, de germinación y amenazas de algunos de sus antagonistas.

Métodos

El estudio se realizó en un remanente de matorral xerófilo ubicado en el área silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta (JBRC), en Cadereyta de Montes, Querétaro, México. La especie de estudio es *O. cantabrigiensis* Lynch, que tiene un crecimiento arbustivo, con pencas orbiculares de color verde azulado pálido, areolas grandes con tricomas marrón, glóquidas largas y amarillas, espinas amarillentas, de 3 a 6 por areola, flores bisexuales amarillo pálido y frutos púrpura cuando están maduros (Bravo-Hollis, 1978).

En tres años consecutivos (2022-2024) registramos el número de individuos reproductivos de una muestra en el área de estudio. Para determinar el número de frutos y semillas formadas en *O. cantabrigiensis* en la temporada reproductiva de 2022, realizamos polinizaciones manuales controladas con tres tratamientos: polinización cruzada, autopolinización y polinización abierta (como control), en un diseño por bloques donde las plantas (individuos) son los bloques y cada flor es una unidad experimental. Para determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó un modelo lineal generalizado (GML) y posteriormente contrastes ortogonales. Los resultados de polinización manual están publicados en Martínez-Ramos et al. 2024.

Para determinar el porcentaje de germinación de los tres tratamientos, se aleatorizaron 100 semillas por tratamiento, excepto en el de autopolinización, del que sólo se obtuvieron 20 semillas en total. Sembramos las semillas en cajas Petri de plástico con agar bacteriológico al 1%, cinco por caja para los tratamientos de polinización cruzada y abierta, y dos en cada caja para la autopolinización, las cuales se colocaron en una cámara ambiental con temperatura de 25 °C y fotoperiodo de 12 h. El número de semillas germinadas se revisó cada tercer día durante 70 días, y después cada semana durante los siguientes cuatro meses. Se comparó el porcentaje de germinación de cada tratamiento con la paquetería “GerminaR”. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el lenguaje de programación R. Durante el periodo de estudio se inspeccionó la muestra de *O. cantabrigiensis* para detectar individuos con aspecto enfermo e interacciones antagonistas ocasionales.

Resultados

Durante 2022 sólo se monitorearon 50 individuos de *O. cantabrigiensis*, en 2023 y en 2024 la muestra se aumentó a 98 individuos. En los tres años encontramos que apenas la mitad de los individuos censados forma estructuras como botones, flores o frutos (Figura 1).

Para los experimentos de polinización manual, 87 y 85% de flores manipuladas de polinización abierta y polinización cruzada,

respectivamente, formaron fruto, mientras que la autopolinización sólo formó el 6%. Los tres tratamientos son estadísticamente diferentes ($\chi^2 = 160.26$, $gl = 1$, $P < 0.001$), donde la polinización cruzada formó más semillas que la polinización abierta y en la autopolinización sólo se formaron 20 semillas (Figura 2a). Las semillas de la polinización abierta germinaron 7%, las de polinización cruzada 17% y las de autopolinización no germinaron, todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes ($F = 5.70$, $gl = 2$, $P < 0.001$; Figura 2b).

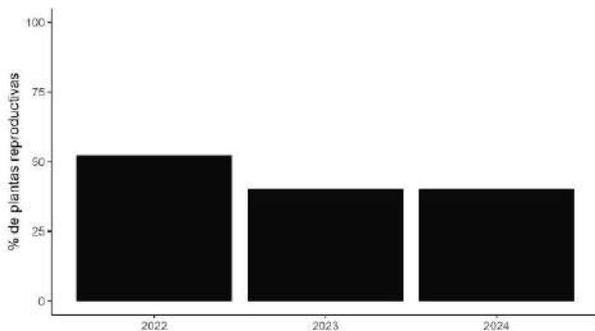


Figura 1. Porcentaje de individuos reproductivos en tres años de registro (2022-2024), donde máximo 52% de los individuos observados tienen alguna estructura como botón, flor o fruto.

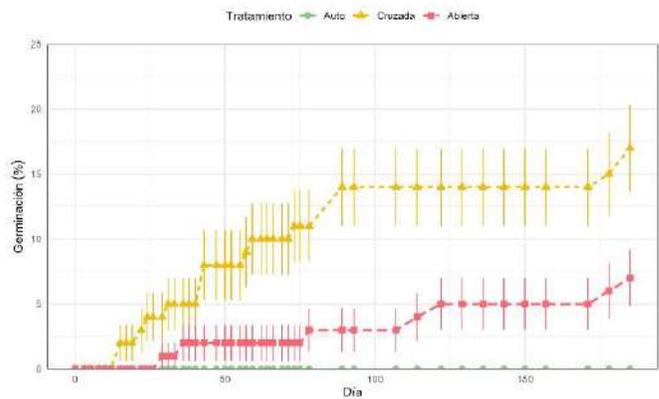
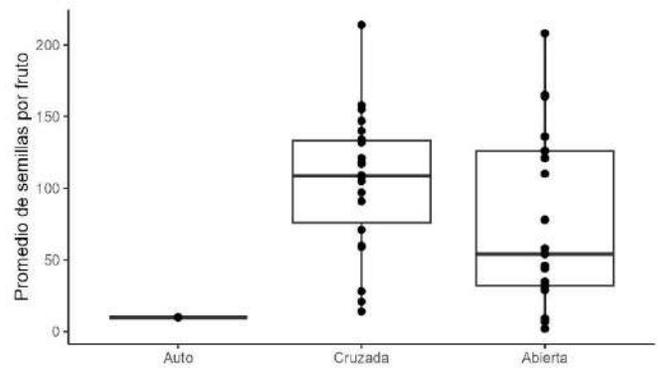


Figura 2. Resultados de los experimentos de polinización a) número de semillas por fruto en cada tratamientos y b) germinación acumulada en los seis meses de observación. Auto = Autopolinización; Cruzada= Polinización cruzada; y Abierta = Polinización abierta.

Detectamos tres antagonistas que pueden vulnerar la sobrevivencia de *O. cantabrigiensis*: i) ortópteros florívoros, que depredan partes como el estigma (Figura 3a), el perianto y el polen. ii) la presencia de larvas (probable escarabajo) en la base de una planta (Figura 3b), lo que provocó la caída del individuo; iii) el escarabajo picudo del nopal (*Metamasius spinolae*), que depreda los tallos de las cuatro especies de *Opuntia* que habitan en el sitio de estudio (Figura 3c).



Fig. 3. Amenazas a las que se enfrenta *O. cantabrigiensis* en JBRC: a) Ortóptero comiendo por completo el estigma y otras partes de la flor; b) larvas de lo que probablemente es un escarabajo en un tronco de *O. cantabrigiensis* podrido y derribado.; y c) picudo del nopal dañando una penca de *Opuntia* sp. En el remanente de matorral xerófilo, también se ha observado en la especie de estudio. Fotos: Linda Mariana Martínez Ramos y Mariana Paola Bravo Correa.

Discusión

Opuntia es un grupo bien adaptado a ambientes estresantes y donde los recursos son escasos. Poseen características ecológicas que le permite reproducirse sexual y clonalmente, lo que favorece su sobrevivencia (Rebman y Pinkava, 2001). A pesar de ser un grupo tan exitoso, hay poblaciones donde

la sobrevivencia se ve muy limitada, como es el caso de *O. cantabrigiensis*. En el sitio de estudio tanto en 2023 como en 2024 los individuos reproductivos se mantuvieron en un 40% y, en general, producen mucho menos flores y frutos que las especies cohabitantes como *O. streptacantha* y *O. tomentosa* (Martínez-Ramos *et al.*, 2024). Según nuestros resultados, esta especie necesita polen de otras flores para producir semillas, lo que la hace dependiente de la presencia de polinizadores, y aún si se producen suficientes semillas, estas parecen germinar muy poco en comparación con otras especies (Reyes-Agüero *et al.*, 2006). La reproducción sexual se compromete aún más ante la presencia de florívoros como ortópteros, escarabajos y roedores, que pueden provocar la aborción completa de las flores (Cárdenas-Ramos, 2019).

En los tres años de censo no observamos cladodios de *O. cantabrigiensis* con la curvatura típica de un tallo desprendido en proceso de enraizamiento, (Mandujano, 2007). Desafortunadamente en el JBRC observamos larvas de un escarabajo, que, como la mayoría de las plagas del nopal, se alimentan de los tejidos de las pencas antes de pasar al siguiente estadio y deja a las plantas vulnerables a la infección por hongos o bacterias (Badii y Flores, 2001). Lo que posteriormente puede provocar su muerte.

Conclusiones

En este trabajo señalamos que, por sus características reproductivas y la presencia de antagonistas a lo largo del año, *Opuntia cantabrigiensis* es una especie con alta probabilidad de extinción local en el sitio de estudio. Son necesarias estrategias para evitar su desaparición, principalmente en el tratamiento de las plantas enfermas para aminorar los efectos de las plagas y que los adultos sanos puedan formar estructuras como botones, flores y frutos pues parece ser que la estrategia de reproducción principal de esta población es la sexual.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada a LMMR. Este proyecto fue financiado por el

presupuesto del Instituto de Ecología de la UNAM, así como por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica UNAM-DGAPA-PAPIIT (IN217324) y el CONACYT-CBF 2023-2024-1303 a María C. Mandujano. Agradecemos a la Biól. Beatriz Maruri y al Ing. Emiliano Sánchez por las facilidades brindadas en el sitio de estudio. También agradecemos a Mariana Rojas-Aréchiga por su apoyo en la logística de las salidas de campo. Agradecemos, el apoyo en campo de Isabel Briseño Sánchez, Esteban Munguía Soto, Diana Cárdenas Ramos, José Antonio Aranda y Gerardo Manzanárez Villasana.

Referencias bibliográficas

- Badii, M. H. and Flores, A. E. (2001). Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. *Florida Entomologist*, 84(4), 503–505.
- Bravo-Hollis, H. (1978). *Las Cactáceas de México vol I* (2nd ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cárdenas-Ramos, D. (2019). Florivoría en *Opuntia cantabrigiensis* Lynch (Cactaceae), en Cadereyta de Montes, Querétaro. Tesis de maestría. Instituto de Ecología UNAM.
- Mandujano, M. (2007). *La clonalidad y sus efectos en la biología de poblaciones*. In L. Eguiarte, V. Souza, y X. Aguirre (Eds.), *Ecología Molecular: Vol. Capítulo 7* (pp. 215–250). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez-Ramos, L. M., Vázquez-Santana, S., García-Franco, J. and Mandujano, M. C. (2024). Is self-incompatibility a reproductive barrier for hybridization in a sympatric species? *American Journal of Botany*, 111(4), e16309. <https://doi.org/10.1002/AJB2.16309>
- Rebman, J. P. and Pinkava, D. J. (2001). *Opuntia* cacti of North America—An Overview. *Florida Entomologist*, 84(4), 474–483.
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre, J. R. and Valiente-Banuet, A. (2006). Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments*, 64(4), 549–585. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.018>
- WFO. (2024, June). World Flora Online. <http://www.worldfloraonline.org/>

Evaluación de diferentes atrayentes de picudo en magueyes de Boyé, Cadereyta, Querétaro, México

Rosalinda González-Santos, Jesús Luna-Cozar, Luis Hernández-Sandoval*, Salvador Villaseñor-Barrera, Donaji Hernández-Contreras
Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro,
Av. De las Ciencias S/N, CP. 76230, Juriquilla, Querétaro, México.
*luishs@uaq.mx

Resumen

La comunidad de Boyé utiliza el maguey para la elaboración de pulque, barbacoa y forraje. En este lugar, así como en el resto del país, el cultivo es afectado por el picudo del maguey (*Scyphophorus acupunctatus*). El objetivo de esta investigación fue analizar la respuesta del picudo a diferentes atrayentes para elegir el mejor como un primer acercamiento para desarrollar una estrategia de control. Se colocaron 32 trampas de junio a noviembre del 2023 en cuatro parcelas. Los atrayentes fueron tres sinérgicos diferentes con y sin feromona de agregación, los cuales fueron cambiados quincenalmente, colectando los picudos para su conteo y sexado. Se capturaron 1,529 picudos en todos los atrayentes que incluyeron feromona, y 144 en ausencia de esta. El mejor atrayente fue feromona-xí mfi (bagazo obtenido del raspado para la obtención de aguamiel) con 472 y el de menor captura plátano-piña-sin feromona con 38. Existieron diferencias en el número de picudos entre parcelas y una mayor abundancia en noviembre. En conclusión, para monitoreo de la población de picudos el xí mfi con feromona es adecuado.

Palabras clave: *Scyphophorus acupunctatus*, *Agave*, feromona

Abstract

The Boyé community uses maguey for pulque, barbacoa, and forage. In Boyé, as in the rest of the country, this crop is affected by the maguey weevil (*Scyphophorus acupunctatus*). Our goal was to analyze the response of the weevil to different attractants to choose the best one as a first approach to develop a control strategy. Thirty-two traps were placed from June to November 2023 in four plots. The attractants were three synergists with and without pheromone aggregation, which were changed biweekly, counting and sexing the weevils. A total of 1,529 weevils were captured in all attractants, including pheromone, and 144 in its absence. The best attractant was pheromone-xí mfi (bagasse from leaf scraping to obtain mead) with 472, and the lowest capture was banana-pineapple-without pheromone with 38. There were differences in weevil numbers between plots and with greater abundance in November. In conclusion, the xí mfi with pheromone is the best suitable for monitoring the weevil population.

Keywords: *Scyphophorus acupunctatus*, *Agave*, pheromone

Importancia para la conservación

Los resultados de la presente investigación tienen impacto ambiental, social, cultural y económico. Se buscan alternativas de control del picudo amigables con el medio ambiente y que fomenten la biodiversidad asociada a la agricultura.

Introducción

El cultivo de magueyes (*Agave* spp.) es emblemático en México con importancia cultural, social y económica. Destaca la elaboración de bebidas como pulque, mezcal y tequila (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017).

El picudo del *Agave* (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) es una de las principales plagas de los agaves, que puede ocasionar pérdidas de hasta un 40% de la producción en cultivos del maguey pulquero. Este insecto daña desde plántulas hasta plantas adultas. Además, se le considera vector de otras enfermedades como hongos y bacterias que causan pudrición y muerte de las plantas. El insecto es de hábitos crípticos, por lo que el control de sus poblaciones es complicado (Cruz-Esteban *et al.*, 2020; González-Hernández, 2023). El monitoreo de densidades poblacionales del picudo del maguey se basa en el uso de trampas cebadas con atrayentes vegetales fermentados combinados con feromona de agregación sintética

(Rodríguez-Rebollar *et al.*, 2012; González-Hernández, 2023).

En Querétaro se estiman *ca.* 26 especies de *Agave* (Magallán-Hernández y Hernández-Sandoval, 2000). En Boyé se cultivan tres, *A. salmiana*, *A. mapisaga* y *A. americana* y representan uno de los principales cultivos que contribuye con la economía local. El objetivo fue analizar la respuesta del picudo del maguey a diferentes atrayentes para elegir el mejor, como un primer acercamiento para proponer estrategias de control.

Métodos

Área de estudio

La investigación se hizo en Boyé, Cadereyta, Querétaro, ubicada en el Semidesierto Queretano. Las trampas fueron colocadas en cuatro parcelas de agricultores cooperantes (Figura 1).

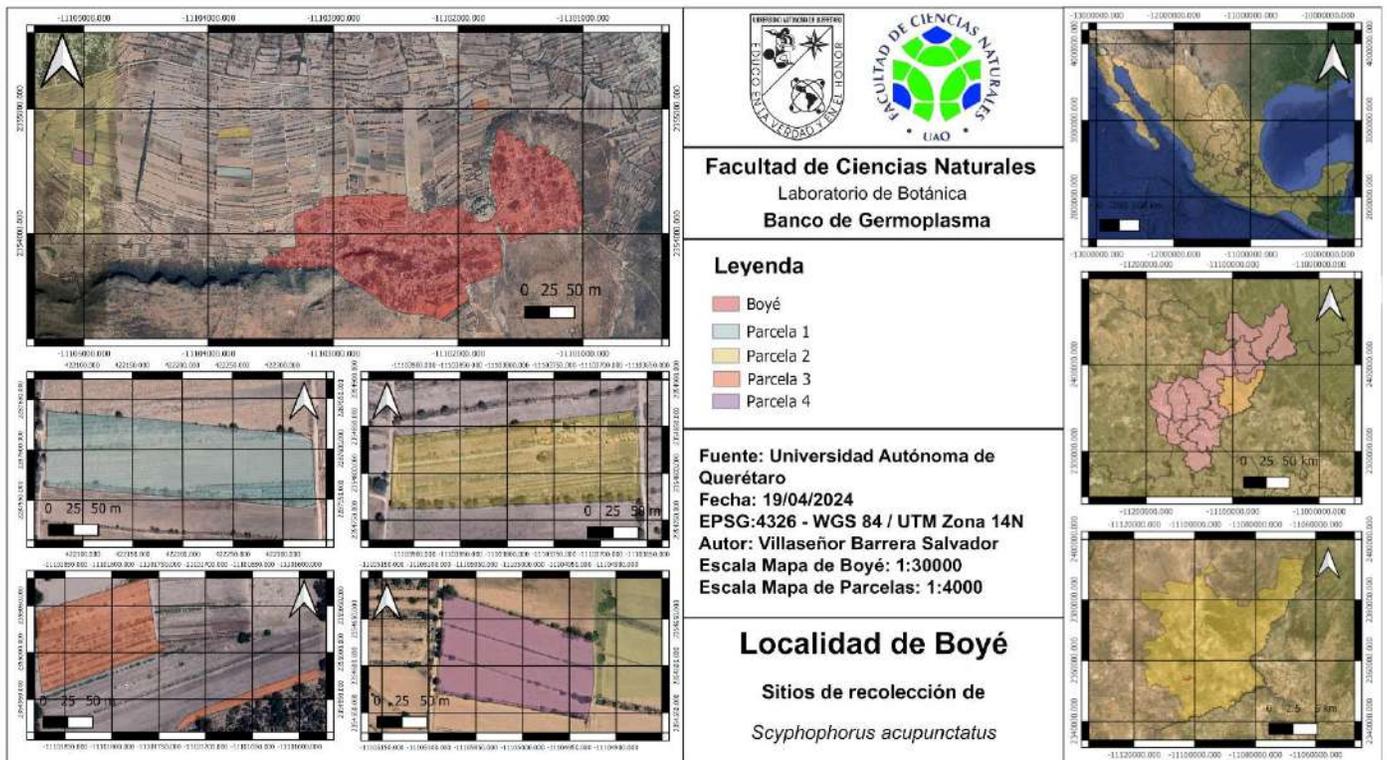


Figura 1. Ubicación geográfica y sitios del estudio en Boyé, Cadereyta.

Tratamientos para el trapeo de picudo

Para la elección del mejor atrayente de picudos se establecieron tratamientos para su trapeo, usando tres sinérgicos vegetales fermentados: 1) Melaza-maguey (Mm), 2) Piña-plátano (Pp) y 3) xímfí-aguamiel (Xf). El “xímfí” es el nombre que se le da al residuo del rallado de la piña del maguey durante la extracción del aguamiel. Los sinérgicos se evaluaron con feromona de agregación sintética (2 metil-4-octanona) (P440-Lure®) y usando el sinérgico sin feromona, los controles fueron feromona sin sinérgico y agua como control negativo (blanco) (Cruz-Esteban *et al.*, 2020). Se colocaron 300 g de atrayente en cada trampa (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos colocados en las parcelas.

Tratamiento	Sinérgico	Abreviación
Sin feromona (Sf)	Melaza-maguey (Mm)	Mm – Sf
	Piña-plátano (Pp)	Pp – Sf
	Xímfí-aguamiel (Xf)	Xf – Sf
Con feromona (Cf)	Melaza-maguey (Mm)	Mm – Cf
	Piña-plátano (Pp)	Pp – Cf
	Xímfí-aguamiel (Xf)	Xf – Cf
Feromona	Feromona	Cf
Blanco	Blanco	Blanco

Distribución de trampas

Se usó una trampa de caída (*Pitfall*) modificada: se usaron cubetas de aproximadamente 3.5 L a las cuales se les hicieron orificios en la parte superior. A la tapa se le hizo un orificio donde se coloca la bolsa con el sinérgico y la feromona (Figura 2). Antes de colocar las trampas se les agregó una pequeña proporción de agua con jabón Roma® (Cruz-Esteban *et al.*, 2020). Se colocaron ocho trampas por parcela distribuidas aleatoriamente entre magueyes distanciadas a 50 m. El muestreo se llevó a cabo de junio a noviembre del 2023. Las trampas se revisaron cada 15 días, cambiando los atrayentes.

Análisis de datos

Se obtuvo el total de picudos y la cantidad de machos y hembras por trampa. Los datos fueron

analizados a través de análisis estadísticos descriptivos.



Figura 2. Trampas en las cuatro parcelas de Boyé. A) trampa de pitfall y B) trampa adecuada para captura de picudo.

Resultados

En total se registraron 1,676 picudos, de los cuales, 1,529 (91%) correspondieron a todos los tratamientos que incluyeron a la feromona, y 144 (8.5%) a los tratamientos sin feromona. De los tratamientos con feromona el 75% fueron hembras y el 26% fueron machos, mientras que, en los tratamientos sin feromona, el 59% fueron hembras y el 41% corresponde a machos.

El tratamiento con mayor captura de picudos fue el de xímfí con feromona (Xf-Cf) con 472 (28.16%), seguido del tratamiento de plátano-piña con feromona (Pp-Cf) con 435 (25.95%), la melaza-maguey (Mm-Cf) con 425 (25.36%) y la feromona sin sinérgico (Cf) con 197 (11.35%). Por el contrario, los tratamientos sinérgicos sin feromona atraparon menor cantidad de picudos (Figura 3).

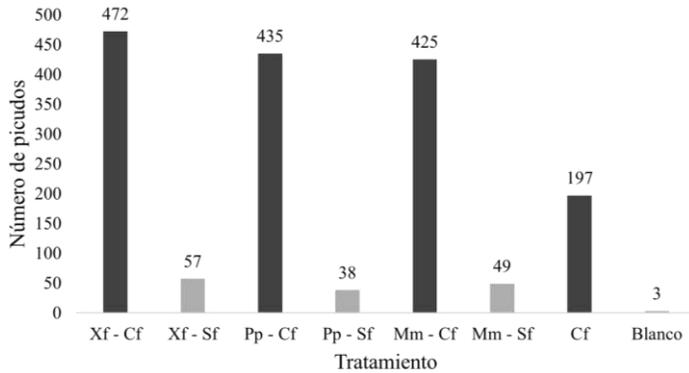


Figura 3. Número de individuos de picudo por tratamiento.

comportamiento reproductivo del picudo y definir acciones para su manejo.

Agradecimientos

Por el financiamiento al Proyecto CONAHICYT PRONACES 319061 “Auge mezcalero y deudas de extinción: investigación interdisciplinaria hacia la sustentabilidad”. A los agricultores participantes Don Alfonso Reséndiz, Don Oscar Sánchez, Don Jorge y Don Juan Mendoza.

Discusión

Los tratamientos con feromona atraparon una mayor cantidad de picudos, en comparación con los tratamientos sin feromona. Resultados similares han sido mencionados anteriormente por Figueroa-Castro *et al.* (2016). En cuanto a los tratamientos, más efectivo fue el xi´mfi-con feromona con un total de 472 picudos. Es probable que esto se deba a que la composición y olor es muy similar al que se encuentran al interior de la planta.

Estudios previos han identificado diferencias poblacionales del picudo dependiendo de la variedad de maguey, condiciones abióticas como temperatura, humedad, radiación solar y periodos de trampeo (Cruz-Esteban *et al.*, 2021; Figueroa-Castro *et al.*, 2016; Arista-Carmona *et al.*, 2023). En cuanto a la proporción de hembras: machos, González-Hernández (2023), menciona que con el uso de feromonas sintéticas se capturan más hembras que machos, similar a lo encontrado en el presente estudio.

Conclusiones

El xi´mfi con la feromona fue el tratamiento más efectivo para captura de picudos. No obstante, debido a que los picos de poblaciones y ciclo de vida del picudo varían dependiendo de la especie hospedera y las condiciones abióticas del sitio, es necesario llevar a cabo un monitoreo anual continuo del picudo y correlacionarlo con los factores abióticos y la valoración del índice agroecológico de parcelas en Boyé, para conocer el

Referencias bibliográficas

- Arista-Carmona, E., González-Hernández, H., Rodríguez-De la O, J.L., Cibrián-Tovar., J. (2023). Incidencia, fluctuación poblacional y porcentaje de severidad de *Scyphophorus acupunctatus* en maguey pulquero en el noreste del estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 157-165. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.157>
- Colunga-GarcíaMarín, P., Torres-García, I., Casas, A., Figueredo-Urbina, C.J., Rangel-Landa, S., Delgado-Lemus, A., Vargas, O., Cabrera-Toledo, D., Zizumbo-Villareal, D., Aguirre-Dugua, X., Eguiarte, L.E., Carillo-Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. En A. Casas, J. Torres-Guevara y F. Parra (Ed), *Domesticación en el continente americano. Tomo 2. Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo* (pp. 273-310). Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Nacional Agraria de Molina del Perú.
- Cruz-Esteban, S., Villa-García, M., Hernández-Ledesma, P., y Alavez-Rosas, D. (2021). Efecto sinérgico de la feromona, volátiles del hospedero, y etanol en la atracción de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal. *Southwestern Entomologist*, 45(4), 997-1008. <https://doi.org/10.3958/059.045.0418>
- Figueroa-Castro, P., Rodríguez-Rebollar, H., González-Hernández, H., Solís-Aguilar, J.F., Del Real-Laborde, J.I., Carrillo-Sánchez, J.L y Rojas, J.C. (2016). Attraction range and inter-trap distance of pheromone-baited traps for monitoring *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) on blue agave. *Florida Entomological Society*, 99(1), 94-99. <https://doi.org/10.1653/024.099.0117>
- González-Hernández, H. (2023). *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal plaga de los magueyes en México. En A. Gutiérrez-Mora y A.C. Gschedler-Mathis (Ed), *Los agaves y sus derivados tendencias científicas, uso sostenible y patrimonio* (pp 11-129). CIATEJ
- Magallán-Hernández, F. y Hernández-Sandoval, L. (2000). La familia Agavaceae en el estado de Querétaro. *Boletín Sociedad Botánica de México*, 66,103-112.
- Rodríguez-Rebollar, H., Rojas, J.C, González-Hernández, H., Ortega-Árenas, L.D., Equihua-Martínez, A., Del Real-Laborde, J.I., y López-Collado, J. (2012). Evaluación de un cebo feromonal para la captura del picudo del *Agave* (Coleoptera: curculionidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 28 (1), 73-85.

Integración de *Kalanchoe delagoensis* en las redes de polinización del Semidesierto Queretano

Andrés Pereira-Guaqueta^{1*}, María C. Mandujano^{**}

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.

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

[**mcmandujano@iecologia.unam.mx](mailto:mcmandujano@iecologia.unam.mx)

Resumen

El análisis de redes permite entender la estructura y dinámica de las interacciones planta-polinizador en una comunidad y su respuesta a la introducción de especies exóticas. Los objetivos del estudio fueron caracterizar las redes de polinización de un fragmento del Semidesierto Queretano y evaluar el grado de integración de la planta invasora *Kalanchoe delagoensis*. Durante 2023, se realizaron registros mensuales de interacciones de polinización por medio de observación directa y videos de plantas focales. Se construyeron una red de interacción anual y cuatro redes por temporadas, se calcularon métricas para describir su topología, identificar especies núcleo y evaluar el papel de *K. delagoensis*. Se monitoreó el volumen y la concentración de néctar en flores de *K. delagoensis* con distintos días de anthesis y en diferentes horarios. Las redes de interacción presentaron una importante riqueza de plantas y polinizadores, y una estructura modular y especializada con bajos grados de conectividad y anidamiento. Aunque tuvo una oferta constante y muy abundante de néctar, *K. delagoensis* se comportó como una especie periférica en las redes. Su polinización dependió completamente de *Apis mellifera*, otra especie exótica que podría favorecer su producción de semillas y facilitar su proceso de invasión.

Palabras clave: Especies invasoras, néctar, modularidad, *Apis mellifera*, facilitación

Abstract

Network analysis allows understanding of the structure and dynamics of plant-pollinator interactions in a community and their response to introducing invasive species. The aim of this study was to characterize the pollination networks of a dryland ecosystem in central Mexico and evaluate the extent of integration of the invasive species *Kalanchoe delagoensis* therein. Pollination interactions were sampled monthly in 2023 through direct observation and video recording of focal plants. Network, link, and node indices were used to describe the topology of one annual and four seasonal networks, to identify their core species, and to evaluate *K. delagoensis*' role in local pollination interactions. The variation of nectar volume and concentration of flowers of *K. delagoensis* was assessed on various anthesis days and at different times during the day. Interaction networks showed high plant and pollinator richness, a highly modular and specialized structure, and low values of connectance and nestedness. Although *K. delagoensis* constantly offered high amounts of floral nectar, it behaved as a network's peripheral species. Its pollination completely depended on *Apis mellifera*, another exotic species that might favor its seed production and facilitate its invasion process in the study area.

Key words: Invasive species, nectar, modularity, *Apis mellifera*, facilitation

Importancia para la conservación

Conocer las interacciones de las plantas con sus polinizadores, evaluar la forma en que se estructuran como redes a nivel de comunidad y contribuir a entender el proceso de invasión de *K. delagoensis* y sus efectos resulta fundamental para la conservación integral de la flora del Semidesierto Queretano.

Introducción

La polinización es un proceso ecológico esencial para la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Vizentin-Bugoni *et al.*, 2018). Los entramados de interacciones entre plantas y polinizadores a nivel de comunidad dan lugar a sistemas complejos, que pueden ser estudiados como redes ecológicas para entender su estructura, su dinámica y los efectos de disturbios como la extinción o introducción de especies (Burkle y Alarcón, 2011).

La introducción de plantas exóticas invasoras altera la composición, estructura y funcionamiento de las comunidades y los ecosistemas (Dogra *et al.*, 2010). Dependiendo de su biología reproductiva, algunas plantas invasoras pueden competir por polinizadores con la flora nativa, afectar su éxito reproductivo, volverse dominantes en las redes de polinización y modificar su estructura, y su integración a estas redes podría potenciar su proceso de invasión al favorecer la producción de semillas (Vanbergen *et al.*, 2018; Parra-Tabla y Arceo-Gómez, 2021).

La mayoría de estudios sobre interacciones de polinización de las plantas invasoras se limita a su capacidad para atraer visitantes florales y producir semillas en los ecosistemas invadidos, dejando de lado sus implicaciones a nivel de comunidad (Parra-Tabla y Arceo-Gómez, 2021). Además, hace falta profundizar en el estudio de redes que consideren la totalidad de plantas y polinizadores presentes en ecosistemas tropicales no boscosos (Vizentin-Bugoni *et al.*, 2018). Por ello, los objetivos del presente trabajo fueron caracterizar las redes de interacción planta-polinizador de un fragmento de Semidesierto Queretano y evaluar el grado de integración de *Kalanchoe delagoensis* (Crassulaceae), una planta exótica invasora con una abundante oferta de recursos florales.

Métodos

El estudio se llevó a cabo en el área silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta (JBRC), Querétaro, con una vegetación de tipo matorral

xerófilo crasicale. De febrero a noviembre de 2023, se realizaron visitas mensuales para el registro de polinizadores en plantas focales, seleccionadas de acuerdo con la abundancia relativa de cada especie en floración. Cada evento de conteo de visitas florales tuvo una duración de 20 minutos por planta, por medio de observación directa o con binoculares, y se llevaron a cabo entre las 8:00 y las 18:00 horas en ausencia de lluvia. También se hicieron registros complementarios a partir de videos, grabados directamente sobre las flores para el registro de insectos o mediante la instalación de una cámara GoPro para el registro de vertebrados. La identificación de plantas y polinizadores se hizo directamente en campo o por medio de fotografías con ayuda de expertos, hasta el nivel taxonómico más específico posible.

Se construyó una red de interacción anual y cuatro redes para distintas temporadas del año, definidas con base en un análisis de cluster de la composición de recursos florales de cada mes y los datos de precipitación mensual de la estación meteorológica del JBRC. Se calcularon métricas de conectividad, especialización (H_2'), anidamiento (NODF) y modularidad, cuya significancia se evaluó utilizando modelos nulos con 1000 iteraciones para cada red. La conectividad expresa la fracción de interacciones observadas del total de interacciones teóricas que podrían tener lugar entre la totalidad de plantas y polinizadores (entre 0 y 1). El índice H_2' describe el grado de especialización ecológica de las interacciones de toda la red, en comparación con lo que se esperaría si estas se ensamblaran de forma aleatoria; va de 0 a 1 a medida que aumenta el grado de especialización. El índice NODF indica en qué medida las interacciones de los nodos más especialistas representan un subconjunto de las interacciones de los nodos más generalistas del mismo nivel trófico; adopta valores entre 0 y 100, donde 100 indica una red perfectamente anidada. La modularidad expresa el grado en el que la red se divide en subgrupos discretos de especies altamente conectadas entre sí, que tienen baja frecuencia de interacción con otros subgrupos; aumenta de 0 a 1 a medida que

incrementa la compartimentalización. También se estimaron métricas de enlace (dependencia) y de nodo (centralidad) para evaluar el papel de *K. delagoensis* en las redes e identificar especies núcleo de plantas y polinizadores. Todos los análisis se realizaron en el software estadístico R.

Adicionalmente, se hizo seguimiento al volumen y la concentración del néctar de flores embolsadas de 40 ramets de *K. delagoensis* en el mes de noviembre, utilizando microcapilares volumétricos y un refractómetro portátil (metodología destructiva). Se evaluaron cambios del volumen y la concentración del néctar en distintos intervalos horarios del día (prueba de Kruskal-Wallis) y durante los primeros ocho días de antesis (prueba de correlación de Spearman), utilizando R.

Resultados

Se acumularon 117,2 horas de registro de visitas florales (6180 minutos de observación directa y 850,45 minutos de video). Se observaron 88 especies de plantas de 36 familias, y se identificaron 166 unidades taxonómicamente reconocibles (UTR) de visitantes florales, de los órdenes Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera y Hemiptera, y las familias Trochilidae, Icteridae, Picidae y Troglodytidae. En la Tabla 1 se relacionan las métricas de la red anual (Figura 1) y las redes por temporadas. Todas presentan una topología similar, con un bajo grado de conectividad y anidamiento, y valores altos de especialización y modularidad. La conectividad es máxima en el primer periodo de análisis y hay una tendencia al incremento de la modularidad a lo largo del año. En todos los casos, los valores de estas métricas fueron distintos de lo esperado por azar según los modelos nulos (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de las métricas de conectividad (C), anidamiento (NODF), modularidad (Q) y especialización (H₂) evaluadas para la red de interacciones anual y las redes por temporadas. C, Q y H₂ se mueven entre cero y uno; NODF va de cero a 100. Los asteriscos indican diferencias significativas con respecto a las métricas de modelos nulos (***) p<0,001).

	C	NODF	Q	H ₂
Red Anual	0,035 ***	9,857 ***	0,647 ***	0,684 ***
Red Periodo 1 (feb-mar)	0,135 ***	20,577 ***	0,582 ***	0,713 ***
Red Periodo 2 (abr-jun)	0,057 ***	8,629 ***	0,667 ***	0,737 ***
Red Periodo 3 (jul-ago)	0,061 ***	11,870 ***	0,733 ***	0,771 ***
Red Periodo 4 (sep-nov)	0,064 ***	11,891 ***	0,740 ***	0,755 ***

El núcleo de la red anual está integrado por las plantas *Buddleja cordata* (Scrophulariaceae), *Mimosa aculeaticarpa* (Fabaceae), *Lantana velutina* (Verbenaceae), *Opuntia robusta* (Cactaceae), *Schinus molle* (Anacardiaceae), *Barkleyanthus salicifolius*, *Electranthera mutica*, *Verbesina robinsonii* y *Perymenium mendezii* (Asteraceae), y por los polinizadores *Apis mellifera*, *Ceratina* sp., *Anthophora californica* y *Diadasia* sp. (Apidae), *Lasioglossum (Dialictus)* sp. y *Augochlorella* sp. (Halictidae), *Megachile* sp. y *Ashmeadiella* sp. (Megachilidae), *Macrotera sinaloana* (Andrenidae), *Geron* sp.

(Bombyliidae), *Cynanthus latirostris* (Trochilidae) y *Dione vanillae* (Nymphalidae). Su importancia varió ampliamente entre las temporadas de análisis, sobre todo en el caso de las plantas.

K. delagoensis solo recibió visitas de la abeja introducida *Apis mellifera*. Tanto para la red anual como para su temporada de floración, esta especie invasora figuró entre las plantas de menor centralidad, comportándose como una especie periférica. *A. mellifera* depende solo en un 4% de *K. delagoensis* para la red anual, valor que aumenta a un 20% en la red de final de año.

El volumen de néctar por flor de *K. delagoensis* aumenta significativamente en los primeros ocho días de antesis (Spearman $\rho=0,8$ y $p<0,001$; Figura 2); el contenido inicial promedio es de $3,2 \mu\text{L}$ y puede alcanzar más de $40 \mu\text{L}$ por flor en una semana. La concentración promedio del néctar es de 10% en grados Brix, y aunque es muy variable no depende de la edad de la flor ni de la hora del día; el volumen por flor tampoco difiere significativamente entre rangos horarios ($p>0,05$).

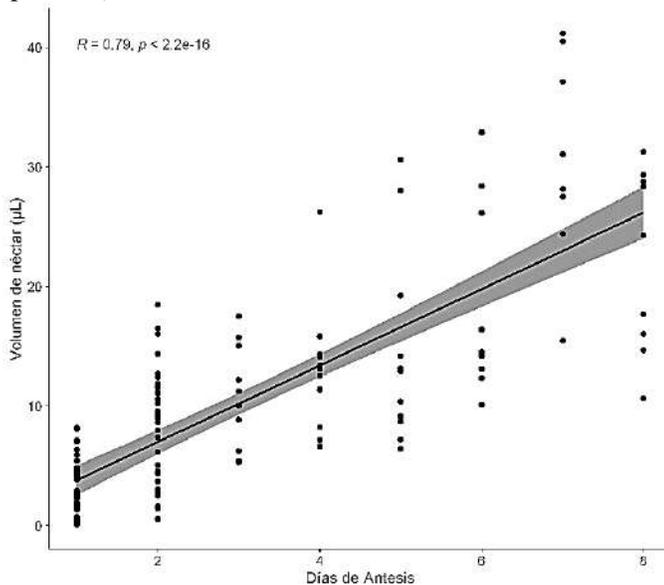


Figura 2. Gráfico de la tendencia significativa al aumento del volumen de néctar (μL) disponible en cada flor de *K. delagoensis* en función del número de días transcurridos desde su apertura.

Discusión

Se registró una importante riqueza de plantas, polinizadores e interacciones ecológicas en el área silvestre del JBRC. La diversidad de morfologías florales y de morfología y comportamiento de los polinizadores limita el número de enlaces posibles en las redes, induce la formación de módulos y el aumento de la especialización (Vizentin-Bugoni *et al.*, 2018), sobre todo en las redes por temporadas. Para la red anual, la marcada fenología de floración también restringe la conectividad y provoca especialización y modularidad. La red fue más anidada y menos modular al inicio del año, lo cual podría estar relacionado con la diversificación de recursos florales y polinizadores tras las primeras lluvias en abril.

Llama la atención el bajo grado de anidamiento de las redes, también reportado por estudios como el de Lance *et al.* (2017) en el desierto sonorense, y probablemente relacionado con los altos valores de especialización.

La mayoría de las especies núcleo de la red son nativas de la región, con excepción de *A. mellifera* y *S. molle*. A pesar de la magnitud de su floración y su cuantiosa producción de néctar, *K. delagoensis* se comporta como una especie periférica en las redes y depende completamente de *A. mellifera* para su polinización. Para lograr ingresar a las flores, por su morfología péndula, esta abeja invierte un tiempo considerable moviéndose en la entrada de la corola en contacto directo con las estructuras reproductivas, facilitando la autopolinización y la adherencia de polen a su cuerpo para su posterior transporte. Estudios previos en el área reportan que la polinización abierta de *K. delagoensis* fue más efectiva que la autopolinización en inflorescencias embolsadas, y más similar a experimentos de suplementación de polen en términos de producción de frutos y semillas, que además probaron ser viables (Ortega-Ramírez, datos no publicados). Esto sugiere una interacción de facilitación entre *K. delagoensis* y *A. mellifera*, dos especies exóticas invasoras en el semidesierto.

Aunque la dependencia de *A. mellifera* en *K. delagoensis* es baja para la red anual, aumenta considerablemente en los últimos meses del año, cuando las flores de esta planta invasora representan una de las mayores fuentes de recursos disponibles para los polinizadores. Resulta muy interesante que otros visitantes florales no hagan uso de este abundante recurso, especialmente colibríes. En áreas invadidas de Brasil se ha reportado la polinización de *K. delagoensis* por colibríes (Walters, 2011). En múltiples ocasiones durante el mes de noviembre, los colibríes más comunes del JBRC fueron registrados haciendo uso de flores mucho menos abundantes de *Salvia microphylla* y *Bouvardia ternifolia* presentes en las zonas con mayor densidad de flores de *K. delagoensis*.

Conclusiones

El área silvestre del JBRC alberga una comunidad muy diversa de plantas y polinizadores, con redes de interacciones complejas que exhiben una topología relativamente constante a lo largo del año, similar a lo reportado en la literatura. *Kalanchoe delagoensis* se comporta como una especie periférica en las redes de polinización, a pesar de su producción constante de grandes cantidades de néctar. Su polinización depende de la abeja exótica *Apis mellifera*, quien podría estar ejerciendo un efecto de facilitación en el proceso de invasión de esta especie en el semidesierto.

Agradecimientos

Agradecemos la financiación del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, con el proyecto CONAHCyT - CBF 2023-2024-1303, y del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica UNAM-DGAPA-PAPIIT <<IN217324>>.

Referencias bibliográficas

- Burkle, L. A., y Alarcón, R. (2011). The future of plant-pollinator diversity: Understanding interaction networks across time, space, and global change. *American Journal of Botany*, 98(3), 528–538. doi: 10.3732/ajb.1000391
- Dogra, K. S., Sood, S. K., Dobhal, P. K., y Sharma, S. (2010). Alien plant invasion and their impact on indigenous species diversity at global scale: A review. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 2(9), 175–186.
- Lance, R. F., Bailey, P., Lindsay, D. L. y Cobb, N. S. (2017). Precipitation and the robustness of a plant and flower-visiting insect network in a xeric ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 144, 48-59. doi: 10.1016/j.jaridenv.2017.03.015
- Parra-Tabla, V., y Arceo-Gómez, G. (2021). Impacts of plant invasions in native plant-pollinator networks. *New Phytologist*, 230(6), 2117–2128. doi: 10.1111/nph.17339
- Vanbergen, A. J., Espíndola, A., y Aizen, M. A. (2018). Risks to pollinators and pollination from invasive alien species. *Nature Ecology and Evolution*, 2(1), 16–25. doi: 10.1038/s41559-017-0412-3
- Vizentin-Bugoni, J., Maruyama, P. K., de Souza, C. S., Ollerton, J., Rech, A. R., y Sazima, M. (2018). Plant-Pollinator Networks in the Tropics: A Review. En W. Dáttilo y V. Rico-Gray (Eds.), *Ecological Networks in the Tropics* (pp. 73–91). doi: 10.1007/978-3-319-68228-0_6

- Walters, M. (2011). Crassulaceae. En M. Walters, E. Figueiredo, N. R. Crouch, P. J. D. Winter, G. F. Smith, H. G. Zimmerman y B. K. Mashope (Eds.), *Naturalised and invasive succulents of southern Africa* (pp. 232-259). Abc Taxa.

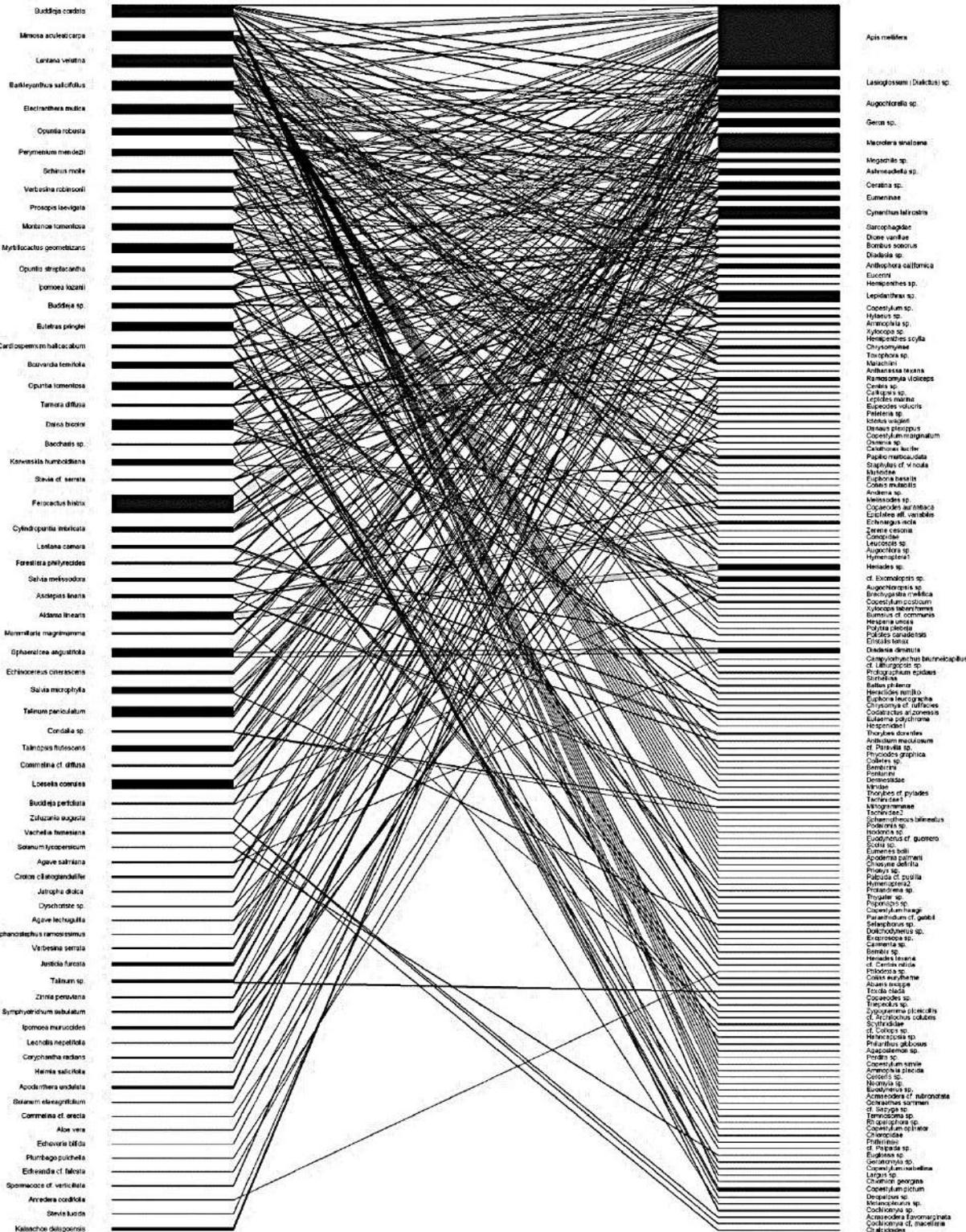


Figura 1. Red de interacciones planta-polinizador del área silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta para la totalidad del ciclo anual 2023. Plantas a la izquierda y polinizadores a la derecha (*Kalanchoe delagoensis* es el último nodo a la izquierda). [Figura completa en línea.](#) (Clic derecho para copiar el vínculo y pegar en el navegador).

Biología reproductiva de *Kalanchoe delagoensis*

Karen A. Ortega-Ramírez^{1,2*} y María C. Mandujano^{2**}

¹Facultad de Ciencias. ²Laboratorio 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

*alexa.karen@ciencias.unam.mx

**mcmandujano@iecologia.unam.mx

Resumen

Las invasiones biológicas son una de las principales causas de pérdida de biodiversidad. En México, seis especies de *Kalanchoe* (Crassulaceae) han sido introducidas y se han establecido como invasoras. *Kalanchoe delagoensis* posee la capacidad de propagarse clonal y sexualmente. Ha invadido la zona silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, Querétaro. Con la biología reproductiva se busca observar el sistema sexual que posee, pues influye directamente en la constitución genética de los individuos provenientes de semilla.

Se calculó la relación polen/óvulo (P/O), además se realizaron seis tratamientos de cruce controlada para comparar la producción de semillas y la emergencia de plántulas bajo condiciones de laboratorio.

Kalanchoe delagoensis tiene un sistema sexual mixto, y hubo una germinación diferencial: aquellas semillas producto de la polinización abierta presentaron una germinabilidad mayor (21.17%). Por su parte, las semillas de origen apomítico (vegetativo) emergieron en una menor cantidad de días (4.46 días).

Palabras clave: Biología reproductiva, producción de néctar, visitantes florales, *Kalanchoe delagoensis*

Abstract

Biological invasions are a major cause of biodiversity loss. In Mexico, six species of *Kalanchoe* (Crassulaceae) have been introduced and established as invasive. *Kalanchoe delagoensis* has the ability to propagate both clonally and sexually. It has invaded the wild area of the Regional Botanical Garden of Cadereyta de Montes, Querétaro. Through studying its reproductive biology, we aim to observe its sexual system, as it directly influences the genetic makeup of individuals derived from seeds.

The pollen-to-ovule ratio (P/O) was calculated, and six controlled cross treatments were conducted to compare seed production and seedling emergence under laboratory conditions.

Kalanchoe delagoensis has a mixed sexual system, and there was differential germination: seeds produced by open pollination showed higher germination (21.17%). On the other hand, seeds of apomictic (vegetative) origin emerged in a lower number of days (4.46 days).

Keywords: Reproductive biology, nectar production, floral visitors, *Kalanchoe delagoensis*

Importancia para la conservación

El sistema reproductivo de *Kalanchoe delagoensis* impacta directamente en la dinámica y genética poblacional. Conocerlo facilita el diseño de un protocolo de control para especies exóticas invasoras.

Introducción

En México se han introducido alrededor de 6 especies de *Kalanchoe* (Crassulaceae) con propósito ornamental, sin embargo, se han establecido como especies exóticas invasoras (EEI), por lo que representan una amenaza para la biodiversidad nativa. *Kalanchoe delagoensis* es una suculenta herbácea nativa de Madagascar, produce vástagos clonales o pseudobulbilos en el borde foliar y densas inflorescencias terminales que resultan atractivas visualmente (CABI, 2019).

Para establecer métodos de control de EEI, es necesario conocer la historia de vida de la especie en cuestión (Begon, 2006). En este sentido, el estudio de la biología reproductiva es de suma importancia, especialmente en especies que pueden producir semillas y vástagos clonales, pues implican diferentes estrategias para el crecimiento poblacional (Sakai *et al.*, 2001).

Los sistemas reproductivos impactan directamente en la dinámica y genética poblacional (Barret *et al.*, 2008; Barret, 2011). El entendimiento de estos mecanismos permite realizar una comparación entre la producción de nuevos individuos mediante semillas o vástagos clonales (Cruden, 1977). De esta forma, el objetivo de esta investigación es estudiar el sistema de cruce y la germinación bajo condiciones de laboratorio de *Kalanchoe delagoensis*.

Método

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la zona silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes “Ing. Manuel González de Cosío” en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, México. Se encuentra a una altitud de 2046 msnm; (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 corresponde a 550 mm en promedio (CONCYTEQ, 2008). El trabajo se realizó durante la floración de *Kalanchoe delagoensis*, periodo que comprendió de noviembre de 2022 a enero de 2023.

Modelo de estudio: *Kalanchoe delagoensis*

Es una especie nativa de Madagascar que fue introducida a México por su belleza (CONABIO, 2021). La altura de la planta puede llegar hasta los 2 m (*obs. per.*), habita en ambientes áridos y áreas perturbadas. Las hojas suculentas se encuentran dispuestas en grupos de tres y en el borde del extremo distal se ubican de 3 a 9 proyecciones de donde se desarrollan los pseudobulbilos. Posee tallos simples, pero en caso de decapitación pueden formar hasta 7 ramas (*obs. per.*). Las inflorescencias terminales corimbiformes generan una gran cantidad de flores de color rojo a naranja con néctar y polen como atrayente y recompensa floral. Los frutos son secos y las semillas miden aproximadamente 1 mm de largo (CABI, 2019).

Diseño experimental

Relación polen/óvulo

A partir de una muestra de 30 flores (conservadas en FAA 2:1:10:7; una flor de treinta individuos diferentes) se realizó el conteo del número de óvulos en una cámara ovárica, multiplicado por el número de carpelos para obtener el número total de óvulos por flor. Asimismo, se realizó el conteo de granos de polen por flor en 30 flores provenientes de diferentes individuos que fueron conservadas en alcohol etílico al 70% (Mandujano *et al.*, 2010). Para el análisis de estos datos (Tabla 1) se realizó estadística descriptiva con R y Rstudio 4.2.3 (Figura 1).

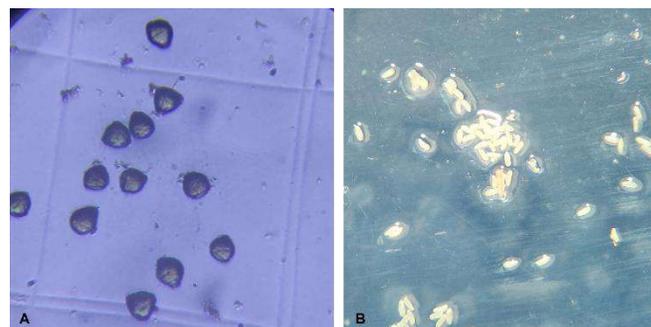


Figura 1: Conteo de gametos de *Kalanchoe delagoensis*, A) granos de polen y B) óvulos. Retículas del hematocítmetro 0.1 mm. Aumento en A 4X y B 105X.

Germinación de semillas

Las semillas producidas en un experimento de cruza controladas: polinización abierta (control), intraramet (geitonogamia), autopolinización natural y manual (autogamia), apomixis (vegetativo) y polen suplementario (sistema de cruza mixto), (Tabla 2) se almacenaron durante 13 meses (Ortega-Ramírez y Mandujano, 2024). Las semillas se colocaron en cajas Petri que contenían agar bacteriológico al 1% “BIOXON” para evaluar la germinación (Figura 2). La cámara de germinación (Lab-Line Instruments, Inc., mod. 844L, IL, EUA) que se utilizó mantuvo la temperatura en 25°C y un fotoperiodo de 12 h. Para cada tratamiento de polinización se colocaron 600 semillas repartidas en 10 cajas Petri, por lo que en total se colocaron 3600 semillas que fueron monitoreadas tres veces a la semana desde el 9 de marzo hasta el 15 de abril de 2024. El análisis se realizó con la paquetería “GerminaR” (Lozano *et al.*, 2019) para calcular la germinabilidad (grp), tiempo medio de germinación (mgt) y velocidad de germinación (gsp) (Tabla 3), además se realizó un GLIM con distribución Poisson para evaluar el efecto de cada cruza sobre la germinación.

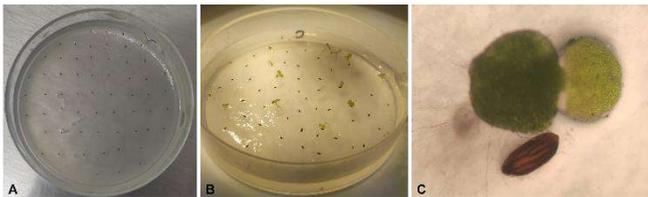


Figura 2: Experimento de germinación en condiciones de laboratorio. A) Disposición de semillas en el agar, B) plántulas observadas a simple vista y C) cotiledones y radícula observadas bajo un microscopio estereoscópico (60x).

Datos de *Kalanchoe delagoensis*.

Resultados

Relación polen/óvulo

En promedio se produjeron 777.30 (e.e. ± 26.76) óvulos y 45 705.87 (e.e. ± 2 125.99) granos de polen. De forma que la relación P/O resultante fue de 61.2 (e.e. ± 3.62), es decir, se producen en promedio 61 granos de polen por cada ovulo en las flores de *K. delagoensis*.

Germinación de semillas

El sistema sexual es de *K. delagoensis* es un sistema de cruza mixto.

Tabla 1: Morfometría floral de una flor de 30 plantas diferentes de *Kalanchoe delagoensis*.

Parámetro	$\bar{X} \pm e. e$	Intervalo (min. – max.)
No. de estambres	8.20 ± 0.16	6 – 10
No. total de polen	45 705.87 ± 2 125.99	17 696 – 68 550
No. de cámaras ováricas	4.10 ± 0.09	3 – 6
No. de óvulos / cámara ovárica	190.03 ± 5.83	84 – 238
No. total de óvulos	777.30 ± 26.76	336 – 1026

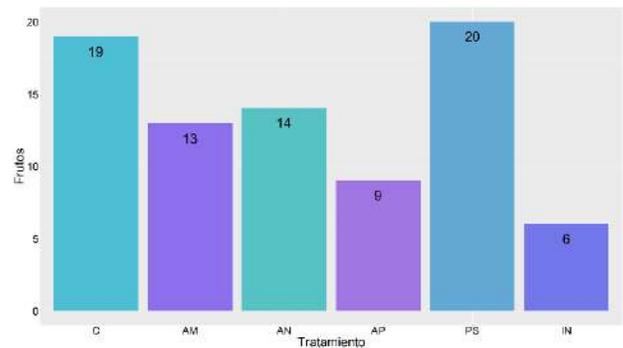


Figura 3: Número de frutos formados en cada tratamiento de cruza controlada. C=control, AM= autopolinización manual, AN= Autopolinización natural, AP= apomixis, PS= polen suplementario e IN=intraramet. Datos de *Kalanchoe delagoensis*.

Existen diferencias significativas en el total de plántulas emergidas (Figura 5) entre los diferentes tratamientos ($\chi^2 = 354.89$, g.l. = 5, $p \leq 0.001$), por lo que se confirma la presencia de un sistema sexual mixto.

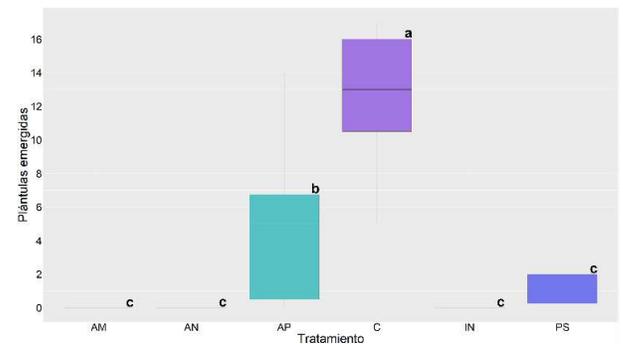


Figura 4: Plántulas emergidas en cada uno de los tratamientos de cruza controlada. C=control, AM= autopolinización manual, AN= Autopolinización natural, AP= apomixis, PS= polen suplementario e IN=intraramet. Datos de *Kalanchoe delagoensis*.

Los resultados obtenidos (Tabla 2) indican que la mayor germinabilidad (grp) ocurrió para el tratamiento de control (21.17%), siendo un valor 5 veces mayor en comparación con el tratamiento apomítico (8.17%), por lo que un sistema xenógamo podría producir semillas con mayor viabilidad y por ende mayor supervivencia en comparación con un sistema vegetativo.

Por su parte, el tiempo medio de germinación (mgt) favorece las semillas producto del tratamiento de apomixis (4.46 días), permitiendo que el establecimiento de nuevos individuos ocurra de forma más rápida y permitiendo la colonización por vías clonales.

Tabla 2: Producción de semillas y parámetros de germinación en los diferentes sistemas sexuales evaluados.

Sistema sexual	Tratamiento	Total de semillas producidas	Semillas en cajas Petri	Plántulas emergidas	grp (%)	mgt (días)
Autogamo	Autopolinización natural	1282	3600	0	0	0
	Autopolinización manual	970	3600	0	0	0
Vegetativo	Apomixis	1079	3600	49	8.17	4.46
Xenogamo	Control	4312	3600	126	21.17	5.4
	Intraramet	461	3600	2	0.33	8
Mixto	Polen suplementario	4458	3600	14	2.33	5.9

Discusión

El éxito de invasión depende de la capacidad de producir y dispersar vástagos, por lo que los sistemas sexuales están estrechamente relacionados con la constitución genética de los mismos. De esta forma, la ley de Baker enuncia que aquellas especies que poseen reproducción uniparental (autogamia) y clonal tendrán el potencial de establecer poblaciones pequeñas que pueden crecer más rápido y de mantener la fecundidad en comparación con aquellas especies obligadas a la entrecruza (Barret *et al.*, 2008; Barret, 2011).

Durante el seguimiento fenológico realizado por Ortega-Ramírez y Mandujano (2024), se contaron 547 flores sólo en 13 individuos (en promedio 42 flores por individuo) y considerando que el mayor número de semillas producidas en los experimentos de cruce controlada fue 750, cada inflorescencia podría producir 31500 semillas.

Con la evidencia presentada, observamos que la especie puede mantener y perpetuar la población. La producción de semillas por autogamia y xenogamia representan el aporte de individuos de origen sexual; mientras que, la producción de pseudobulbilos en el borde foliar y semillas de origen vegetativo remarcan su gran capacidad de invasión.

Conclusiones

Las invasiones biológicas son una de las principales pérdidas de biodiversidad. El Jardín Botánico funge como una institución que busca su conservación tanto *ex situ* como *in situ*, por lo que el estudio de sus amenazas como las especies exóticas invasoras es urgente. *Kalanchoe delagoensis* presenta un sistema sexual mixto y producción de semillas mediante un sistema vegetativo. Este último posibilita la conservación de las combinaciones alélicas favorables para el sitio de estudio. Además, estos resultados representan el primer registro de producción de semillas dentro del JBRC, asimismo nos permite considerar la posibilidad de la existencia de un banco de semillas persistente, lo que requiere de la ampliación del periodo de monitoreo de esta EEI.

Agradecimientos

Esta investigación fue posible por el financiamiento otorgado por los proyectos: CONAHCyT CBF 2023 – 2024 - 1303 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.

Al Laboratorio de Genética y Ecología del Departamento de Ecología de la Biodiversidad, del Instituto de Ecología de la UNAM, por facilitar las

instalaciones y el transporte para la elaboración de este trabajo.

Al personal del Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes, especialmente a la Biól. Beatriz Maruri Aguilar y al Ing. Emiliano Sánchez, por su apoyo y las facilidades otorgadas para la realización de los experimentos y muestreos.

Referencias

- Barret, S. C. H. (2011). Why reproductive systems matter for the invasion biology of plants? En: D. M. Richardson. (Ed.), *Fifty years of invasion ecology: The legacy of Charles Elton*. 195 - 210. Sussex, UK: Willey-Blackwell.
- Barret, S. C. H., Colautti, R. I. y Eckert, C. G. (2008). Sistemas reproductivos en plantas y su evolución durante invasiones biológicas. *Molecular Ecology*, 17: 373 – 383.
- Begon, H. (2006). Ecología: De los individuos a los ecosistemas. *Freshwater Biology*. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01592.x>
- Compendio de especies invasoras (CABI). (2019). *Kalanchoe delagoensis* (planta candelabro). [En línea]. Recuperado desde: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/115050#DBD401C2-502B-458C-BFF4-DF398483F8A3>
- CONCYTEQ. (2008). Jardín Botánico Regional de Cadereyta. Ing. Manuel González de Cosío. [En línea]. Recuperado desde: <http://www.concyteq.edu.mx/JB/historia.html>
- Cruden, R. W. (1977). Pollen-ovule ratios: A conservative indicator of reproductive systems in flowering plants. *Evolution*. 31: 32–46.
- Lozano-Isla, F., Benites-Alfaro, O. E., Pompelli, M. F. (2019). GerminaR: An R package for germination analysis with the interactive web application “GerminaQuant for R.” *Ecological Research*, 34 (2), 339 – 346. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1275>
- 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.
- Ortega y Ramírez, K. A. y Mandujano, M.C. (2023). Fenología, biología reproductiva y control de *Kalanchoe delagoensis*. *Nthe* (Eds.). *Memorias in extenso*. IX Cátedras del semidesierto. ISSN 2007 – 9079. pp 38 – 47.
- Sakai, A. J., Allendorf, F. W., Holt, J.S., Lodge, D. M., Molesky, J., With K. A., Baughman, S., Cabin, R. J., Coben, J. E., Ellstrand, N. C., McCauley, D. E., O’Neil, P., Parker, I. M., Thompson, J. N. y Weller, S. G. (2001). The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 32: 305 – 332.

Desierto Chihuahuense: historia y biogeografía de sus cactáceas

David Brailovsky Signoret^{1*}

¹Laboratorio de Cactología, Departamento de Botánica
Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México

*cactovsky@gmail.com

Resumen

Se exponen adelantos en investigación sobre la biogeografía de las cactáceas endémicas del Bioma del Desierto Chihuahuense. Revisaremos la configuración general del extenso bioma desde los puntos de vista de la geología, la climatología y la biología. Veremos brevemente la configuración diversa que ha sido asignada a la región, para adentrarnos en los principales cambios que experimentaron sus plantas. Entenderemos la manera en que las fluctuaciones globales del clima ejercen un efecto trascendental en las oscilaciones, en la colonización y en las áreas de ocurrencia que tienen las cactáceas entre los periodos o condiciones glaciales y los interglaciales. Exploraremos, asimismo, las causas generales mejor conocidas de dichas fluctuaciones y revisaremos brevemente las adaptaciones que las plantas del desierto, particularmente los cactus, han desarrollado en tiempos relativamente recientes para adecuarse a su existencia en ambientes variables con exigencias extremas.

Palabras clave: Bioma del Desierto Chihuahuense, clima y adaptaciones

Abstract

Several innovative research results are presented for some endemic cacti of the Chihuahuan Desert Biome. We will look at the configuration of the largest desert in North America through the eyes of geology, climatology and biology. General topography and structure of the overall region will be explored, to deepen in the main changes being experimented by its plants. We will understand the relevance of climatic changes and will explore adaptations of desertic plants in relation to them, making an integrative revision of the causes behind some of the glacial and interglacial episodes or conditions in order to appreciate adaptations and important movements through relatively recent times. Particular focus on cacti and their abilities to withstand extreme environmental conditions.

Key words: Chihuahuan Desert Biome, climate and adaptations

Importancia para la conservación

La comprensión de los patrones evolutivos del bioma y los efectos climáticos sobre el subcontinente son decisivos en la identificación de corredores biológicos que representen distribuciones potenciales de las especies, así como Refugia glaciares (G) e interglaciares (IG). Hemos identificado de manera cuantitativa áreas específicas que operan repetitivamente como zonas relevantes para la conservación de las ocurrencias de las cactáceas. Estas se suman a la identificación de trazos panbiogeográficos y nodos de relación interna para la comprensión de los patrones espaciales evolutivos del grupo.

Introducción

El Bioma del Desierto Chihuahuense (BDC; Figura 1) es uno de los más importantes de México, abarcando más de 400,000 km² del país, y alrededor de 108,000 km² en Estados Unidos (Brailovsky y Hernández, 2021). Es un bioma compuesto de numerosos ecosistemas, en el cual predominan los ambientes áridos y semiáridos, pero también climas templados y semifríos en las porciones elevadas de las montañas, cuya configuración actual corresponde a un periodo interglacial, de reciente formación (Briones, 1994). Sin embargo, su configuración biótica y biogeográfica obedece a patrones mucho más antiguos.

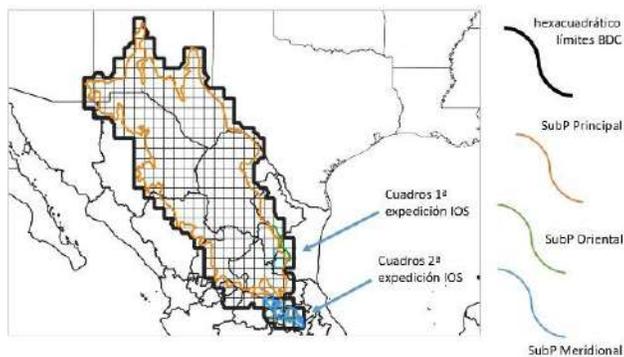


Figura 1. Bioma del Desierto Chihuahuense: Subprovincias bióticas y rutas de expediciones llevadas a cabo bajo patrocinio de la IOS (International Organization for Succulent Plant Study), para este trabajo.

Hace aproximadamente 22 millones de años (mda), la región centroamericana comenzó a emerger del mar debido a la expansión planetaria (Maxlow, 1995) y orogenias regionales. Centroamérica, que había sido un archipiélago desde antes, comenzó a vincularse faunística y florísticamente con las regiones norteafricanas y sureñas: Neártica y Neotropical. Existió intercambio florístico desde hace al menos 45 mda., evidenciado con el polen fósil de cactáceas en la región Oaxaca-Puebla (Ramírez-Arriaga *et al.*, 2014 y 2017). No obstante, la mayoría de las especies parecen haber llegado conforme el puente terrestre se vinculaba más estrechamente. Así, mientras el planeta se expandía, el nivel del mar

descendía y las islas del archipiélago se “acercaban” (Maxlow, 1995).

El gran intercambio faunístico concluyó hace entre 4.7 y 2.3 mda., con una serie de cambios que incluyeron la desaceleración de las corrientes marinas, la aridificación de latitudes más norteafricanas y sureñas, el aumento en la humedad en la zona centroamericana, el aislamiento marino incremental, el incremento de temperatura y precipitación tropical, y el decremento de temperatura y la precipitación subtropical a extratropical (Lange 2002; Molnar, 2008). A esto se le suman al menos 8 mda de oscilaciones glaciales e interglaciales superpuestas (Lange, 2002).

El área sobre la cual se localiza el BDC es parte de la placa norteamericana, piso continental muy antiguo recubierto por formaciones más recientes. Una orogenia conocida como Laramide afectó la región tras el vaciado del mar epicontinental que cubrió casi su totalidad. El vaciado ocurrió por tectonismo expansivo planetario y la isostasia generó un reajuste altitudinal. La elevación del terreno, combinada con compresión diferencial de las placas, ocasionó el levantamiento final de la Sierra Madre Oriental (SMO). Esta lo limita al este, mientras que la Sierra Madre Occidental (SMOCC) lo aísla relativamente bien de los efectos del Pacífico y el Eje Volcánico Transversal [Faja Volcánica Transmexicana (FVTM)] de los efectos sureños. Este aislamiento es relativo, pues hay influencias de ambos océanos, aunque sean limitadas (Roy Priyadarsi, 2019). La humedad entra por el Golfo de México, atraviesa la SMO durante los nortes o en ciclones tropicales, y una parte menor sobrepasa la SMOCC aportando lluvias durante los ciclones del Pacífico. Usualmente, durante el interglacial presente (Holoceno), la humedad proveniente del norte es mínima y nunca hay vientos fuertes desde el sur. Sin embargo, durante la condición glacial este patrón cambia (Blanchon y Shaw, 1995; Roy Priyadarsi, 2019), pues al formarse una elevada masa de hielo en Norteamérica y otro tanto sobre las Montañas Rocallosas, el patrón de circulación intracontinental vira los vientos húmedos del Atlántico y de la zona de los lagos

norteamericanos, hacia el sur, directamente hacia el BDC. Esto causa una humectación sustancial, disminuye las temperaturas medias y extremas, y se asocia con patrones de decremento en las especies adaptadas a la aridez y aumento en las poblaciones forestales templadas (Betancourt *et al.*, 1991). Las condiciones glaciares e interglaciares se suceden en periodos algo variables, y este es el primer estudio detallado que intenta valorarlos empleando las distribuciones y atributos de adaptación climática para las Cactaceae en el mismo.

Las variables mejor conocidas que afectan el crecimiento de las cactáceas son la relación P/T (precipitación/temperatura) y las temperaturas mínimas, particularmente las mínimas extremas por sus consecuencias congelantes. Se revisaron cuatro hipótesis evolutivo-climáticas de las cuales tres han sido confirmadas al contrastar las distribuciones esperadas y las listas de especies potenciales para regiones climáticas específicas. El proyecto pretende guiar algunas directrices del diseño de áreas y corredores en función con hallazgos específicos sobre la relación de las cactáceas endémicas con el clima, la geografía y sus relaciones bióticas a través del tiempo.

Métodos

Se construyó un Sistema de Información Geográfica de las capas más pertinentes para probar hipótesis biogeográficas y climáticas que se presentan en cuatro puntos: 1) resistencia al frío coincidentes con áreas muy frías, 2) resistencia a la humedad coincidentes con mayor humedad glaciario, 3) Refugia IG incluyente de especies mexicanas y 4) Refugia G incluyente de especies semiáridas-cálidas. Se desarrolló un Modelo Climático con una modificación del método de García y Sánchez-Santillán (1996) para el clima de la RB El Cielo. También se estudian los patrones de biodiversidad, seleccionando 75 especies estrictamente endémicas del BDC. Además, se están analizando los patrones panbiogeográficos mediante un estudio de sus trazos, resueltos mediante el programa PANBIOTRACKS.

Las relaciones ambientales de las especies se estudian tanto como preferencias ambientales mediante Análisis de Componentes Principales, como integrándolas a la valoración de rareza media (*Ar*); una modificación de rareza propuesta por Rabinowitz (1981), que incluye el patrón de distribución y las frecuencias relativas de las especies, la medida relativa de la abundancia local por repetición de localidades por cuadro geográfico, y las especializaciones edáficas y climáticas, (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005; Brailovsky y Hernández, 2021).

Se revisaron los refugios glaciales propuestos por diversos autores, se contrastarán cuantitativamente con relaciones de especialización de hábitat climático y edáfico, así como con los efectos climáticos revelados por el modelo actual. Para explorar el clima en el tiempo se optó por revisar las temperaturas medias de las variables climáticas según las capas desarrolladas por el equipo de Paelomap y Climap, especialmente aquellas reportadas por Christopher Scotese (1990 y 2016). En síntesis, se contrastará el presente mejor conocido, con una extrapolación de datos que empleará los mejores acercamientos paleoclimáticos para el planeta y el bioma. Hemos generado cartografía y modelos de distribución de especies, y puesto a prueba gráficamente las hipótesis, así como mediante tabulaciones. Los Modelos de Distribución Potencial MAXENT han sido contrastados para prueba de hipótesis empleando SIG QGIS y se han combinado imágenes RASTER específicas para lograrlo.

Avance de resultados y aspectos relevantes de las adaptaciones

Actualmente hemos completado la búsqueda exhaustiva de información bibliográfica. Se completó la información biogeográfica y se trabajaron las capas en un SIG para el BDC. Se calcularon climas extrapolados a nivel de localidad de las cactáceas y se obtuvieron los tipos de suelo por localidad (2109 localidades para ambos), se evaluaron los estadísticos e índices de similitud para las especies y los cuadros de ¼° geográfico explorados (286 áreas), se crearon matrices de

riqueza y se están explorando los trazos panbiogeográficos. Se calculó el valor de rareza media (Ar) (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005; Brailovsky y Hernández, 2021) para 3719 especímenes, que ayudó a caracterizar el estado actual de la biota cactológica endémica.

Un total de 75 especies son exclusivas del BDC y fueron estudiadas en su geografía y componentes. Usamos sobrelapamiento de áreas geográficas, temperaturas medias, precipitaciones medias, temperaturas mínimas e índices P/T para contrastarlas en el tiempo con las capas paleoclimáticas y probar las cuatro hipótesis centrales. También se calcularon los efectos de las pendientes y sombreado máximo al mediodía de la estación invernal, por ser importantes determinantes del microclima a nivel regional y local.

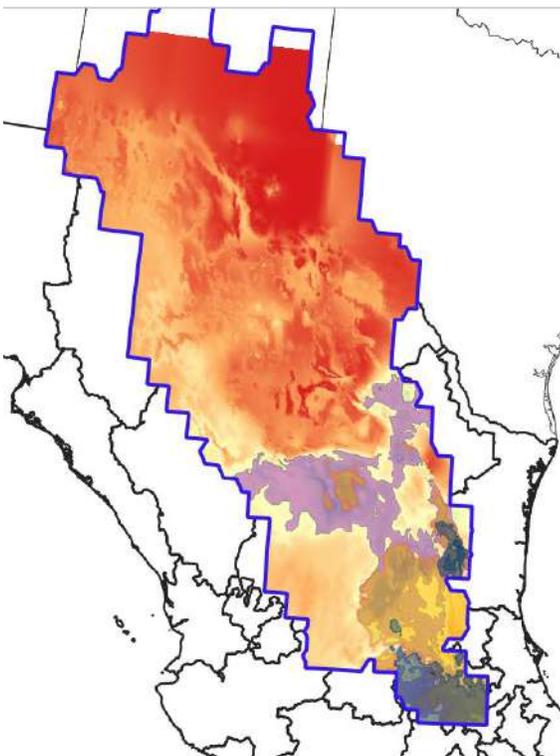


Figura 2. Probabilidades de Ocurrencia de Cactaceae endémicas en el G e IG integradas. Las áreas moradas representan la ocurrencia segura de 18 o más especies, las áreas naranjas son Refugia G y las áreas verdes son los Refugia IG. Las zonas rojas tienen la menor probabilidad de contener endémicas.

Los valores complementarios, sumados a la evaluación de efectos de protección, estimación

media del cambio de humedad y temperaturas mínimas entre IG y G permitieron valorar índices de Refugia y mapear dichos refugios para contrastarlos en QGIS. Fueron comparados con capas Raster de probabilidad combinada entre las especies obtenidos con MAXENT.

Hasta ahora se lograron comprobar las tres primeras hipótesis con un elevado nivel de inclusión de especies esperadas, así como con presencia de un número de individuos notable en cada caso. Las cactáceas resistentes al frío son las únicas que sobreviven en zonas expuestas a heladas extremas, mientras que los Refugia IG parecen ser muy importantes para el grupo. La humedad no es demasiado relevante y no se encontraron relaciones de dependencia estricta entre las endémicas y medios semiáridos G. Las predicciones gráficas se corresponden (Figura 2) y engloban la mayoría de las especies.

Agradecimientos

Se agradece al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por el apoyo logístico y revisiones tutorales, así mismo se agradece al CONAHCYT - SECIHTI por la Beca Doctoral que recibo para el desarrollo del proyecto de investigación. A la IOS (International Organization for Succulent Plant Study), por el apoyo en investigación de campo mediante el cual se cubrieron tres semanas de excursiones a remotos lugares del BDC, tanto en San Luis Potosí y Tamaulipas (Primera expedición), como en Hidalgo y Querétaro (Segunda expedición). Agradezco la amable invitación de los directivos del Jardín Botánico de Cadereyta, Emiliano Sánchez y Beatriz Maruri, siempre atentos en favor del desarrollo científico y la conservación natural. Así mismo agradezco a mi comité tutorial, al Dr. Héctor Hernández Macías por sus siempre atinados comentarios, y a la guía de los Dres. Juan José Morrone y Gabriela Castaño, así como todas las personas que me han acompañado al campo o que han participado de una u otra manera en el desarrollo de la investigación en curso. Esperamos que una vez concluida la valoración ambiental y biogeográfica, y contrastadas las preguntas

hipotéticas que nos planteamos, podamos abordar el complejo e interesante tema de la conservación biológica. El proyecto pretende guiar algunas directrices del diseño de áreas y corredores en función con hallazgos específicos sobre la relación de las cactáceas endémicas con el clima, la geografía y sus relaciones bióticas.

Referencias bibliográficas

- Betancourt J.L., Van Devender T.R., Martin P.S. (1991). *Packrat Middens. The Last 40,000 years of Biotic Change*. The University of Arizona Press, Tucson, AZ, USA. 467 pp.
- Blanchon P., Shaw J. (1995). Reef drowning during the last deglaciation: Evidence for catastrophic sea-level rise and ice-sheet collapse. *Geology*, No. 1:4.8.
- Brailovsky D., H. Hernández. (2021). Cacti in the Mazapil region, Chihuahuan Desert, Mexico: diversity, geographical patterns and conservation. *Haseltonia*, 28: 25-38.
- Briones O.L. (1994). Origen de los desiertos mexicanos. *Ciencia*, 45: 263-279.
- García E., Sánchez-Santillán N. (1996). Análisis climático de la Reserva de la Biosfera "El Cielo". *Geofísica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, 45: 181-199
- Hernández H. and Gómez-Hinostrosa C. (2005). Cactus diversity and endemism in the Chihuahuan Desert Region. En: Carton, E. J., Cevallos G., Felger R.S. (eds.), *Biodiversity, Ecosystems and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press. USA.
- Lange I.M. (2002). *Ice Age Mammals of North America. A guide to the Big, the Hairy and the Bizarre*. Mountain Press, Missoula, Mont. USA.
- Maxlow J. (1995). *Global expansion tectonics: the geological implications of an expanding earth*. Curtin University of Technology. School of Applied Geology. Ph.D. Thesis. A complete revision.
- Molnar P. (2008). Closing of the Central American Seaway and the Ice Age: A critical review. *Paleoceanography*, Vol. 23, PA2201, <https://doi.org/10.1029/2007PA001574>.
- Ramírez-Arriaga E., Prámparo M.B., Nieto-Samaniego A.F., Martínez-Hernández E., Valiente-Banuet A., Macías-Romo C., Dávalos-Álvarez O.G. (2014). Palynological evidence for Middle Miocene vegetation in the Tehuacán Formation of Puebla, Mexico. *Palynology*, 38:1, 1-27, DOI: 10.1080/01916122.2013.802750
- Ramírez-Arriaga E., Prámparo M.B., Nieto-Samaniego A.F., Valiente-Banuet A. (2017). Eocene Mequitongo Formation palynoflora from the intertropical Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Review of Palaeobotany and Palynology* 246: 14–31.
- Roy P.D., Quiroz-Jiménez J.D., Chávez-Lara C.M., Sánchez-Zavala J.L. (2019). Chapter 3. Holocene Hydroclimate of the Subtropical Mexico: A State of the Art. En: Torrescano-Valle N. et al. (Eds.) *The Holocene and Anthropocene: Environmental History of Mexico*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31719-5_3
- Scotese C.R. (1990). Revised World maps and introduction. *Geological Society London Memoirs*, 12(1):1-21.
- _____ (2016). Complete set of the paleogeographic maps and digital elevation models: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5460860>

Secretos del semidesierto: visitantes florales de un matorral xerófilo del Semidesierto Queretano

Esteban O. Munguía-Soto^{1,2*}, Gerardo Manzanarez-Villasana², José A. Aranda-Pineda^{2,3}, Linda Martínez-Ramos², M. Isabel Briseño-Sánchez², Pactli F. Ortega-González², Andrés Pereira-Guaqueta², Karen A. Ortega-Ramírez², Diana Cárdenas-Ramos², Mariana P. Bravo-Correa², Bruno Saldaña-Gómez², Mariana Cano-Rodríguez², Jordan Golubov¹ y María C. Mandujano^{**2}

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (UAM-X), Departamento El Hombre y su Ambiente, Laboratorio de Ecología, Sistemática y Fisiología Vegetal. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, C.P. 04960, Coyoacán, Ciudad de México, México.

² 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.

³ Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío", Camino a Antigua Hacienda de Tovares S/N. Ejido Fuentes y Pueblo Nuevo, C.P. 76500, Cadereyta de Montes, Querétaro

*musesteban@gmail.com

**mcmandujano@iecologia.unam.mx

Resumen

Los matorrales xerófilos son ecosistemas adaptados a condiciones semiáridas que albergan una biodiversidad única. Por otro lado, los jardines botánicos contribuyen a la protección de esta biodiversidad y facilitan el estudio de interacciones ecológicas. Este estudio tuvo como objetivo elaborar un listado de visitantes florales en el área silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, Cadereyta de Montes, Querétaro. La metodología incluyó una búsqueda bibliográfica exhaustiva y la consulta de plataformas de ciencia ciudadana (iNaturalistMX) para obtener registros. Se realizó una curva de acumulación de especies para estimar el esfuerzo de muestreo y la riqueza de especies. Los resultados identificaron 200 especies de visitantes florales, principalmente insectos del orden Hymenoptera, seguidos por Lepidoptera y Coleoptera. La curva de acumulación sugiere que se ha registrado el 60.97% de los visitantes florales esperados, indicando que aún no se ha alcanzado la riqueza total estimada para el sitio. Este estudio destaca la importancia del Jardín Botánico Regional de Cadereyta en la conservación y estudio de las interacciones planta-animal, subrayando el papel crucial de estas áreas protegidas en el avance del conocimiento sobre biodiversidad y en la promoción de su protección.

Palabras clave: Interacciones ecológicas, Hymenoptera, iNaturalist, curva de acumulación de especies

Abstract

Xerophytic scrublands are ecosystems adapted to semi-arid conditions that harbor unique biodiversity. Botanical gardens contribute to biodiversity protection and facilitate the study of ecological interactions. This study aimed to compile an inventory of floral visitors in the wild area of the Regional Botanical Garden of Cadereyta, Cadereyta de Montes, Querétaro. The methodology included an exhaustive literature review and consultation of citizen science platforms (iNaturalistMX) to obtain records. A species accumulation curve was constructed to estimate sampling effort and species richness. Results identified 200 species of floral visitors, primarily insects from the order Hymenoptera, followed by Lepidoptera and Coleoptera. The accumulation curve suggests that 60.97% of the expected floral visitors have been recorded, indicating that the estimated total species richness for the site has not yet been reached. This study highlights the importance of the Regional Botanical Garden of Cadereyta in the conservation and study of plant-animal interactions, underscoring the crucial role of these protected areas in advancing biodiversity knowledge and promoting its protection.

Keywords: Ecological interactions, Hymenoptera, iNaturalist, species accumulation curve

Importancia para la conservación

La documentación de 200 especies de visitantes florales en un matorral xerófilo demuestra su papel crucial como reservorio de biodiversidad. La alta representación de himenópteros (39%) y lepidópteros (34.5%) resalta la importancia de este remanente de vegetación en el JBRC como refugio para polinizadores. Además, la identificación de interacciones con 34 familias vegetales y la presencia de especies poliléticas subraya la necesidad de proteger estos espacios que mantienen redes complejas de polinización en ecosistemas áridos y semiáridos.

Introducción

Los ecosistemas áridos y semiáridos de México, que abarcan cerca de la mitad del territorio nacional, albergan una biodiversidad única y valiosa que enfrenta amenazas debido a actividades humanas y al cambio climático (Jurado-Guerra *et al.*, 2021). El Desierto Chihuahuense, considerado el más diverso de Norteamérica, es hogar de una rica variedad de plantas, especialmente cactáceas (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2005), e insectos polinizadores, incluyendo coleópteros, dípteros, himenópteros y lepidópteros, así como aves y murciélagos (Martínez-Ramos *et al.*, 2023).

En este contexto, el Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío" (JBRC) en Querétaro juega un papel crucial en la conservación *ex situ* e *in situ* de la diversidad vegetal (Caballero, 2012). Ubicado en el Semidesierto Queretano, extensión más sureña del Desierto Chihuahuense (Hernández-Magaña *et al.* 2012), el JBRC alberga un valioso remanente de matorral xerófilo con especies representativas de la región.

Desde 2015, se han realizado investigaciones sobre la biología reproductiva de las plantas y sus interacciones con visitantes florales en este "oasis del desierto". Estos estudios, complementados con registros de ciencia ciudadana, proporcionan información valiosa sobre la diversidad de visitantes florales y polinizadores en este ecosistema único (Cepeda-Cornejo y Cuautle, 2021).

Este trabajo presenta un listado de los visitantes florales encontrados en las angiospermas del matorral xerófilo del JBRC, resaltando la importancia de conservar estos ecosistemas áridos y sus interacciones de polinización, que son fundamentales para mantener la biodiversidad en este remanente de vegetación del Semidesierto Queretano (Nava-Bolaños *et al.* 2022).

Métodos

El estudio se realizó en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes (JBRC), ubicado en Querétaro, México (20°41'N, 99°48'O, 2060 m.s.n.m.), parte de la Zona Semiárida Queretano-Hidalguense (ZSQH) que representa el extremo sur del Desierto Chihuahuense (Hernández-Magaña *et al.* 2012). El JBRC tiene un clima cálido y semiárido, con 10 ha que incluyen colecciones botánicas y un remanente de matorral xerófilo crasicaule (Sánchez y Sanaphre 2009).

Para elaborar el listado de visitantes florales, se efectuaron: i. Una búsqueda exhaustiva en repositorios digitales de tesis de la UNAM y UAM, incluyendo trabajos no publicados, pero con datos recolectados rigurosamente; ii. Una búsqueda en la plataforma iNaturalistMX a través del portal GBIF (2024), limitada al área del JBRC y considerando registros de grado de investigación para las clases Insecta, Aves y el orden Chiroptera (Martínez-Ramos *et al.* 2023). La revisión documental de registros comprendió los años entre 2015 y 2023.

Con los registros, se construyó una curva de rarefacción por años y se utilizó el estimador de riqueza Jackknife para analizar el aumento en el conocimiento de la biodiversidad de visitantes florales. Se calculó el valor de completitud para conocer la relación entre la riqueza observada y estimada. Los análisis se realizaron en R versión 4.0.2.

Resultados

Se obtuvieron un total de 546 registros de visitantes florales, correspondientes a 200 especies. Estos datos provienen de dos fuentes principales: 12 tesis de licenciatura y posgrado (66.30%, 362 registros) y observaciones de la plataforma iNaturalistMX

(33.70%, 184 registros). Es importante destacar que, de los 3194 registros iniciales de iNaturalistMX, solo el 5.76% se consideraron observaciones válidas basadas en evidencia fotográfica de la interacción entre las especies animales y las flores. Ambas fuentes de información compartieron solo el 19.37% de las especies listadas.

La mayoría de las especies identificadas como visitantes florales pertenecen a la clase Insecta (94.5%), mientras que el 5.5% restante corresponde a la clase Aves. El análisis temporal de los registros reveló que el año 2023 tuvo el mayor número de especies reportadas en tesis (122), mientras que para iNaturalistMX, el pico se observó en 2022 con 30 especies. Se notó una ausencia de registros en tesis durante 2020-2021, relacionado con la pandemia de COVID-19. Los años con menos registros en iNaturalistMX fueron 2015, 2016 y 2020, con 3, 4 y 7 especies respectivamente.

La curva de rarefacción indicó una riqueza observada de 200 especies de visitantes florales, con una riqueza esperada estimada de 329 especies. La completitud del muestreo, considerando todas las fuentes, fue del 60%. Los órdenes de insectos mejor representados fueron Hymenoptera (39%), Lepidoptera (34.5%) y Diptera (12.5%) (Figura 1). Dentro de Hymenoptera, las abejas (superfamilia Apoidea) representaron el 22.5% del total de especies registradas.

En cuanto a las interacciones planta-visitante, se registraron 34 familias vegetales (Figura 1). Las familias con mayor número de visitas fueron Asteraceae (19%), Fabaceae (13.14%), Cactaceae (11.86%), Lamiaceae (8.25%) y Verbenaceae (7.22%). Las 29 familias botánicas restantes presentaron menos del 3% de visitas cada una. Cabe mencionar que no se registraron visitas de murciélagos en el sitio de estudio, debido a que los estudios se han enfocado en especies de plantas con floraciones diurnas y todas las observaciones en iNaturalistMX para el JBRC se han realizado durante el día. No obstante, en el sitio existen especies que dependen de la polinización por murciélagos, como las pertenecientes a los géneros *Agave*, *Pilosocereus* y *Stenocereus* (Sánchez y Sanaphre 2009, Martínez-Ramos *et al.* 2023).

Discusión

El estudio realizado en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta (JBRC) representa un avance significativo en el conocimiento de las especies visitantes florales y polinizadores en México. Este trabajo complementa un estudio nacional previo que estimaba la existencia de aproximadamente 2400 especies polinizadoras en el país (Nava-Bolaños *et al.*, 2022), identificando 49 especies coincidentes y añadiendo nuevas observaciones.

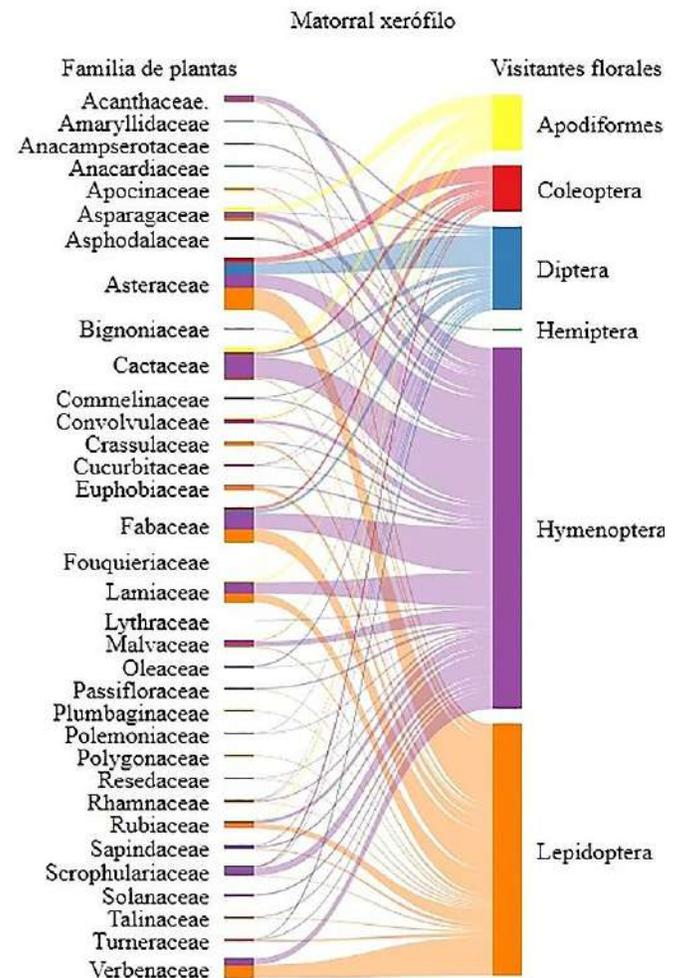


Figura 1. Red de interacciones órdenes de visitantes florales – familia de plantas con datos provenientes de registros de iNaturalistMX y tesis de licenciatura y posgrado en un matorral xerófilo conservado del semidesierto de Querétaro, México.

Los visitantes florales identificados desempeñan un papel vital en los servicios ecosistémicos, contribuyendo al mantenimiento de

la biodiversidad del matorral xerófilo y a la seguridad alimentaria (Kremen *et al.*, 2004). Se destaca la presencia de especies que visitan múltiples familias de angiospermas, como ciertas abejas (*Anthophora californica*, *Bombus sonorus*, *Melissodes* spp., *Diadasia* spp., *Xylocopa* spp.), escarabajos (*Euphoria basalis*) y moscas (*Geron* sp. y *Lepidanthrax* sp.), aumentando así la complejidad y resiliencia del ecosistema.

El estudio se benefició de dos fuentes de información complementarias: tesis académicas y observaciones de la plataforma de ciencia ciudadana iNaturalistMX. Esta última aportó el 33.7% de las especies reportadas, con solo un 19.37% de superposición entre ambas fuentes. Esta diversidad de fuentes resultó crucial para obtener un panorama más completo de la biodiversidad en el área.

Conclusiones

Este trabajo no solo amplía nuestro conocimiento sobre la diversidad de polinizadores en el JBRC, sino que también resalta la complejidad de las interacciones ecológicas y la necesidad de enfoques multifacéticos en la investigación y conservación de la biodiversidad (Cepeda-Cornejo y Cuautle-García, 2021).

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el presupuesto del Instituto de Ecología de la UNAM, así como por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica UNAM-DGAPA-PAPIIT (IN217324) y el CONACYT-CBF 2023-2024-1303 a María C. Mandujano. Agradecemos a la Biól. Beatriz Maruri y al Ing. Emiliano Sánchez por las facilidades brindadas en el sitio de estudio. También agradecemos a Mariana Rojas-Aréchiga por su apoyo en la logística de las salidas de campo.

Nota de los editores

Este trabajo se hizo acreedor a la Presea “Cátedra de Mármol” 2024.

Referencias bibliográficas

- Caballero, J. (2012) *Jardines Botánicos. Contribución a la conservación vegetal de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Cepeda-Cornejo V. y Cuautle-García L. M (2021) Los jardines botánicos reservorios de diversidad biológica. *Revista Tonantzin Tlalli de la FCB-BUAP* 1(1): 26-31.
- GBIF.org (2024) GBIF Occurrence Download URL: <https://doi.org/10.15468/dl.qud274>.
- Hernández H. M. y Gómez-Hinostroza C. (2005) *Cactus Diversity and Endemism in the Chihuahuan Desert Region*. En: Cartron. J. L, Ceballos G. y Felger R. (eds). *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press. Estados Unidos.
- Hernández-Magaña R., Hernández-Oria J. G. y Chávez R. (2012) Datos para la conservación florística en función de la amplitud geográfica de las especies en el Semidesierto Queretano, México. *Acta Botánica Mexicana* (99): 105-140.
- Jurado-Guerra P., Velázquez-Martínez M., Sánchez-Gutiérrez R. A., Álvarez-Holguín A., Domínguez-Martínez P. A., *et al.* (2021) Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista mexicana de ciencias pecuarias* 12: 261-285.
- Kremen, C. (2004). Pollination services and community composition: does it depend on diversity, abundance, biomass or species traits. *Solitary Bees: Conservation, Rearing and Management for Pollination*. Freitas, BM and Pereira, JOP (eds), *Beberibe, Ceara, Brazil*, 115-123.
- Martínez-Ramos L. M., Briseño-Sánchez I., Munguía-Soto E. O., Argueta-Guzmán M., Urquiola-Guerrero I., *et al.* (2023). *Grupos funcionales de polinizadores*. En: La biodiversidad en Querétaro. Estudio de Estado. Vol. II. CONABIO, México.
- Nava-Bolaños A., Osorio-Olvera L. y Soberón J. (2022) Estado del arte del conocimiento de biodiversidad de los polinizadores de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 93: e933948
- Sánchez M. E. y Sanaphre V. L. (2009) *Plan integral de manejo. Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel Gonzáles de Cosío”*. Consejo de Ciencias y Tecnología del Estado de Querétaro. Querétaro, México

Conservación de la flora semidesértica queretana-hidalguense en el Banco de Semillas FESI-UNAM

María Guadalupe Chávez-Hernández^{1*}, Isela Rodríguez-Arévalo¹, Patricia Dávila-Aranda¹,
Juana Lilia García-Rojas¹ y Armando Ponce-Vargas¹

¹Banco de Semillas FESI-UNAM. Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO). Facultad de Estudios Superiores Iztacala,
Universidad Nacional Autónoma de México

Av. De los Barrios 1, Tlalnepantla 54090, Estado de México, México.

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

Resumen

La diversidad florística de la zona árida queretano-hidalguense (ZAQH) es amplia y con un alto número de endemismos. Lamentablemente enfrenta diferentes amenazas, por lo cual su estudio y conservación debe ser una prioridad. Una de las alternativas de conservación *ex situ* más eficientes, es el almacenamiento en bancos de semillas. El Banco de Semillas FESI-UNAM (BS), tiene la colección más extensa y diversa de México. En este trabajo se reporta la representación de la flora de la ZAQH en el BS. Se pretende identificar las regiones con baja representación y proponer potenciales zonas de colecta para proyectos futuros. Se realizó una consulta en la base de datos del BS, así como búsquedas específicas para añadir información sobre las especies almacenadas. El BS almacena 176 accesiones dentro de la ZAQH, las cuales pertenecen a 119 especies de 82 géneros y 36 familias. Las familias mejor representadas fueron Asteraceae, Cactaceae y Fabaceae incluyendo cerca del 52% de las colectas. La necesidad de fortalecer la recolección de semillas en la ZAQH es evidente, futuros proyectos deberían enfocarse en la protección de especies endémicas y bajo alguna categoría de riesgo para proteger de forma eficiente la diversidad de la zona.

Palabras clave: Accesiones, conservación *ex situ*, germoplasma, semillas

Abstract

The floristic diversity of the arid zone of Querétaro-Hidalgo (ZAQH) is wide and with high endemism. Unfortunately, it faces different threats, so its study and conservation must be a priority. One of the most efficient *ex situ* conservation alternatives is storage in seed banks. The FESI-UNAM Seed Bank (BS) has the México's most extensive and diverse collection. This work reports the representation of the ZAQH flora in the BS. The aim is to identify regions with low representation and propose potential collection areas for future projects. A query was carried out in the BS database, and specific searches to add information on the collected species. The BS stores 176 accessions within the ZAQH, which belong to 119 species of 82 genera and 36 families. The best-represented families were Asteraceae, Cactaceae and Fabaceae, including about 52% of the accessions. The need to strengthen seed collection in the ZAQH is evident; future projects should focus on protecting endemic and under threat species, and to efficiently conserve the diversity of the area.

Keywords: Accessions, *ex situ* conservation, germplasm, seeds.

Importancia para la conservación

Dentro de las alternativas de conservación, los bancos de semillas son una opción sumamente eficiente, ya que en espacios y costos reducidos se puede asegurar la supervivencia de las semillas hasta por cientos de años. Almacenar la mayor cantidad de especies de una zona aumenta la posibilidad de conservar su flora a largo plazo. Este trabajo es el primer reporte para la ZAQH y representa el punto de partida para futuras acciones de conservación.

Introducción

La conservación de especies vegetales en zonas áridas ha sido considerada una prioridad en múltiples ocasiones y por razones diversas. Si bien su riqueza florística suele ser menor, su alto número de endemismos y la amplia diversidad funcional de sus taxones las vuelve puntos esenciales en la protección de la biodiversidad (McNeely, 2003). Si además se considera la vulnerabilidad de estas áreas ante el cambio climático, se vuelve urgente implementar acciones conjuntas de conservación para asegurar la perseverancia de sus especies (Huang *et al.*, 2017).

Una de las alternativas más eficientes para la conservación *ex-situ* de plantas es el almacenamiento de germoplasma en bancos de semillas, espacios donde las semillas son almacenadas a bajas temperaturas y condiciones de humedad para aumentar su expectativa de vida por décadas o incluso siglos (Breman, *et al.* 2021). En México, el Banco de Semillas de FESI-UNAM (BS) es el reservorio más grande de semillas de plantas silvestres, con más de 5,200 accesiones de casi 2,500 especies vegetales. Desde hace más de 20 años el BS ha dedicado sus esfuerzos a recolectar semillas, principalmente de zonas áridas, y ha colaborado con instituciones a nivel nacional e internacional para aumentar su colección, desarrollar investigación a diversos niveles y apoyar esfuerzos de propagación y reintroducción de especies (León-Lobos, *et al.* 2012, Rodríguez-Arévalo, *et al.* En prensa).

Análisis específicos de zonas bien delimitadas son necesarios para conocer la representatividad de las floras en el BS, así como identificar áreas de oportunidad para futuras acciones de conservación.

Métodos

Se realizó una consulta a la base de datos actualizada del BS (junio 2024), tomando como área de estudio el polígono de la ZAQH (Hernández-Magaña, *et al.* 2012). Usando el software R se obtuvo información acerca de las accesiones dentro del polígono. Se generó un mapa de distribución de las accesiones en QGIS. Una vez obtenido el listado de especies se recabó la información disponible sobre el estado de conservación de los taxones en la Lista Roja de la IUCN, la NOM-059 SEMARNAT y CITES.

Resultados

Se identificaron un total de 176 accesiones recolectadas en la ZAQH, las cuales pertenecen a 119 especies de 82 géneros y 36 familias. Las familias mejor representadas fueron Asteraceae, Cactaceae y Fabaceae incluyendo cerca del 52% de las colectas y el 55% de las especies (Tabla 1). Por otra parte, los géneros mejor representados fueron *Agave*, *Echinocactus* y *Cylindropuntia* (Tabla 2). Tres de los taxones recolectados se encuentran en alguna categoría de riesgo según la IUCN: *Casimiroa pubescens* Ramírez y *Strombocactus disciformis* (DC.) Britton & Rose en la categoría de Vulnerable (VU) y *Mammillaria parkinsonii* Ehrenb. considerada En Peligro (EN). Cuatro taxones se encuentran enlistados en la NOM-059 SEMARNAT 2010 (*Strombocactus disciformis* (DC.) Britton & Rose, *Mammillaria parkinsonii* Ehrenb., *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto y *Gentiana spathacea* Kunth). Por otra parte 30 accesiones de las 19 especies de Cactaceae reportadas sobresalen por estar dentro del Apéndice II de CITES.

Las zonas con más alta densidad de colectas en el BS se ubicaron en el estado de Querétaro, específicamente en los municipios de Peñamiller y Cadereyta (Figura 1), mientras que la región sureste

de la ZAQH sobresale por la ausencia de accesiones. La mayoría de las accesiones fueron realizadas entre los años 2010 y 2014.

Tabla 1. Las 10 familias mejor representadas en el BS en la ZAQH.

Familia	Accesiones	Especies
Asteraceae	42	30
Cactaceae	31	19
Fabaceae	18	16
Asparagaceae	14	6
Solanaceae	9	9
Bromeliaceae	7	4
Lamiaceae	5	3
Loasaceae	4	2
Malvaceae	4	4
Plantaginaceae	4	3

Tabla 2. Los 10 géneros más recolectados en el BS en la ZAQH.

Género	Accesiones	Especies
<i>Agave</i>	7	4
<i>Echinocactus</i>	6	1
<i>Cylindropuntia</i>	5	4
<i>Opuntia</i>	5	5
<i>Ageratina</i>	4	3
<i>Dyssodia</i>	4	2
<i>Hechtia</i>	4	3
<i>Senna</i>	4	4
<i>Solanum</i>	4	4
<i>Eucnide</i>	3	1

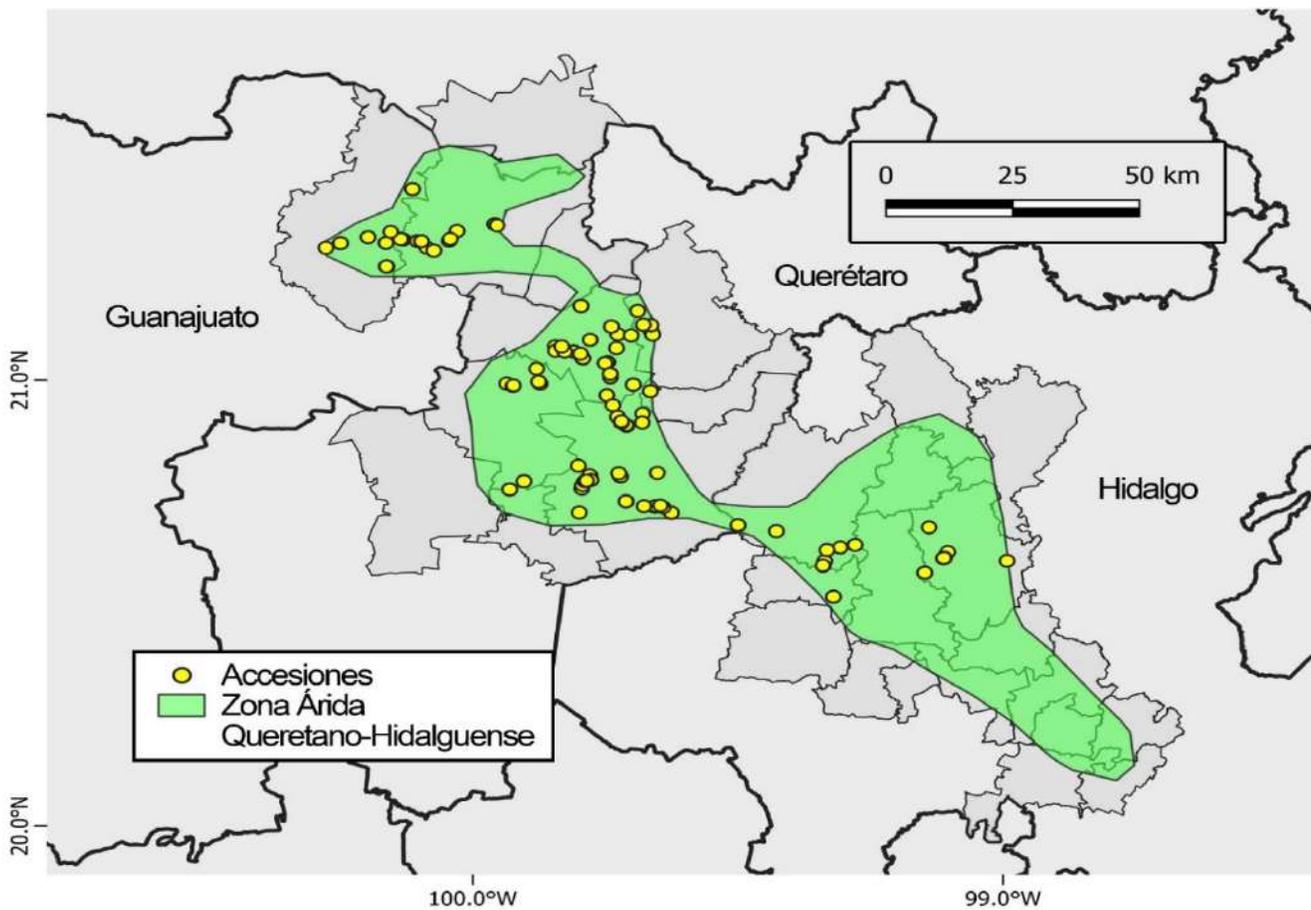


Figura 1. Mapa de las accesiones del BS en la ZAQH.

Discusión

El BS tiene resguardada una parte importante de la diversidad florística de la ZAQH, sin embargo, es clara la necesidad de establecer prioridades detalladas para que esta flora quede debidamente representada en la colección. Especies endémicas o que enfrentan un alto riesgo de extinción deben ser consideradas para futuras colectas. La presencia de especies en peligro en el BS es limitada, con solo cuatro especies en categorías de riesgo según la IUCN. Por ejemplo, la especie emblema de la diversidad biológica del Estado de Querétaro *Mammillaria herrerae* (Código Ambiental del Estado de Querétaro, 2021) no cuenta con un resguardo en el BS. Otros taxones como *Yucca queretaroensis* y *Lophophora diffusa*, destacan por su rareza y son ejemplos claros a los cuales se deben dirigir esfuerzos urgentes de conservación (Magallán-Hernández, et al. 2014, Briseño-Sánchez, et al. 2024).

Conclusiones

Si bien la ZAQH ha sido considerada en pasados proyectos del BS, aún existe una importante falta de accesiones en la mayoría de su territorio. Al mismo tiempo varias especies clave de los ecosistemas de la ZAQH no están representados en las colecciones. Esfuerzos adicionales de colecta y preservación en bancos de semillas son necesarios para asegurar el resguardo de la biodiversidad con este método de conservación.

Referencias bibliográficas

- Breman, E., Ballesteros, D., Castillo-Lorenzo, E., Cockel, C., Dickie, J., Faruk, A., ... and Ulian, T. (2021). Plant diversity conservation challenges and prospects—the perspective of botanic gardens and the Millennium Seed Bank. *Plants*, 10(11), 2371.
- Briseño-Sánchez, M. I., Nava-Osorio, J., Rojas-Aréchiga, M. y Mandujano, M. C. (2024). Efecto de la edad de las semillas en la germinación y la supervivencia de plántulas de *Lophophora diffusa* (Cactaceae). *Acta Botanica Mexicana*, (131).
- Código Ambiental del Estado de Querétaro (2021). Art. 165. 4 de diciembre de 2021 (México).
- Hernández-Magaña, R., Hernández-Oria, J. G. y Chávez, R. (2012). Datos para la conservación florística en función de la amplitud geográfica de las especies en el Semidesierto Queretano, México. *Acta botánica mexicana*, (99), 105-140.
- Huang, J., Li, Y., Fu, C., Chen, F., Fu, Q., Dai, A., ... and Wang, G. (2017). Dryland climate change: Recent progress and challenges. *Reviews of Geophysics*, 55(3), 719-778.
- León-Lobos, P., Way, M., Aranda, P. D. and Lima-Junior, M. (2012). The role of *ex situ* seed banks in the conservation of plant diversity and in ecological restoration in Latin America. *Plant Ecology & Diversity*, 5(2), 245-258.
- Magallán-Hernández, F., Maruri-Aguilar, B., Sánchez-Martínez, E., Hernández-Sandoval, L., Luna-Zúñiga, J. y Robledo-Mejía, M. (2014). Consideraciones taxonómicas de *Yucca queretaroensis* Piña (Agavaceae), una especie endémica del Semidesierto Queretano-Hidalguense. *Acta Botanica Mexicana*, (108), 51-66.
- McNeely, J. A. (2003). Biodiversity in arid regions: values and perceptions. *Journal of Arid Environments*, 54(1), 61-70.
- Rodríguez-Arévalo, I., Dávila-Aranda, P., García-Rojas, J.L., Ponce-Vargas, A. and Chávez-Hernández, M.G. (In press). *Ex situ* Conservation of Mexican Flora from Arid Regions: How Well is it Represented in the FESI-UNAM Seed Bank? In: Valencia Quiroz I, Solórzano S, Ávila G, Eds, *Arid and Semi-Arid Zones of Mexico: A Comprehensive Exploration of Biodiversity and Ecology*. Bentham Science Publishers; 2024.

Efecto de fitorreguladores en *Cephalocereus polylophus* y su citotoxicidad en HCT 116

Tania Citlalli Gómez Carreño¹, Perla Karen Orihuela Villegas¹, Ana Yoali Pérez Bosques¹, Mariana Márquez De La Vega¹,
Elvira del Carmen Arellanes Licea¹, Verónica Saavedra Gastélum¹ y María Goretti Arvizu Espinosa^{*1}

¹ Departamento de Bioingeniería, Escuela de Ingeniería y Ciencias,
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Querétaro, Querétaro, México.

[*goretti@tec.mx](mailto:goretti@tec.mx)

Resumen

El cultivo *in vitro* de plantas utilizando fitorreguladores es una herramienta para la propagación de estas, y el estudio de sus propiedades medicinales, tales como la evaluación de citotoxicidad, aumenta el acervo informativo de la especie vegetal. Ambos esfuerzos son importantes para provocar el interés dirigido a la conservación de plantas. En este trabajo, se presenta la implementación de un protocolo de micropropagación en las etapas de germinación, multiplicación y enraizamiento en la cactácea *Cephalocereus polylophus*. Dentro de los resultados observados y a destacar se encuentra el efecto del tratamiento T3 (AIA; 1.0 mg/L) sobre la inducción del crecimiento longitudinal de las raíces. Por otro lado, la evaluación del efecto citotóxico del extracto etanólico de partes aéreas de la especie, en la línea celular de cáncer de colon (HCT 116) mostró una IC₅₀= 3.72 mg/ml, que refleja la concentración de inhibición al 50 % del crecimiento de estas células por el extracto¹.

Palabras Clave: *Cephalocereus polylophus*, micropropagación, fitorreguladores, citotoxicidad, línea celular HTC 116

Abstract

In vitro cultivation of plants using phyto regulators is a tool for their propagation and the study of medicinal properties, such as the evaluation of cytotoxicity, which increases the available information for the plant species. Both efforts are important to spark interest in plant conservation. This work presents the implementation of a micropropagation protocol in the germination, multiplication, and rooting stages of the cactus *Cephalocereus polylophus*. Among the results observed and worth highlighting is the effect of the T3 treatment (IAA; 1.0 mg/L) upon the induction on the root length growth. Also of notice, was the evaluation of the cytotoxic effect of the ethanolic extract of aerial parts of the species on colon cancer cell line (HCT 116), which showed an IC₅₀= 3.72 mg/ml, which reflects the inhibitory concentration of 50 % of cell duplication, by the extract².

Keywords: *Cephalocereus polylophus*, micropropagation, phyto regulators, cytotoxicity, cell line HCT 116

¹ El resultado de un tratamiento efectivo para combatir el cáncer de colon debe ser 0% (ausencia) de células tumorales, es decir 100% de inhibición. (Escala Mandard I y II, Dworak grados 3 y 4). (Nota de los editores).

² A proper response of an effective treatment for colon cancer is 0% (absence) of tumor cells, *i. e.* 100% tumor cell inhibition. (Mandard scales I y II, Dworak grades 3 and 4) (Editor's note).

Importancia para la conservación

La flora mexicana consta de más de 23,000 especies distintas; sin embargo, se prevé que hasta dos tercios de éstas se encuentren en peligro de extinción en la naturaleza. Es por ello que, uno de los objetivos principales para los que se deberían de enfocar los esfuerzos es la “Conservación”. En el presente trabajo, se ha planteado el reto de implementar un protocolo para conservar de forma sostenible una de las especies de cactáceas de la zona semiárida Queretano-Hidalgense.

Introducción

Cephalocereus polylophus (DC). Britton & Rose (Figura 1) es una especie columnar de la familia Cactaceae, que habita en cañones donde se desarrolla el bosque tropical caducifolio, y con presencia de suelos de origen calcáreo. Es endémica de México, y se distribuye en poblaciones relativamente aisladas entre Hidalgo, Querétaro, Guanajuato y San Luis Potosí (Arias y Aquino, 2019; Gómez-Hinostrosa *et al.*, 2017). Soporta temperaturas ambientales de 0 hasta los 45 °C y llega a alcanzar los 15 m de altura. Presenta areolas con espinas de 1 a 2 cm de longitud (Arias y Aquino, 2019; Pérez-Molphe-Balch *et al.*, 2002). La importancia de esta cactácea radica en que, además de tener un alto valor ornamental, desempeña un papel fundamental en el ecosistema donde habita al ser fuente de recursos para varias especies de animales (Ortiz-Martínez *et al.*, 2020).



Figura 1. Fotografía de la cactácea *C. polylophus* en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta, Querétaro

Varias especies del género *Cephalocereus* se encuentra en alguna categoría de riesgo, de acuerdo con la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, en específico *C. polylophus* se encuentra listada como una especie Vulnerable, VU (Gómez-Hinostrosa *et al.*, 2017). Una de las acciones que contribuyen a su conservación es la micropropagación, la cual es un procedimiento de producción masiva de clones de plantas libres de patógenos, bajo ambiente controlado (Hurtado y Merino, 2001).

Por otro lado, se pueden obtener diferentes compuestos fenólicos de la *C. polylophus*, los cuales tienen, entre otras funciones tienen actividades de protección. Se han estudiado las aplicaciones de estos compuestos y se ha encontrado que algunos son benéficos para la salud humana en la regulación de diversas funciones fisiológicas como diuréticas, hipotensoras, antidiabéticas, antioxidantes y anticancerígenas (Corzo-Ríos *et al.*, 2016). Por lo tanto, es de gran

importancia el estudio de estos compuestos a través de la investigación *in vitro* en líneas celulares de mamíferos en donde se puede analizar el efecto citotóxico de los compuestos fenólicos de la especie (AACR, 2023; Bonilla *et al.*, 2017).

El objetivo de esta investigación fue realizar pruebas experimentales que sirvan para el desarrollo de un protocolo de micropropagación de *C. polylophus* usando diversas combinaciones fitorreguladores. Además, se estudiaron las posibles aplicaciones farmacológicas por el tratamiento *in vitro* de extractos de las partes aéreas.

Métodos

La metodología para el cultivo de tejido vegetal abarca desde la germinación y ensayo de viabilidad de las semillas, para la obtención de explantes asépticos y su establecimiento.

El ensayo de viabilidad de las semillas dio inicio separando las semillas aleatoriamente, en donde al 50 % se le aplicó un tratamiento pregerminativo con ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado. Mientras que la otra mitad, no se le realizó un proceso de escarificación.

Una vez germinadas las semillas, se induce la formación de brotes y raíces mediante el uso de fitorreguladores (6-Bencilaminopurina, BAP; Ácido naftalenacético, ANA; Ácido indolbutírico, AIB; Ácido indolacético, AIA; y medio de cultivo Murashigue y Skoog, MS), proceso que termina con su aclimatación.

El análisis estadístico se realizó utilizando una prueba de ANOVA de un factor y con una prueba post hoc de Tukey, esto con el objetivo de determinar la significancia entre tratamientos y cuál de los tratamientos es el mejor. De acuerdo con el diseño de experimentos, la multiplicación de brotes y la inducción de enraizamiento, se establece solo un factor, el cual es el tipo de tratamiento con cuatro niveles. Para la multiplicación de brotes, son los siguientes: Control (Medio MS, 2 g/L Carbón activado, 8 g/L de agar, Sacarosa al 3 %), T1 (BAP; 8.8 mg/L), T2 (BAP y ANA; 5 mg/L y 0.2 mg/L) y T3 (ANA; 0.3 mg/L). Asimismo, para la inducción al enraizamiento se definieron cuatro niveles de

acuerdo con el tipo de tratamiento, es decir: Control, T1 (AIB; 2.0 mg/L), T2 (AIB y AIA ;1.0 mg/L y 1.0 mg/L) y T3 (AIA; 1.0 mg/L). Adicionalmente, dentro del diseño experimental se definieron como variables de respuesta la longitud del brote y el número de raíces principales (ambos en mm), para la multiplicación de los brotes e inducción de enraizamiento, respectivamente.

Para analizar cualitativamente el efecto citotóxico, se realizó el corte, secado y pesado del material biológico, para una posterior maceración en etanol, pesado del fitoextracto, evaporación y filtrado. Con el fitoextracto obtenido, se realizó una dilución seriada 1:2 en un rango de concentración desde 7.86×10^{-3} mg/ml hasta 5.6 mg/ml y se hizo un tratamiento por duplicado en la línea celular de cáncer de colon HCT 116 (ATCC #CCL-247), por 48 h para la evaluación de la citotoxicidad mediante el ensayo de viabilidad por la tinción de cristal violeta.

Resultados

Los resultados obtenidos del tratamiento pregerminativo de las semillas, su crecimiento y los efectos principales para la longitud del brote e inducción del enraizamiento y la longitud de raíz principal, por los tratamientos T1, T2 y T3 se observan en las figuras 2-6. Se muestra que el tratamiento con mayor efectividad para la inducción de brotes fue el T2 (ANA 0.3 mg/L), con una media de 9.40 mm. Por otra parte, el T3 (AIA 1 mg/L) mostró una mayor efectividad para la elongación de raíces, con una media de 11.16 mm.

Tabla 1. Resultados del experimento de multiplicación de brotes.

Tratamiento	Longitud promedio del brote (mm)
Control	8.8
T1 (BAP 8.8 mg/L)	9.20
T2 (ANA 0.3 mg/L)	9.40
T3 (BAP 5 mg/L+ANA 0.2 mg/L)	9.16

Tabla 2. Resultados del experimento de enraizamiento.

Tratamiento	Longitud promedio de las raíces (mm)
Control	5.8
T1 (AIB 2 mg/L)	7.96
T2 (AIB 1 mg/L+AIA 1 mg/L)	8.20
T3 (AIA 1 mg/L)	11.16

La prueba de ANOVA aplicada mostró que no hubo diferencias significativas en el uso de los tratamientos pregerminativos sobre el tiempo de germinación, en donde el 100 % de las semillas germinaron al segundo día (Figura 2).



Figura 2. Semillas sometidas a tratamiento pregerminativo con ácido sulfúrico y semillas sin tratamiento al segundo día de siembra.

Con la prueba de Tukey para el proceso de multiplicación de brotes, se determinó que la longitud de brotes no es significativamente diferente entre tratamientos con un 97% de confianza, $P=0.617$, $F=0.60$ (Figuras 3 y 4).

Por otro lado, la inducción de crecimiento de raíces principales, de *C. polylophus*, utilizando diversas hormonas (Figura 5), sí mostró diferencias conforme al tratamiento utilizado (T1, T2 y T3). La longitud de raíces principales difirió entre tratamientos con un 97 % de confianza, $P=3.10 \times 10^{-8}$, y un valor $F=15.35$ (Figura 6).

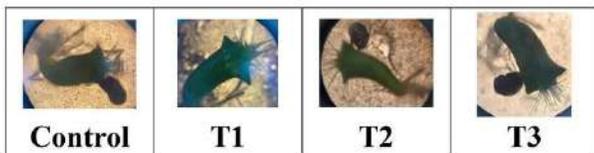


Figura 3. Crecimiento de semillas de *C. polylophus* con tratamiento pregerminativo el último día antes de hacer las mediciones de longitud de brote, en los diferentes tratamientos de inducción a multiplicación.

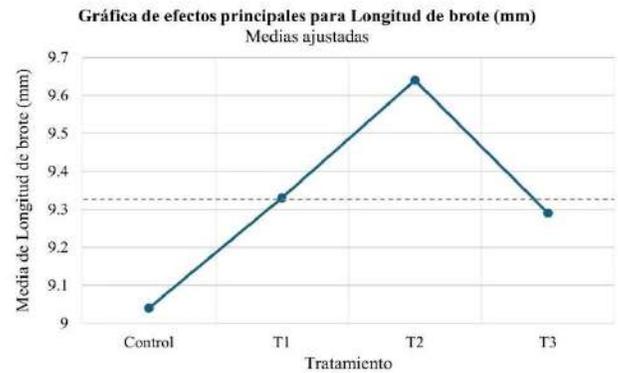


Figura 4. Efectos principales para la longitud de brote (mm) a partir de los tratamientos: control, T1, T2 y T3.

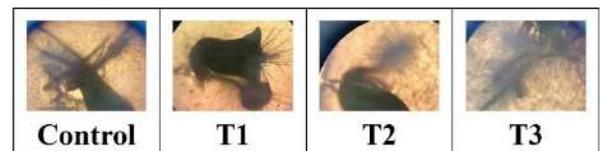


Figura 5. Crecimiento de semillas de *C. polylophus* con tratamiento pregerminativo el último día antes de hacer las mediciones de longitud de brote, en los diferentes tratamientos de inducción a enraizamiento.

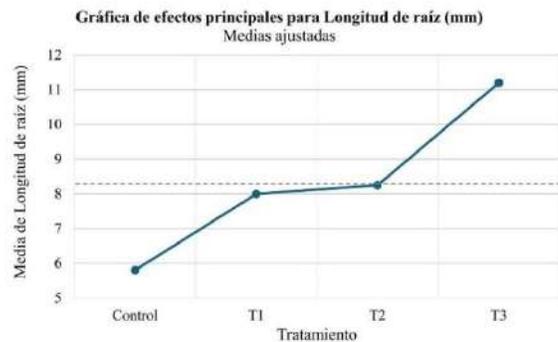


Figura 6. Efectos principales para la longitud de raíz principal (mm) a partir de tratamiento: control, T1, T2 y T3.

De manera cualitativa, el extracto etanólico de las partes aéreas de *C. polylophus* tuvo un efecto citotóxico en la línea celular HCT 116 (Fig. 7), después de 48 h de tratamiento con una $IC_{50}=3.72$ mg/mL (Fig. 8), que refleja la concentración de inhibición al 50 % de la viabilidad *in vitro* de estas células por el extracto, en comparación con células control sin tratamiento, las cuales presentan una viabilidad del 100 %.

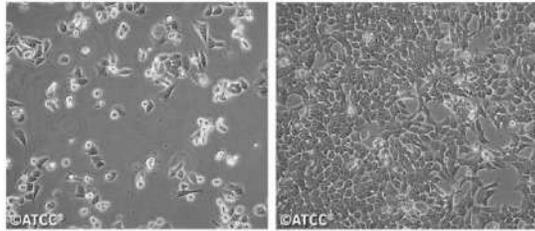


Figura 7. Morfología típica de la línea celular HCT 116 de cáncer de colon en microscopio invertido. Se muestra la comparación en baja (izquierda) y alta densidad (derecha) de crecimiento, para contrastar la morfología celular (Tomado de ATCC, 2024).

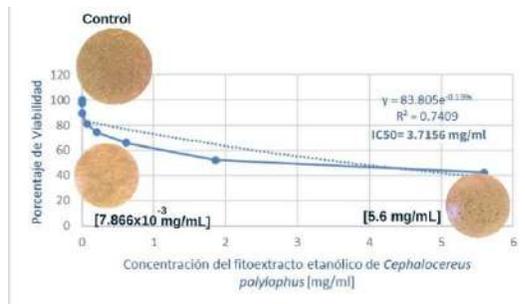


Figura 8. Biensayo de citotoxicidad con el fitoextracto etanólico de *C. polylophus* en concentraciones de 7.866×10^{-3} a 5.6 mg/mL, en la línea celular HCT 116. Las microfotografías muestran la densidad de las células, después del tratamiento respectivo. La línea punteada representa el ajuste con la ecuación exponencial de los datos promedio del biensayo (línea continua), para obtener la IC50.

Conclusiones

La aplicación de diferentes fitohormonas en tratamientos pregerminativos y para la inducción de multiplicación no tuvieron efecto, ya que utilizando un 97 % de confianza en la prueba Tukey no existió diferencia significativa entre las medidas de longitud de brote.

Mediante el análisis de datos, utilizado un 97 % de confianza y un valor de $P=3.10 \times 10^{-8}$, se determinó que el tratamiento T3 (AIA, 1 mg/L) mostró mayor capacidad en cuanto a la inducción de crecimiento de raíces principales, obteniendo una diferencia significativa entre tratamientos, siendo la media de T3 la más grande, la cual es de 11.16 mm.

De manera preliminar, el extracto etanólico de *C. polylophus* puede alterar la viabilidad celular *in vitro* en células epiteliales de cáncer de colon

HCT 116. En estudios posteriores, es importante explorar el efecto del fitoextracto en otras líneas celulares cancerígenas como mama, pulmón, piel o próstata, que al igual que el cáncer de colon son los tipos más comunes de esta patología, como estrategia de tratamientos alternativos a esta enfermedad³.

Referencias bibliográficas

- American Association for Cancer Research (2023). *Tipos de Cáncer | Recursos sobre el cáncer*. <https://www.cancer.org/es/cancer/tipos.html>.
- Arias, S. y Aquino, D. (2019). *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Familia Cactaceae I*. Instituto de Ecología, A.C.
- ATCC. (2024). HCT 116 | ATCC. www.atcc.org. <https://www.atcc.org/products/ccl-247>.
- Bonilla Rivera, P.E.; Fernández Rebaza, G.A.; Bustamante Peñaloza, L.E.; Casas Martel, L.E.; Cirineo Rodríguez, M.X.; Hinostroza Lorenzo, M.L.; Villar Melendez, H.C.; Yupanqui Gallegos, B.M.. (2017) Determinación estructural de flavonoides en el extracto etanólico de cladodios de *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. "Tuna Verde". *Revista Peruana de Medicina Integrativa*. 2017; 2(4):835-40.
- Corzo-Ríos, L.J., Bautista-Ramírez, M.E., Gómez y Gómez, Y.M. and Torres-Bustillos, L.G. (2016). *Frutas de cactáceas: Compuestos bioactivos y sus propiedades nutraceuticas*. En M. E. Ramírez Ortiz (Ed.). Alimentos Funcionales de Hoy Barcelona, España: OmniaScience 35-66.
- Gómez-Hinostroza, C., Sánchez, E., Guadalupe Martínez, J. and Bárcenas Luna, R. (2017) *Neobuxbaumia polylopha* (amended version of 2013 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/es/search?query=cephalocereus&searchType=species>.
- Hurtado, D. M., Merino, M. E. (2001) *Cultivo de Tejidos Vegetales*. Trillas. 1era Edición 5 a 27.
- Ortiz-Martínez, E., Golubov, J., Mandujano, M.C. and Arroyo-Cosultchi, G. (2020). Factors affecting germination and establishment success of an endemic cactus of the Chihuahuan Desert. *Plant Ecology*, bioRxiv 2020.12.08.396481, doi: 10.1007/s11258-021-01153-1.
- Pérez-Molphe-Balch, E., Pérez-Reyes, M. E., Dávila- Figueroa, C. A. and Villalobos-Amador, E. (2002). In Vitro Propagation of Three Species of Columnar Cacti from the Sonoran Desert. *HortScience*, 37(4), 69

³ El resultado de un tratamiento efectivo para combatir el cáncer es la ausencia de células tumorales. (Nota de los editores).

Germinación de morfotipos de *Astrophytum ornatum*, bajo dos tratamientos germinativos diferentes

Erick Baruch Rodríguez Romero*, María C. Mandujano**

¹Facultad de Ciencias y ²Laboratorio 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.

*erickbaruch-021128@ciencias.unam.mx

**mcmandujano@iecologia.unam.mx

Resumen

Astrophytum ornatum es una especie de cactus endémico de México y amenazada debido a la colecta indiscriminada, la cual presenta variaciones fenotípicas en las poblaciones del estado de Querétaro. Se identificaron cuatro morfotipos según la presencia y distribución de estigmas en el tallo: verde, rayado, punteado y blanco siendo este último el más buscado por coleccionistas y ausente en la naturaleza. El estudio comparó la germinación de los cuatro morfotipos para determinar el mejor método productivo. Se utilizaron 800 semillas cosechadas en 2024 en dos experimentos: uno en cámara ambiental a 26°C con 12 horas de luz-oscuridad, y otro con suelo de campo (Agua del ángel Qro.) humedecido en recipientes de vidrio sellados en un invernadero. Las semillas usadas en los experimentos provienen de plantas propagadas y conservadas *ex situ*. La germinación se midió durante mes y medio, estabilizándose en 77% para el tratamiento en invernadero y 55% en la cámara ambiental, ambos menores a lo reportado (90%). Las semillas provenientes del morfo verde germinaron en menor proporción, mientras que las semillas del morfo blanco tuvieron mejor desempeño en la cámara ambiental. Se recomienda este método para fines de producción de plantas con fin ornamental y de conservación.

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

Abstract

Astrophytum ornatum is a cactus species endemic to Mexico and endangered due to indiscriminate collection. It presents significant phenotypic variations in populations in Querétaro. Four stem morphotypes were identified: white, green, striped, and dotted, with the white morphotype being the most sought after by collectors and absent in nature. The seeds used in the experiments come from *ex situ* conserved plants, and their production for sale is crucial for conservation and reproduction programs, alleviating the collection pressure on their natural populations. The study compared the germination of the four morphotypes to determine the best production method. Eight hundred seeds harvested in 2024 were used in two experiments: one in an environmental chamber at 26°C with 12 hours of light-dark, and another with field soil (Agua del Ángel, Querétaro) moistened in sealed glass containers in a greenhouse. Germination was measured over a month and a half, stabilizing at 77% for the field soil treatment and 55% in the environmental chamber, lower than the reported 90%. Surprisingly, the green morphotype germinated less, while the white morphotype performed better in the environmental chamber, recommending this method for ornamental and conservation purposes.

Keywords: Conservation, Germination, Morphotypes, *Astrophytum*

Importancia para la conservación

Este trabajo es importante para la conservación de la diversidad vegetal al desarrollar métodos de germinación efectivos para *Astrophytum ornatum*, una especie amenazada. Facilita la producción *ex situ*, aliviando la presión sobre poblaciones naturales mediante programas de reproducción selectiva produciendo plantas visualmente más atractivas para su venta controlada como ornato.

Introducción

Se calcula que 80,000 especies de plantas (más del 20%) están amenazadas de extinción, probablemente más especies que todas las especies animales juntas (Brummitt *et al.* 2015). Las cactáceas son uno de los grupos más amenazados del reino vegetal, muchas de las poblaciones naturales de múltiples especies han sido afectadas por las presiones del desarrollo humano, principalmente debido a la conversión de terreno para usos agrícolas y/o pecuarios y a las actividades de extracción de las plantas de su hábitat, para su venta como plantas de ornato en el mercado ilegal nacional e internacional (Jarvis, 1979; Sánchez Mejorada, 1982; Fuller y Fitzgerald, 1987).

El género *Astrophytum* se caracteriza por la presencia de tallos cubiertos por tricomas blancos conocidos como estigmas, que pueden ser escasos o densos y que a simple vista parecen puntos (Bravo Hollis y Sánchez-Mejorada 1991). Este es uno de los géneros de la familia Cactaceae más apreciados en el mundo como plantas de ornato. Todas sus especies están incluidas en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza debido a la perturbación del hábitat y la extracción ilegal para su comercialización (López Flores, 2022). Entre ellas se encuentra *Astrophytum ornatum*, una especie endémica de México, comúnmente conocida con los nombres de piojosa, biznaga algodoncillo o liendrilla. En el estado de Querétaro esta planta se distribuye en las zonas montañosas del centro y norte, barrancas del río Moctezuma y la cuenca del río Extoraz (Glass, 1998). Presenta afinidad por los lugares con humedad dentro de los cañones fluviales, siendo una especie calcícola con apego por las calizas y

lutitas de edades geológicas cretácicas. Existe un gran gradiente de fenotipos en esta especie con individuos adultos casi totalmente cubiertos de estigmas, con ejemplares que los presentan a manera de líneas o rayas delgadas y por último los que son completamente verdes. La presencia de tricomas se considera una adaptación a las zonas áridas, ya que condensan la humedad atmosférica y reflejan la radiación solar (Challenger, 1998).

La colecta y comercio ilegal de plantas silvestres con fines ornamentales es la principal causa de la reducción de las poblaciones silvestres del género *Astrophytum* (Mendoza-Madrigal, 2007). Debido a los elevados precios que alcanzan en el mercado negro a nivel mundial, se tiene registro de que, en países como Japón durante el año de 1987, algunos ejemplares de este género se ofertaban hasta en 1300 dólares (Milliken, 1987 en Olguín, 1994). Además, para el caso de *A. ornatum* también se tienen identificadas la minería y la urbanización como causas de la reducción y la desaparición de sus poblaciones, razones por las que la especie está designada como Amenazada (A) por la NOM-059-SEMARNAT-2010, y se encuentra en el Apéndice II de la CITES. La única forma de propagación de estas plantas en su hábitat es por medio de semillas, por lo tanto, se hace énfasis en la obtención de estas, a partir de plantas conservadas *ex situ* (fuera de su hábitat natural). La producción y conservación *ex situ* de cactáceas, se convierte en una necesidad, tanto para el desarrollo de programas de producción como parte de las estrategias para conservar la diversidad biológica. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue comparar la efectividad de dos métodos germinativos para 4 morfos de *A. ornatum* determinando así el tratamiento más eficiente, con lo cual se pretende facilitar su producción *ex situ* aliviando en cierta medida la presión ejercida sobre las poblaciones naturales.

Métodos

Se realizaron 2 experimentos de germinación para evaluar el porcentaje de germinación y posteriormente la sobrevivencia de las plántulas

durante los 6 primeros meses posteriores a la germinación.

Experimento 1: Se colocaron 400 semillas (100 semillas por morfo) distribuidas en 80 cajas Petri habiendo un total de 5 semillas por caja y 20 cajas por morfo. Las cajas contenían agar bacteriológico y posteriormente fueron colocadas dentro de una cámara ambiental a una temperatura constante de 26°C. Durante mes y medio se revisó la cantidad de semilla germinadas y se contó el número de plántulas 2 veces por semana. Una vez que 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, revisando una vez por semana la sobrevivencia de las plántulas. Una vez que las plántulas desarrollaron areolas fueron trasladadas a condiciones de invernadero para darles seguimiento.

Experimento 2: Se colocaron 400 semillas (100 semillas por morfo) distribuidas en 80 frascos de vidrio. Cada frasco contenía un total de 5 semillas y se contó con 20 frascos por morfo. En los frascos se empleó como sustrato suelo del sitio de estudio (ejido Agua del Ángel, Peñamiller, Qro.), ligeramente humedecido. Los frascos se

mantuvieron sellados y durante un mes se colocaron en el interior de un invernadero, posteriormente se destaparon los frascos y se realizó el conteo de plántulas.

Resultados

Experimento 1: La germinación se estabilizó después de un mes y medio, es decir, que ya no se encontraron semillas germinadas en revisiones posteriores, y el 50% de las semillas germinaron durante los primeros 5 días. De las 400 semillas que se colocaron en las cajas Petri emergieron 221 plántulas, esto representa un 55.25% del total, en este método de germinación el morfotipo predominante fue el morfo blanco representando un 16% del total de las semillas que se sembraron.

Experimento 2: La germinación se contabilizó un mes después de la siembra de las semillas con un 77.72% de semillas germinadas de las 400 semillas sembradas, de las cuales se obtuvieron 300 plántulas. En este método de germinación el morfotipo predominante fue el morfo de rayas representando un 23.57% del total de semillas sembradas.

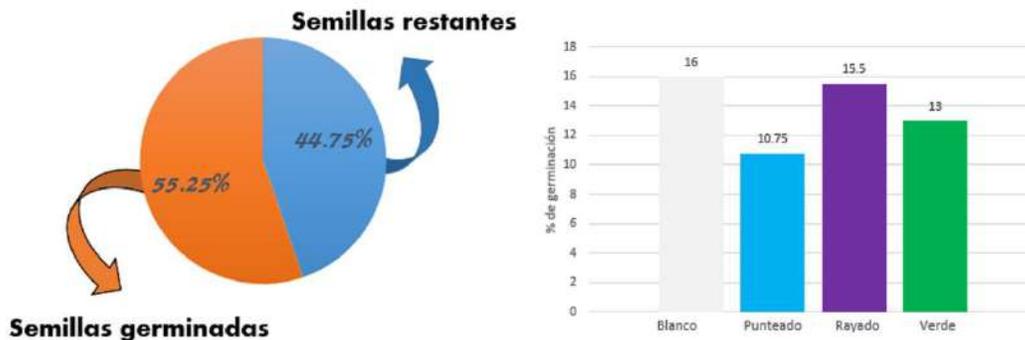


Figura 1: Germinación de *Astrophytum ornatum* en cámara ambiental, porcentaje total y porcentajes por morfo.

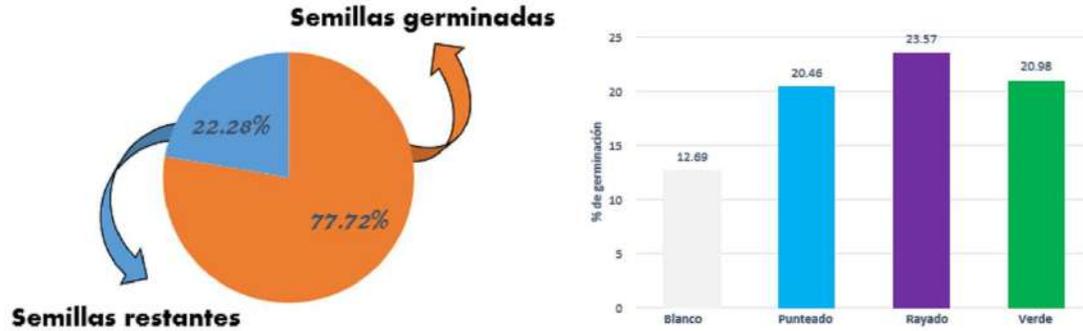


Figura 2: Germinación de *Astrophytum ornatum* en invernadero utilizando suelo de campo, porcentaje total y porcentajes por morfo.

Discusión

En ambos experimentos se obtuvo un porcentaje de germinación menor al obtenido en otros estudios como el de López Flores (2022), en el cual fue del 90% para semillas de *Astrophytum ornatum* con menos de 6 meses de tiempo de colecta bajo condiciones de cultivo en cámara de germinación con posterior trasplante a sustrato artificial. Además, contrario a lo esperado el morfo verde no fue predominante en ninguno de los experimentos, lo cual difiere respecto de lo observado en la estructura de la población parental en la cual el morfo verde predomina de forma sobresaliente respecto al resto de morfos. Dicho fenómeno también ocurre en las poblaciones silvestres que se distribuyen en Querétaro, en las cuales el morfotipo blanco está ausente y la gran mayoría de individuos corresponden a plantas del morfo verde o nudum como se le ha nombrado por parte de los coleccionistas, la explicación a este fenómeno podría hallarse en la sobrevivencia posterior a la germinación de las plántulas.

De los dos métodos empleados, la germinación en condiciones de invernadero utilizando suelo de campo fue el que dio los mejores resultados en cuanto al total de plantas germinadas, sin embargo, fue bajo condiciones de cámara ambiental donde el morfo blanco mostró un mejor desempeño, se hace énfasis en el morfo blanco ya que es el de mayor interés comercial y del cual se pretende incrementar su producción.

Conclusiones

Se concluye que, para fines ornamentales y de conservación se sugiere germinar las semillas bajo

condiciones de cámara ambiental, ya que bajo esas condiciones el morfo blanco mostró un mejor desempeño.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el presupuesto del Instituto de Ecología de la UNAM, así como por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica UNAM-DGAPA-PAPIIT (IN217324) y el CONACYT-CBF 2023-2024-1303 a María C. Mandujano. Agradecemos a la Biól. Beatriz Maruri y al Ing. Emiliano Sánchez por las facilidades brindadas en el sitio de estudio. También agradecemos a Mariana Rojas-Aréchiga por su apoyo en el préstamo de la cámara ambiental y en la logística de las salidas de campo. Agradecemos, el apoyo en campo de Daniel Zayas Carrillo, Vanesa Palma Suárez, Tania Fernández y Esteban Munguía Soto.

Referencias bibliográficas

- Bravo-Hollis, H y Sánchez-Mejorada, H. (1991). Las Cactáceas de México. Vol. II. UNAM. México. 643 p.
- Brummitt, N. A., Bachman, S. P., Griffiths-Lee, J., Lutz, M., Moat, J. F., Farjon, A., ... and Nic Lughadha, E. M. (2015). Green plants in the red: A baseline global assessment for the IUCN sampled Red List Index for plants. *PLoS One*, 10(8), e0135152.
- Challenger, A. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. CONABIO, Instituto de Biología UNAM. México. 847 p.
- Fuller, D., y Fitzgerald, S. (1987). Conservación y comercio de cactus y otras suculentas.
- Glass, C.E. (1998). Guía para la identificación de las cactáceas Mexicanas. UNAM-CONABIO. Fideicomiso Fondo para la Biodiversidad

- Jarvis, C.E. (1979). Comercio de cactus y otras plantas suculentas en el Reino Unido. *The Cactus and Succulent Journal of Great Britain*, 41(4), 113-118.
- López Flores, D. (2022) "Estrategias de conservación en cactáceas amenazadas usando modelos poblacionales". Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco
- 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>
- Olguín, S.L.P. 1994. Cultivo *in vitro* de *Ariocarpus retusus* Scheidw. (Cactaceae), especie en peligro de extinción. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias-UNAM. México. 85 p
- Sánchez-Mejorada, H. (1982). Mexico's problems and programmes monitoring trade in common and endangered cacti. *The Cactus and Succulent Journal of Great Britain*, 44(2), 36-38.

Alimentación prehispánica de Toluquilla y Ranas

María de Jesús Martínez Serrano y Elizabeth Mejía Pérez Campos*

Centro INAH Querétaro

*toluquilla.elizabeth@gmail.com

Resumen

La alimentación es una parte fundamental de los seres vivos e implica, la recolección, cacería o cultivo; posteriormente, la preparación y consumo. Ello depende de la disponibilidad de recursos de su entorno y sus hábitos. En esta presentación se exponen los resultados de un estudio sobre las tendencias alimentarias y su impacto en las condiciones de vida de los antiguos habitantes de los asentamientos de Toluquilla y Ranas en función de los estudios de Paleodieta, usando estudios de fluorescencia de rayos X.

Palabras clave: Toluquilla, Ranas, paleodieta, Sierra Gorda

Abstract

Food is a fundamental part of living beings and involves gathering, hunting or cultivation; later, preparation and consumption. All this depends on the availability of resources in their environment and their habits. Currently, analytical techniques on skeletal remains allow us to know the pre-Hispanic diet. This presentation presents the results of a study on food trends and their impact on the living conditions of the ancient inhabitants of Toluquilla and Ranas based on Paleodiet studies using X-ray fluorescence studies.

Keywords: Toluquilla, Ranas, paleodiet, Sierra Gorda

Relevancia del estudio

El análisis de los elementos traza apoya los estudios de paleodieta, basándose en el principio del contenido de estroncio (Sr) en los organismos vivos, el cual se introduce en la cadena trófica a través de los vegetales y sus concentraciones disminuyen en el ascenso de ésta, de tal forma que los mamíferos contienen menos estroncio en sus huesos que las plantas. Por lo que los carnívoros tendrán menos cantidad que los herbívoros.

Introducción

Toluquilla y Ranas son sitios arqueológicos localizados al sur de la Sierra Gorda, en el estado de Querétaro. Los arqueólogos a cargo han establecido su ocupación entre los años 300 a. C. y hasta la llegada de los españoles, tiempo en que tuvieron vínculos con sitios y regiones como: Teotihuacán, Tula, El Bajío, Río Verde, la Costa del Golfo, la Huasteca y Tajín (Mejía, 2010). Todo esto por el acceso al sulfuro rojo de mercurio, un bien de alta demanda en el México antiguo (Mejía, 2010; Herrera, 1994).

La evidencia arqueológica muestra que los pobladores de ambos lugares sustentaban su existencia con productos locales en una combinación de economía mixta, con actividades de agricultura, recolección, caza y pesca (Martínez, 2018).

Metodología

Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Paleozoología del Instituto de Investigaciones Antropológicas y en el Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Geología, de la UNAM, con una colección de restos óseos humanos de 27 individuos adultos de Toluquilla y seis de Ranas, de diferentes temporadas de excavación. Se contó con 9 elementos óseos faunísticos de venado, conejo del desierto y berrendo, en los que se realizó el estudio de elementos traza.

La concentración de estos elementos depende, en su mayor parte, de la dieta, pero no es el único medio de entrada, también los pulmones y la piel sirven de conducto para llegar al cuerpo. Los elementos se almacenan en los diferentes tejidos, principalmente en el hueso (Subirá, 2003).

Al diferenciar carnívoros de herbívoros se usa el estroncio (Sr) en restos óseos para establecer la abundancia de plantas o carne en la dieta. Así, la suposición de una proporción menor del índice Sr/Ca, refleja un mayor consumo de carne. Por el contrario, si las concentraciones de este índice son altas estaremos ante una dieta basada en alimentos vegetales (Pharswan y Farswan, 2011). El zinc, por su parte presenta un comportamiento inverso al estroncio en la cadena trófica, debido a que

mientras más asciende en ella, sus concentraciones serán más altas. Su presencia en altas concentraciones en restos óseos, se relaciona con dietas abundantes en productos cárnicos (Valadez *et al.*, 2005). Por ello se ha observado que los huesos de los vegetarianos presentan altas concentraciones de estroncio, mientras que los individuos que basan sus dietas en carne y productos marinos mantienen altas concentraciones de zinc (Zn) y cobre (Cu) (Tiesler *et al.*, 2001; Valadez *et al.*, 2005).

Este estudio se realizó con la técnica de Fluorescencia de Rayos X, que mide pequeñas concentraciones de los elementos químicos que componen los materiales, se caracteriza por su versatilidad, rapidez y no destruye los restos óseos. (Meléndez *et al.*, 2009; Martínez, 2018).

La toma de lecturas se realizó con el Analizador Portátil de Fluorescencia de rayos X en el laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM (equipo Thermo Modelo Niton XL-3T) con la dirección de la Q.F.B. Fabiola Vega García. Se realizaron mediciones con duración de 90 segundos cada una. Cuando las muestras eran de un fragmento, la medición se hacía en el contenedor del equipo, y cuando los huesos estaban completos, se desmontaba la pistola para hacerla directamente por triplicado. Siguiendo esta metodología, se tomó lectura de muestras de suelo de los sitios estudiados para evaluar los factores de contaminación e intercambio de los elementos químicos del suelo al hueso.

Al realizar todas las mediciones se generó una base de datos en el programa Excel, con los resultados de cada una de las muestras, y para verificar si la medición se había hecho correctamente, los datos se trabajaron en el programa SPSS.

En cuanto al análisis osteológico, las técnicas morfoscópias y osteométricas utilizadas en la Antropología Física proporcionan información de la estimación de sexo y edad, y para las condiciones de salud se utilizaron indicadores como la hiperostosis localizada en la superficie de los huesos frontal, occipital y parietales, y la criba orbitaria que aparece en el techo de las órbitas. En cuanto a patologías orales se utilizaron las huellas

del registro dental que informan sobre la dieta y la salud dental, como son caries y abscesos (Martínez, 2015, 2018).

Resultados

Se aplicó un modelo para determinar patrones alimentarios de la población analizada mediante la obtención de los promedios de los valores de los elementos traza relacionados con la dieta, en este caso, estroncio (Sr), zinc (Zn) y bario (Ba).

Tabla 1. Promedios de los valores (ppm) de estroncio (Sr), zinc (Zn) y bario (Ba) (Martínez, 2018).

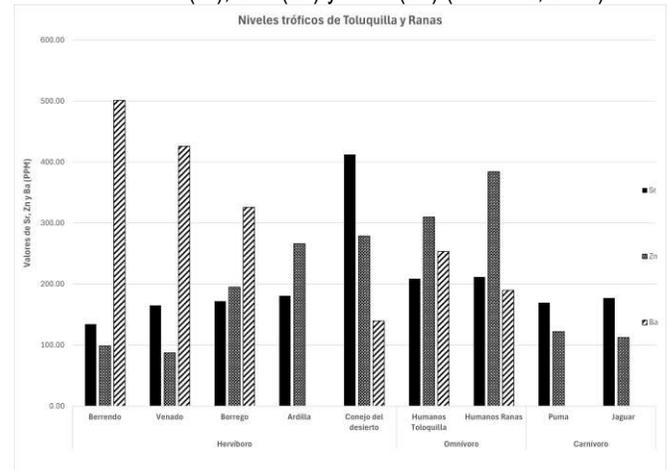
Muestra	Estroncio (Sr)	Zinc (Zn)	Bario (Ba)
Humanos Toluquilla	208.70	310.01	253.34
Humanos Ranas	211.69	384.16	189.99
Borrego <i>Ovis sp</i>	171.86	194.89	325.90
Berrendo <i>Antilocapra americana</i>	134.25	98.39	501.42
Conejo de desierto <i>Sylvilagus sp.</i>	412.59	278.94	139.52
Ardilla <i>Sciurus oculatus</i>	180.76	266.00	0.00
Venado <i>Odocoileus virginianus</i>	164.88	87.04	426.01
Puma <i>Puma concolor</i>	169.38	122.00	0.00
Jaguar <i>Panthera onca</i>	176.94	112.47	0.00

Para que el modelo reflejara todos los niveles tróficos, se utilizaron los valores de 2 animales carnívoros modernos como referencia de este nivel trófico, ya que, al revisar los restos óseos de fauna de las poblaciones analizadas, no se contó con muestras de este nivel. Los resultados obtenidos se grafican de la siguiente manera para observar el comportamiento de los elementos traza en cada una de las especies de acuerdo con su nivel trófico.

Discusión

Se observa una fuerte presencia del zinc, vinculado con un alto consumo en productos de origen cárnico (Figura 1). Observamos una diferencia en el consumo de productos de origen cárnico, ya que, en Ranas, se presentaron los niveles más altos del zinc mientras que en Toluquilla es más alto el bario.

Figura 1. Concentraciones promedio de estroncio (Sr), zinc (Zn) y bario (Ba) (Martínez, 2018).



Conclusiones

Podemos concluir que ambos lugares presentan niveles de estroncio y zinc similares, lo que indica que utilizaban los productos de origen vegetal y cárnico como base en su dieta, mientras que en Toluquilla los niveles más altos de bario y por ello de productos marinos.

No tenemos datos arqueológicos del tipo de plantas que se consumen, pero los datos etnográficos nos hablan de productos como el frijol de rata, que hoy ya no se consume.

Referencias bibliográficas

- Herrera, M. A. (1994). Minería prehispánica en la Sierra Gorda. En *Sierra Gorda: Pasado y presente. Coloquio en Homenaje a Lino Gómez Canedo celebrado en 1991* (págs. 35-46). Querétaro: Gobierno de Querétaro, Consejo Estatal para la Cultura y las Artes.
- Martínez, S. M. (2015). *Grupo biológico, estratificación social y diferencias del consumo alimenticio en los pobladores de Itzamkanac del Clásico Terminal*. (Tesis Licenciatura en Antropología Física): Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- Martínez, S. M. (2018) *Diferencias en las tendencias alimentarias de las poblaciones prehispánicas de Toluquilla y Ranas en la sierra gorda queretana*. (Tesis Maestría en Estudios Mesoamericanos), UNAM.
- Mejía, P. C. (2010). *Toluquilla: Ciudad entre nubes, ancestros y ofrendas*. (Tesis Doctorado en Antropología): Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- Meléndez, P. C. y Camacho, D. A. (2009). *Espectrometría de Fluorescencia de rayos X*. Obtenido de

- http://www.uach.mx/extencion_y_difusion/synthesis/2009/08/20/espectrometria_de_flourescencia_de_rayos_X.pdf
- Pharswan, J. S. and Farswan, Y. S. (2011). Role and Utility of Trace Elements in Paleodietary Reconstruction. *New York Science Journal*, 4(11), 43-48.
- Subirà, G. E. (2003). Paleopatología desde la química del hueso. En I. Albert y A. Malgosa, *Paleopatología. La enfermedad no escrita* (págs. 67-74). España: Masson.
- Tiesler, V., Sierra, T., Tejeda, S. (2001). Nutrición y condiciones de vida en la costa norte de la Península durante el Clásico. Una visión desde Xcambo, Yucatán. En J. Laporte, H. Escobedo y B. Arroyo, *XV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala* (págs. 752-762). Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
- Valadez, R., Tejeda, S., Zarazúa, G., Carapia, L. y Casas, M. (2005). El estudio de elementos traza arqueozoológicos y su empleo en la reconstrucción de paleodietas. *Estudios de Antropología Biológica* (12), 945-966.

Plantas que curan y alimentan en la zona urbana de Querétaro

Angélica Navidad Morales Figueroa*

Centro de Estudios Arqueológicos de El Colegio de Michoacán
Cerro de Nahuatzen 85, Fracc. Jardines del Cerro Grande, C.P. 59379, La Piedad, Michoacán
*angelicanavidad.24@gmail.com

Resumen

En México, las plantas que han servido como alimento y de uso medicinal forman parte de una profunda raíz cultural que se extiende sobre las diferentes regiones. En las localidades cercanas a la ciudad de Santiago de Querétaro como en los pueblos otomíes del semidesierto las familias conocen un gran número de plantas que se aprovechan en la cocina tradicional, y forman parte de la alimentación, como el nopal, el garambullo, los guamúchiles, las vainas del mezquite o las flores de yuca, que se recolectan en temporadas de lluvias. Varias plantas también curan y previenen enfermedades como la diabetes o las gripas, tienen un importante papel ecológico y se relacionan con los usos y saberes tradicionales de la región.

Palabras clave: Plantas comestibles, plantas medicinales

Abstract

In Mexico, edible and medicinal plants are part of a profound cultural root that extends over the different regions. In the towns near the city of Santiago de Querétaro and in the Otomí villages of the semi-desert, families know a large number of plants that are used in traditional cooking and are part of the diet, such as nopal, garambullo, guamuchiles, mesquite pods or yucca flowers, which are harvested during the rainy season. These plants also cure and prevent diseases such as diabetes or flu, have an important ecological role, and are deeply rooted in the traditional uses and knowledge related to the native trees, herbs, and cacti of the region.

Key words: Edible plants, medicinal plants

Importancia para la conservación

Las plantas nativas de las zonas semiáridas de Querétaro representan una riqueza biocultural que conservan los pueblos otomíes y pames, quienes las recolectan y usan para complementar su dieta y emplear como medicina. Los remanentes se venden en mercados y tianguis en la capital del estado, a donde llegan productos que rememoran el comercio de plantas mesoamericanas, procedentes de la milpa y de biomas como el matorral subtropical, la selva baja caducifolia y los matorrales espinosos.

Introducción

Junto a los conocimientos bióticos de las plantas, los saberes tradicionales conforman un patrimonio biocultural que abarca el medio en el que vive la gente, su cosmovisión y la cohesión social de grupo que comparte información de manera solidaria con la intención de que ese conocimiento siga vivo y sirva a quienes lo necesiten.

En septiembre de 2020 y gracias a la oportunidad otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), nos acercamos a hombres y especialmente a las mujeres de la ciudad de Querétaro para escuchar sus testimonios, y experiencia de vida en torno al uso de algunas plantas, especialmente cactáceas de la región del Semidesierto Queretano.

Las plantas usadas en la capital de Querétaro, forman parte de un sistema biótico que cuenta con varios ecosistemas que podemos distinguir a simple vista como son el matorral espinoso, bosque caducifolio, matorral subtropical y matorral xerófilo. Este sistema de flora y fauna se extiende hasta los límites del estado en su colindancia con Guanajuato (Martínez *et al.*, 2015).

La ciudad de Querétaro se sitúa sobre los municipios de Querétaro, El Marqués, Corregidora y Huimilpan. Se ubica entre los paralelos 20° 31' y 20° 45' de latitud norte y los meridianos 100° 14' y 100° 32' de longitud oeste, y tiene una altitud entre 1,800 y 2,100 metros sobre el nivel del mar. La población del municipio de Querétaro es de 1'049,777 habitantes, de los cuales 0.74% hablan una lengua indígena (otomí y náhuatl) (INEGI, 2020). En Querétaro, podemos apreciar todavía una tradición de pueblos antiguos como los Chichimecas o los otomíes, habitantes que todavía podemos encontrar en los mercados y tianguis tanto en la capital como en las comunidades, donde ofrecen diversos productos, que van desde frutas y verduras hasta cerámicas, muñecas y otras artesanías de la región (INEGI, 2010).

La gran variedad de la flora nativa en la capital de Querétaro ha sido absorbida por la mancha urbana de las colonias que se extendieron por las lomas y valles, hasta hacer desaparecer

buena parte de sus árboles más distintivos como los guamúchiles (*Pitecellobium dulce* (Roxb.) Benth.). Aún quedan otras especies entre las que podemos mencionar los nopales (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), los mezquites (*Neltuma juliflora* (Sw.) Raf.), los huizaches (*Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn.), los tepames (*Vachellia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Seigler & Ebinger), así como una gran cantidad de hierbas o salvias que curan desde infecciones o dolores de estómago, hasta piquetes de insectos de como el alacrán (*Centruroides limpidus*) o el arlomo (*Photuris trilineata*).

De las plantas, los habitantes aprovechan las hojas, los tallos, las flores y, en temporadas de lluvias, los frutos para complementar su alimentación a través de la elaboración de platillos y bebidas tradicionales como los atoles, tamales, aguas frescas y dulces que también se ofrecen en mercados locales.

Un ejemplo de esta variedad de plantas es el árbol del Colorín (*Erythrina americana* Mill.) Es propio de la selva baja caducifolia y sus flores o “chilitos” son aprovechados como alimento, mientras que sus hojas y flores se utilizan para curar piquetes de animales ponzoñosos. Sus frijolillos se utilizan para elaborar joyería tradicional, como collares y pulseras con capacidades de protección de malas vibras o mal de ojo (UNAM, 2023).

Algunas de las maderas de estos árboles también se han utilizado en la región para construir habitaciones como, es el caso del copal (*Bursera palmeri* S.Watson) cuya madera también es utilizada para elaborar utensilios de cocina, cajas artesanales y uso de la resina en rituales propios de las festividades católicas (UNAM, 2023).

La Tabla 1 muestra un conjunto de especies nativas de zonas áridas, reconocidas por la gente de la zona urbana de Querétaro. En otros tiempos fueron muy importantes para mantener o recuperar la salud en tiempos de frío como de calor y combatir enfermedades comunes como la gripa, las infecciones diarreicas, los golpes de calor, los dolores de huesos y sanar heridas, entre otras.

Tabla 1. Especies nativas de zonas áridas que curan y alimentan, empleadas en la ciudad de Querétaro

Nombre común	Familia	Nombre científico	Parte(s) empleada(s)	Recomendaciones de uso medicinal
Colorín o Patol	Fabaceae	<i>Erythrina coralloides</i> D.C.	Corteza, flores y fruto	Sus hojas, tallos y flores se utilizan en té para curar el piquete de animales ponzoñosos como las víboras o los alacranes. Sus frutos o chilitos son asados, o fritos con huevo para aprovechar sus nutrientes.
Garambullo	Cactaceae	<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Console	Frutos y semillas	Sus frutos se consumen para limpiar los intestinos y con propiedades antioxidantes. Se muelen para preparar atoles, aguas frescas, pulques.
Guamiches de biznaga	Cactaceae	<i>Ferocactus histrix</i> D.C	Frutos	Los frutos de la biznaga se utilizan para preparar aguas, paletas y dulces. La biznaga fue aprovechada como dulce regional en otros tiempos.
Flores de Yuca o Isote	Asparagaceae	<i>Yucca filifera</i> Chabaud	Flores	Sus flores son guisadas con huevo o verduras.
Nopal Chamacuero	Cactaceae	<i>Opuntia elizondoana</i> E. Sanchez	Pencas	Sus pencas son cortadas en estado tierno y son aprovechadas como alimentos tanto para humanos como animales. Sus propiedades medicinales abarcan el control del colesterol, la diabetes y la hiperglucemia.
Pitaya	Cactaceae	<i>Stenocereus griseus</i> Haw.	Frutos	Con la pulpa de la fruta se preparan bebidas frías o se come de forma directa. Es reconocida como fruta de propiedades antioxidantes.
Xoconostle	Cactaceae	<i>Opuntia joconostle</i> F.A.C.Weber	Frutos	Además de aderezar caldos y sopas, su pulpa se aprovecha para preparar dulces horneados. Puede auxiliar en el control de los triglicéridos y el colesterol. (UNAM, 2023)

Como patrimonio biocultural, las plantas forman una riqueza muy importante de recursos que llegan a las comunidades a través de una red de comercio que sigue suministrando a la población frutos y hierbas como se hacía en antaño, cuando el comercio se extendía por toda la Aridoamérica. Hoy en día el comercio permite que a la ciudad lleguen diversos productos nativos útiles para degustar, alimentar y curar.

Referencias bibliográficas

- INEGI, (2010). *Compendio de información geográfica Municipal. Corregidora, Querétaro*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/22/22006.pdf Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- _____. (2010). *Panorama sociodemográfico de México. Querétaro*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197957.pdf Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Martínez M. Hernández, et al., (2015). *Plantas nativas y naturalizadas en Querétaro*, México, Universidad Autónoma de Querétaro. Col. Academia.
- Universidad Nacional Autónoma de México (2023) Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/index.html>

Flora útil para la conservación del Semidesierto Hidalguense, en Maney, Huichapan, Hidalgo

Leonardo Kanek Reyes Salazar¹

¹Coordinador Ambiental. CEMEX Planta Huichapan.

biosfelinko@gmail.com

Resumen

Se determinó la flora con valor ecológico e importancia cultural para generar sinergia con la comunidad, para su propagación y divulgación, y para contribuir a la conservación del Semidesierto Hidalguense. Se realizó un estudio descriptivo en la comunidad de Maney, con un monitoreo dirigido a especies leñosas, arbustivas, subarbustivas y herbáceas. Se analizaron 200 m² en 8 parcelas, se tomaron parámetros dasométricos de leñosas y arbustivas. Se calculó el Índice de Valor e Importancia Ecológico y la cobertura de muestra de Chao y Shen (0.952). Se aplicaron 34 encuestas del tipo “listas libres” para calcular la importancia cultural mediante el Índice de Saliencia de Smith. Se observaron 700 organismos de 37 especies. Las familias más diversas fueron Cactaceae (12) y Fabaceae (4). Las especies nativas con mayor importancia son, *Mimosa aculeaticarpa* y *Opuntia lasiacantha*. Los usos (12) para *Neltuma laevigata* indican su rareza en zonas aledañas al sitio de aprovechamiento de la planta de cemento. Los principales usos encontrados fueron Medicinal, Alimenticio y Ornamental además de otros 16. Con los resultados se deberá trabajar con la comunidad para establecer estrategias de conservación.

Palabras clave: Biodiversidad, conservación, flora, comunidad, etnobotánica

Abstract

The flora with ecological value and cultural importance was determined to generate synergy with the community for its propagation and dissemination and to contribute to the conservation of the Hidalgo Semi-Desert. A descriptive study was carried out in the community of Maney, with monitoring directed to woody, shrub, sub-shrub, and herbaceous species. 200 m² in 8 plots were analyzed, and dasometric parameters of woody and shrub species were taken. The Ecological Value and Importance Index and the Chao and Shen sample coverage (0.952) were calculated. 34 “free list” type surveys were applied to estimate the cultural importance using the Smith Salience Index. 700 organisms of 37 species were observed. Cactaceae (12) and Fabaceae (4) were the most diverse families. The most important native species are *Mimosa aculeaticarpa* and *Opuntia lasiacantha*. The uses (12) for *Neltuma laevigata* indicate its rarity in areas surrounding the cement plant's exploitation site. The main uses found were Medicinal, Food and Ornamental, in addition to 16 others. With the results, work should be done with the community to establish conservation strategies.

Keywords: Biodiversity, conservation, flora, community, ethnobotany

Importancia para la conservación

El inicio de estudios de la vegetación en comunidades aledañas a zonas industriales en el Semidesierto Hidalguense, permitirá tener un panorama de la importancia ecológica y cultural, para trabajar con actores sociales en la comunidad y lograr la conservación de la diversidad de flora, así como divulgar su importancia cultural.

Introducción

El municipio de Huichapan se encuentra en un proceso de industrialización con el establecimiento de empresas desde el siglo pasado y la conformación de comunidades atraídas por el empleo, lo que va deformando la biodiversidad del sitio.

En la comunidad hay una planta de cemento, por eso hay crecimiento exponencial en cuanto a industria y desarrollo de empleos como empresas fabricantes de cantera y de block, que generan un impacto de antropización.

Este estudio etnobotánico se lleva a cabo para reconocer y revalorar la importancia de la flora en la zona, entendiendo que la conservación y la restauración del entorno antropizado debe incluir a la comunidad y los diversos actores sociales que la conforman.

En el municipio las especies dominantes son *Myrtillocactus geometrizans* (Garambullo), *Opuntia streptacantha* (Nopal de cerro), en algunos casos *Stenocereus dumortieri* (Candelabro). Como dominante fisonómico ocasional se presenta *Yucca filifera* (Palma). El estrato arbustivo, no mayor a 3 metros, está caracterizado por especies de los géneros *Zaluzania*, *Mimosa*, *Agave* y *Montanoa*. El estrato arbóreo no mayor a 5 metros se compone de *Vachellia farnesiana* (Huizache) y *N. laevigata* (Mezquite) (Asociación de Silvicultores del Valle del Mezquital, 2010).

Método

Se realizaron talleres en Maney para identificar especies con valor ecológico y etnobotánico, para reconocer a las especies para su propagación y divulgación, partiendo de su importancia en el ecosistema y en la cultura de la comunidad. Se estimó la riqueza de especies de flora, mediante el estimador no paramétrico Chao2 y se estimó la cobertura de muestra de Chao y Shen, con iNEXT que es un paquete estadístico utilizado para estimar la biodiversidad en muestras ecológicas. También se caracterizó el tipo de vegetación del área.

Para el trabajo biológico se calculó del Índice de Valor Ecológico (IVIE) que es una herramienta fundamental en ecología que nos permite evaluar la importancia relativa de una especie dentro de un

ecosistema. Este índice considera diferentes parámetros que reflejan el papel que juega una especie en la comunidad, como su frecuencia, densidad y abundancia que para este caso de vegetación se modificó a cobertura:

$$IVIE = \sum_n^i (CR_i, DR_i, FR_i \ i = 1)/3$$

Donde CR_i es la cobertura relativa de la especie i respecto a la cobertura total, DR_i es densidad relativa de la especie i respecto a la densidad total, y FR_i es la frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total, dando como resultado el IVIE de la especie en una escala del 0 al 100 % y representando su importancia en el área muestreada.

El estudio se dirigió a especies leñosas (árboles y subarbustos), y herbáceas, para lo cual se establecieron ocho parcelas, de 25 m² cada una, dando un total de 200 m² de superficie de muestreo, que se encontraban en la zona aledaña de aprovechamiento de la planta de cemento y en zona aledaña de presa La Cañada, ambas dentro de la comunidad de Maney, donde se midieron parámetros dasométricos, que se muestran en la Tabla 1. En este sitio se busca crear zonas de interés para conocimiento de la comunidad, así como aplicar medidas de conservación, esto en los años 2023 y 2024.

Para el trabajo etnobotánico se encuestaron a 34 personas, mediante listas libres con la pregunta: ¿Qué plantas usa del cerro o silvestres?, para calcular la importancia cultural mediante el Índice de Saliencia de Smith y determinar qué especie es la más importante para todo el grupo, considerando cuántas veces se menciona (frecuencia) y el orden en que aparece en cada lista (posición). La prioridad se determina en una escala de valores que van de 0 (prioridad baja) a 1 (prioridad alta) y se definen a partir de la ecuación:

$$S_{ij} = (L_j - (R_{ij} + 1))/L_j$$

donde S es la saliencia de ubicación (i) por usuario (j), L_j es la longitud de la lista de especies mencionadas en la encuesta por individuo (j), y R_{ij} es el rango de ubicación (i) por individuo (j). Los valores de saliencia se obtuvieron con el software Anthropac versión 4.98/X.

Resultados

Los resultados del iNEXT de Anne Chao, indican que la estimación de cobertura de muestra (0.952) y la curva de muestreo de rarefacción y extrapolación se esperaba asintótica, y se deberá de reforzar con mayor cobertura de muestreo en estudios posteriores. Aunque la estimación se acercó a un nivel de confianza de 1, se deberá seguir trabajando en el área para aumentar la riqueza de especies. Para especies leñosas y su arbustivas, se registraron 128 organismos de 20 especies y seis familias, la familia Cactaceae

cuenta con la mayor cantidad de especies (10), seguida de Fabaceae y Asteraceae. Las especies más abundantes con 13 organismos fueron: *Cylindropuntia imbricata*, seguida de *M. aculeaticarpa*. De acuerdo con el índice de importancia que muestran las especies, se trata de un matorral crasicaule con una asociación de *C. imbricata* y *M. aculeaticarpa*, con presencia de *Eysenhardtia polystachia* y *Opuntia* spp. Las especies que destacan por su importancia ecológica son: *M. aculeaticarpa* (0.378), *Opuntia lasiacantha* (0.356) y *E. polystachia* (0.346) (Tabla 1).

Tabla 1. Especies con mayor Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE) en la zona de estudio. No=Número de individuos, D=Densidad, DR=Densidad relativa, F=Frecuencia, FR= Frecuencia relativa, C =Cobertura, CR=Cobertura relativa.

No	Especie	No	D	DR	F	FR	C	CR	IVIE
1	Espino <i>Mimosa aculeaticarpa</i>	10	0.4	0.15384615	0.4	0.09302326	0.34557443	0.13069049	0.3775599
2	Nopal bondota <i>Opuntia lasiacantha</i>	5	0.2	0.07692308	0.4	0.09302326	0.49106271	0.18571174	0.35565807
3	Palo azul <i>Eysenhardtia polystachya</i>	8	0.32	0.12307692	0.3	0.06976744	0.40458624	0.15300778	0.34585214
4	Cardón <i>Cylindropuntia imbricata</i>	8	0.32	0.12307692	0.4	0.09302326	0.0780997	0.02953601	0.24563618
5	Granjeno acebuche <i>Forestiera phillyreoides</i>	5	0.2	0.07692308	0.4	0.09302326	0.16079102	0.06080848	0.23075482
6	Uña de gato <i>Ferocactus latispinus</i>	6	0.24	0.09230769	0.3	0.06976744	0.00922138	0.00348737	0.16556251
7	Nopal <i>Opuntia</i> sp.	1	0.04	0.01538462	0.1	0.02325581	0.27525443	0.10409664	0.14273707
8	Nopal tunero <i>Opuntia streptacantha</i>	1	0.04	0.01538462	0.1	0.02325581	0.27525443	0.10409664	0.14273707
9	Trompetilla <i>Bouvardia ternifolia</i>	3	0.12	0.04615385	0.3	0.06976744	0.03634439	0.01374484	0.12966613
10	Castamihi <i>Zaluzania augusta</i>	4	0.16	0.06153846	0.2	0.04651163	0.05571313	0.02106978	0.12911987
11	Nopal bondote <i>Opuntia robusta</i>	1	0.04	0.01538462	0.1	0.02325581	0.12946219	0.04896045	0.08760087
12	Vara blanca <i>Verbesina serrata</i>	2	0.08	0.03076923	0.2	0.04651163	0.01315466	0.00497488	0.08225573
13	Biznaga <i>Coryphantha cornifera</i>	1	0.04	0.01538462	0.1	0.02325581	0.00013273	5.0197E-05	0.03869063

Las especies nativas del matorral crasicaule con mayor importancia cultural fueron: Mezquite (*N. laevigata*), con 56 % de menciones, un promedio del tercer lugar en mención y una saliencia de 0.403 y con 12 de los 19 usos mencionados; en segundo sitio está el Garambullo (*M. geometrizans*), con 53% de menciones un rango promedio del quinto lugar de

mención y 0.283 de saliencia, y utilizada en cuatro de las 19 categorías de uso. La importancia cultural de las demás especies se muestra en la tabla 2, que también incluye especies exóticas como el Pirul (*Schinus molle*), y la sábila (*Aloe vera*).

Tabla 2. Especies con mayor Índice de Saliencia (S) en la zona de estudio. F=Frecuencia de mención y RM=Rango de mención.

Estatus	Nombre en la comunidad	Nombre científico	F	RM	S
Nativa	Mezquite	<i>Neltuma laevigata</i>	55.9	3.32	0.403
Nativa	Garambullo, Bastã	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	52.9	4.67	0.283
Nativa	Bondota	<i>Opuntia lasiacantha</i>	50	3	0.36
Nativa	Maguey	<i>Agave salmiana</i>	35.3	3.83	0.248
Nativa	Chilera, Chilitos	<i>Mammillaria magnimamma</i>	32.4	5.55	0.15
Nativa	Órgano	<i>Lophocereus marginatus</i>	29.4	4.9	0.148
Exótica	Pirul	<i>Schinus molle</i>	29.4	3.7	0.203
Nativa	Tunera	<i>Opuntia streptacantha</i>	29.4	5	0.162
Nativa	Palma	<i>Yucca filifera</i>	29.4	5.4	0.176
Nativa	Huizache	<i>Vachellia farnesiana</i>	23.5	5	0.111
Nativa	Palo dulce, Palo azul	<i>Eysenhardtia polystachia</i>	23.5	3.88	0.135
Exótica	Sábila	<i>Aloe vera</i>	23.5	3.5	0.165

De los 34 colaboradores, 30 son originarios de la comunidad. Dieron a conocer 60 especies, de las cuales la familia mejor representada fue Cactaceae con 11 especies, seguida de Asteraceae con ocho. Se establecieron 19 categorías en la categoría medicinal se emplean 36 especies, seguida del uso alimenticio con 28 especies y el ornamental con 15 especies (Tabla 3).

Tabla 3. Principales categorías de uso de la flora.

Usos	Especies
Medicinal	36
Alimenticio	28
Ornamental	15
Combustible	9
Forraje	9

Discusión

La estimación de la cobertura de la muestra (0.952) indica que se ha alcanzado un buen nivel de exhaustividad en la identificación de las especies presentes en el área de estudio, aunque la riqueza de especies se mantiene por debajo de lo esperado y se deberá buscar la ampliación del rango de muestreo. Según Chao *et al.* (2015), una cobertura de muestra superior a 0.9 se considera adecuada para estudios de biodiversidad.

Nuestros resultados son consistentes con los del estudio llevado a cabo por la Asociación de Silvicultores del Valle del Mezquital en 2010, y

quienes informaron que convergen *Yucca filifera* y *Opuntia streptacantha* en el matorral.

Los sitios ejidales en la comunidad coinciden con lo dicho en 2020 en el Plan municipal de desarrollo de Huichapan 2020-2024: *Los principales usos de suelo en la región, como la agricultura de temporal y el agostadero, actividades que desplazaron a la vegetación original dando lugar a pastizal inducido y cultivos, aunque por las sequías no se han aprovechado en el sitio.*

En la Comunidad de Maney convergen diversos actores de la industria, como una planta de cemento, fábricas de cantera y de block. La primera reforesta con especies nativas, como el garambullo (*M. geometrizans*), que es una especie de importancia ecológica y cultural.

A través de las entrevistas se pudieron observar mayor presencia de mezquites y garambullos en traspatios de las casas de los sabedores, lo cual indica su pertenencia a estas especies, lo que se refleja en el índice de saliencia. Esto difiere del estudio de Valor de importancia, donde no se observan estas especies en las parcelas estudiadas, y nos indica que las especies arbóreas, como el Huizache (*Vachellia farnesiana*) no superan los cuatro metros en los sitios estudiados; en cambio, predominan los subarbustos como el Espino (*M. aculeaticarpa*) y cactáceas de porte globoso además de varios individuos de especies herbáceas como la acederilla (*Oxalis*

decaphylla), moradilla (*Bouchea prismatica*), doradilla (*Astrolepis sinuata*), agritos (*Talinopsis frutescens*), pastos exóticos como pata de gallo (*Digitaria* sp.) y, en temporada de lluvia, el mayito (*Zephyranthes fosteri*).

El índice de importancia mostró que *C. imbricata* y *M. aculeaticarpa* son las especies más importantes del matorral crasicaule estudiado. También fueron las más abundantes, lo que significa que desempeñan un papel clave en la provisión de hábitat y recursos para otras especies de animales (Rotenberg *et al.*, 2009).

Otras especies que destacaron por su importancia ecológica fueron *E. polystachya* y *O. streptacantha*, que son notorias por sus interacciones mutualistas con polinizadores y dispersores de semillas, y por su papel en la regulación del ciclo del agua y la erosión del suelo (Armbruster y Webster, 1996; Jordano *et al.*, 2006).

Los usos encontrados reflejan también una cercanía con el actor social de la planta de cemento ya que este realiza capacitaciones y talleres encaminados a la cosmética empleando flora de la comunidad para generar autoempleo en la población.

La Biointeracción cultural se ejemplifica por el uso de tres especies de flora (*Agave salmiana*, *N. laevigata* y *Zea mays*), la cosecha de insectos u hongos (*Pachylis gigas*, *Comadia redtenbacheriya* y *Mycosarcoma maydis*, respectivamente) ya que la inoculación de estas especies es realizada por la población.

La presencia de la especie exótica Pirul (*S. molle*) en el cuarto lugar de la lista de especies con mayor índice de saliencia genera una preocupación importante, ya que Avendaño (2014) expone que los efectos inhibitorios de su alelopatía ponen en peligro la supervivencia de especies de gran valor cultural y económico en la comunidad, como el maguey (*Agave salmiana*) y la biznaga de chilitos (*Mammillaria magnimamma*). A pesar de los usos culturales de *S. molle*, en la comunidad se debe de abordar su crecimiento poblacional, ya que, en 2005, De la Cruz indica que en Huichapan es notorio que, en la mayoría del territorio, puede apreciarse gran cantidad de árboles de *S. molle*.

Conclusiones

Los resultados muestran disparidad en los estudios de importancia ecológica y cultural. Los primeros nos indican que *M. aculeaticarpa* tiene un mayor porcentaje de importancia ecológica, mientras que *N. laevigata* es el primer lugar en importancia cultural. Esta diferencia ofrece el reto de ocupar estas especies para la restauración del sitio. Esta labor ya la ha estado haciendo el área de Impacto Social a través de la Coordinación Ambiental de la planta de cemento, como actor social clave de la comunidad en reforestaciones con *N. laevigata*. También deberá fomentar la restauración con *M. aculeaticarpa* y generar proyectos de germinación de esta especie para la conservación de la flora del semidesierto Hidalguense en la Comunidad estudiada.

Los colaboradores del sitio de estudio y el actor social de la planta de cemento tendrán que trabajar en sinergia para informar de la importancia de la revalorización y reconocimiento de la flora y los usos que están presentes en la comunidad.

Referencias bibliográficas

- Armbruster, W. S. and Webster, T. D. (1996). Floral morphology, pollination, and community structure in the genus *Eysenhardtia* (Leguminosae). *American Journal of Botany*, 83(10), 1381-1394. <https://doi.org/10.2307/2446119>
- Asociación de Silvicultores de la Región del Valle del Mezquital. (2010). Estudio Regional Forestal "1304 Valle del Mezquital". Retrieved from http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/mapaLista/Hidalgo/2941Estudio_Regional_Forestal_1304.pdf.
- Avendaño G., M. (2014). *Efectos inhibitorios de la especie exótica Schinus molle L. (Anacardiaceae) sobre la germinación de especies nativas de México*. Tesis de maestría. San Luis Potosí, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Burney, S. M., Faith, D. P. and Lin, W. M. (2015). Estimating species richness: Summarizing and beyond. *BioScience*, 65(8), 532-550. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv054>
- De La Cruz González, E. (2005). *Las Posibilidades del Desarrollo Rural Sustentable en el ejido Comodejé, municipio de Huichapan, Estado de Hidalgo* Tesis de Ingeniería en Agronomía en Desarrollo Rural. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Jordano, P. and Schittko, L. (2006). Invertebrates as dispersers of cacti fruits. *Functional Ecology*, 20(3), 637-647. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01142.x>
- Rotenberg, J. A. and Schlenter, P. A. (2009). Effects of habitat structure on the avian community of an arid landscape. *Journal of Arid Environments*, 73(11), 1372-1377. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.07.003>

Riqueza etnobotánica de la subfamilia Opuntioideae en el matorral crasicaule del municipio de Querétaro

Aarón Misael Carpio Dávila*
Coordinador del Programa de Restauración Ambiental Comunitaria
Planta Broquers Ambiental Querétaro
[*carpiodavila.aaronmisael@gmail.com](mailto:carpiodavila.aaronmisael@gmail.com)

Resumen

En 2023 se determinó al género *Opuntia* con el segundo lugar del Índice de Valor e Importancia Ecológica y de importancia cultural en el matorral crasicaule, siendo el complejo botánico que agrupa a las especies de *Opuntioideae* nativas de la región. En 2024, se realizaron 6 recorridos dirigidos, detectando 75 organismos de 8 especies: *Opuntia lasiacantha*, *O. pubescens*, *O. tomentosa*, *O. robusta*, *Cylindropuntia imbricata*, *O. hyptiacantha*, *O. joconostle* y *O. streptacantha*. La cobertura de muestra de Chao y Shen se completó al cuarto monitoreo, a la octava especie. Empleando el estimador Chao2 y la curva de acumulación de los números de Hill se estimaron 8 especies y se observaron 8, obteniendo la completitud del muestreo. En una encuesta dirigida a este taxón los sabedores refieren su uso comestible, medicinal, ornamental, forrajero y combustible. Las partes empleadas solo son el tallo, fruto y flor. Mediante la exposición de un catálogo a los sabedores, se infieren dos nomenclaturas en torno al manejo: “de cerro” o “casero” y que *O. pubescens* y *Cylindropuntia imbricata*, no son nopales. Los más mencionados fueron: hartón, taponá, aguamielero y chamacuero. Los consensos denominativos fueron: perrito (*O. pubescens*), chamacuero (*O. lasiacantha*), taponá (*O. robusta*) y xoconostle (*O. joconostle*).

Palabras clave: Etnobotánica, *Opuntia*, riqueza, Chao2, matorral crasicaule

Abstract

In 2023, the *Opuntia* genus was placed second in the Index of Ecological Value and Importance and cultural importance in the crasicaule scrub, being the botanical complex that groups the species of *Opuntioideae* native to the region. In 2024, 6 guided tours were carried out, detecting 75 organisms of 8 species: *Opuntia lasiacantha*, *O. pubescens*, *O. tomentosa*, *O. robusta*, *Cylindropuntia imbricata*, *O. hyptiacantha*, *O. joconostle* and *O. streptacantha*. The fourth monitoring of the eighth species completed Chao and Shen's sample coverage. Using the Chao2 estimator and the Hill number accumulation curve, eight species were estimated, and 8 were observed, obtaining complete sampling. A survey directed at this taxon refers to its edible, medicinal, ornamental, forage, and fuel uses. The parts used are only the stem, fruit, and flower. By exposing a catalog to the informants, two nomenclatures regarding management are inferred: “cerro” or “casero” and that *O. pubescens* and *Cylindropuntia imbricata* are not nopales. The most mentioned were: hartón, taponá, aguamielero and chamacuero. The denominational consensuses were: perrito (*O. pubescens*), chamacuero (*O. lasiacantha*), taponá (*O. robusta*) and xoconostle (*O. joconostle*).

Keywords: Ethnobotany, *Opuntia*, richness, Chao2, crasicaule scrub

Importancia para la conservación

Reconocer la riqueza etnobotánica en compañía de los sabedores une al conocimiento científico y a los saberes tradicionales. En este modesto estudio se determinaron todas las especies de nopales que inciden en la zona, así como parte del acervo cultural en torno a ellas. Con esto de base es posible la reapropiación del conocimiento y la restauración del medio.

Introducción

México cuenta con la mayor diversidad de cactáceas, la cual se concentra en alrededor de 50 géneros y 550 especies. Esta familia americana cuenta con entre 1500 y 2000 especies. Nuestro país posee dos centros de diversificación, el centro-norte hasta el suroeste de USA y otro al sureste. En Querétaro, la diversidad de especies de esta familia se estima entre 93 y 112 especies, la mayoría de ellas distribuidas en la región conocida del Semidesierto Queretano Hidalguense (SQH) (Hernández *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2006).

Para el género *Opuntia* se reconocen 220 especies, en México existen 93, de las cuales 62 son endémicas (Scheinvar *et al.*, 2011). La región del altiplano posee la mayor cobertura de nopaleras y riqueza del género *Opuntia*, con 40 especies silvestres, 60 variedades de huertas familiares y 12 comerciales. Estas plantas se encuentran en el 60% del territorio mexicano, ofreciendo servicios ambientales difíciles de cuantificar (retención de agua y suelo, alimento y refugio para fauna, relaciones microbianas, etcétera) (Jiménez, 2011; SEMARNAT, 2016; Scheinvar *et al.*, 2011).

Además, los nopales tienen una relación cultural que la mexicanidad le ha conferido tras siglos de aprovechamiento y manejo que han conformado un vasto acervo de saberes en torno al conocimiento de estas especies. Es así como se han documentado más de 20 usos tradicionales para los nopales, entre los que sobresalen alimento, medicina y forraje, más los usos industriales contemporáneos (Scheinvar *et al.*, 2011). Su importancia en el SQH se refleja incluso en los topónimos de la región: En Guanajuato existen lugares como Xoconostle de Rematalo y Tuna

Agria, en Querétaro, Tuna Mansa y Nopalera; y también en Hidalgo con Nopala de Villagrán por mencionar algunos.

En un estudio previo en las localidades de Mompaní y Los Juncos, en el municipio de Querétaro, se determinaron especies clave para la restauración ambiental del matorral crasicaule, donde el género *Opuntia*, ocupó el segundo lugar del Índice de Valor e Importancia Ecológica. También se determinó la importancia cultural de tales especies mediante la saliencia con el software Anthropac. Donde el “nopal”, ocupó el segundo lugar de importancia cultural con mayor mención (82%) y una saliencia de 0.622, acotando cuatro usos para los nopales (comestible, combustible, medicinal y forrajero) (Carpio, 2023).

Método

En 2024, se realizó un estudio en las localidades de Los Juncos y Mompaní, en la capital queretana. Para determinar las especies del género *Opuntia* que inciden en el matorral crasicaule y que son agrupadas por el complejo botánico: “nopal”. Se realizaron 6 recorridos libres dirigidos a detectar los organismos de este género presentes en la zona, identificándolos mediante métodos comparativos con ejemplares tipo digitalizados y de consenso con la plataforma iNaturalistMX. Se realizó una encuesta dirigida a las personas de la comunidad (sabedores) en torno a los nopales para indagar sus usos específicos, órganos y nombres empleados. Además de exponer a los sabedores al reconocimiento de las especies de la zona mediante un catálogo fotográfico de los organismos detectados en los recorridos. Se evaluaron los datos obtenidos con el programa Estimates Win910, empleando el estimador no paramétrico Chao2, para obtener una estimación de la riqueza. Para evaluar la cobertura de muestra, se empleó la fórmula de Chao y Shen con el software INext y también se graficó la curva de acumulación de especies con los números de Hill para comparar con los resultados del Chao 2.

Resultados

Durante los recorridos libres se detectaron 75 organismos de los géneros *Opuntia* y *Cylindropuntia* correspondientes a 8 especies en orden de incidencias: *Opuntia lasiacantha* (18), *Opuntia pubescens* (14), *Opuntia tomentosa* (11), *Opuntia robusta* (8), *Cylindropuntia imbricata* (8), *Opuntia hyptiacantha* (6), *Opuntia joconostle* (4), *Opuntia streptacantha* (4) y dos individuos sin identificación. Se evaluaron los datos de los 6 recorridos con el programa Estimates Win910, donde el estimador no paramétrico Chao 2, arroja una estimación de la riqueza en 8 especies (Figura 1) y en los muestreos observamos 8 especies, obteniendo una completitud de muestreo del 100%. Para evaluar la cobertura de muestra, se empleó la fórmula de Chao y Shen con el software INext, obteniendo 1 a la octava especie (Figura 2), siendo que nuestra cobertura es completa desde el cuarto monitoreo (Figura 3). La curva de acumulación de especies con los números de Hill que se obtuvo del mismo software concuerda con el estimador Chao 2, al determinar la riqueza con 8 especies, que fueron muestreadas durante el presente estudio.

La encuesta sobre los saberes de los nopales ($n=38$), indican que el 100% reconoce que son comestibles, el 68.4% que tienen uso medicinal, ornamental 15.7%, forrajero 10.5% y combustible 10.5% algunos refiriendo más de un uso.

La parte de la planta con mayor uso son los cladodios (100% de los sabedores) distinguiendo como “nopalitos” a los cladodios tiernos y “pencas” a los que presenten lignificación y son empleados de diferente forma. Las pencas son cortadas en los trabajos de aclareo de las plantas y se aprovechan los denominados “corazones” o “migajones” que poseen venta y consumo regional, de igual forma estas pencas son las que se propagan de manera vegetativa, principalmente para cercas vivas y forraje. Por otra parte, los frutos son referidos por el 92.1% de los sabedores como comestibles, ya sean xoconostles o los diversos tipos de tunas que presentan las especies de la zona, referidas como tuna, tuna roja, tuna amarilla, xoconostle, taponá, pitaya y camuesa. Es destacable que la flor, fue mencionada por el 10.5% de los encuestados para

uso comestible y medicinal (“cerrar heridas” y “para hacer agua”).

Los nombres de nopales referidos como conocidos por los sabedores fueron: Hartón, taponá, aguamielero, chamacuero, limoncillo, pelón, casero, chinito, verdulero, xoconostle, castilla, cerro, corazón, negrito, nopalera, normal, apastillado, blanco, cenizo, chabeña, duraznillo, flaquito, hortaliza, huesudo, jocotuna, puerco y redondo.

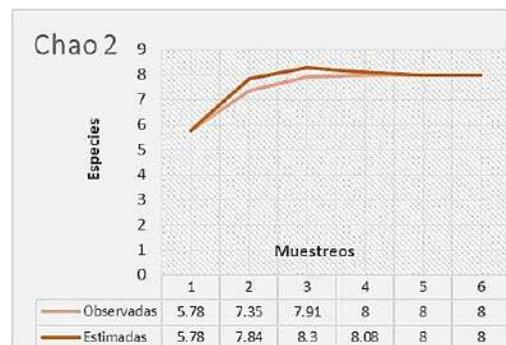


Figura 1. Estimación de especies con Chao2 y especies observadas.

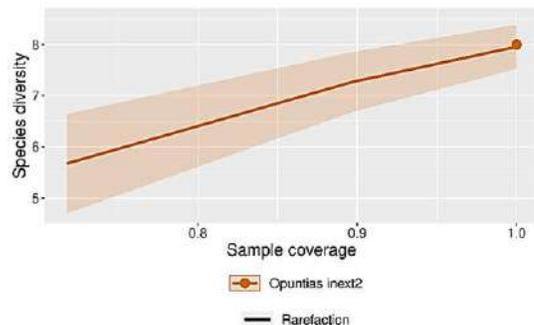


Figura 2. Cobertura de muestra completa a la octava especie.

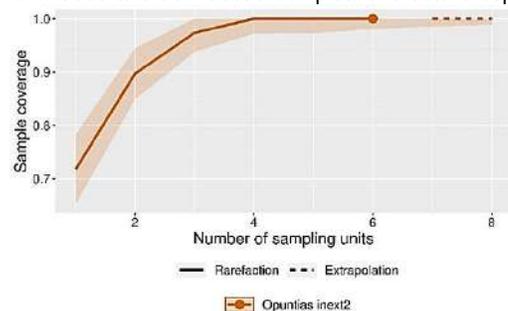


Figura 3. Cobertura de muestra completa al cuarto monitoreo.

Se perciben dos nomenclaturas en torno al manejo: “de cerro” o “casero”. *Opuntia ficus-indica* es la especie a la que se refieren por nombres comunes evocativos al manejo doméstico, al igual

que *O. joconostle*. Los nombres comunes registrados en la literatura, mencionados al solicitar la identificación son: chamacuero (*O. tomentosa*), hartón (*O. streptacantha*), xoconostle (*O.*

joconostle), tapón o camueso (*O. robusta*), perrito (*O. pubescens*) y cardón (*Cylindropuntia imbricata*).

Tabla1. Listado de especies de la subfamilia Opuntioideae del sitio de estudio, con los usos y nombres que los sabedores mencionaron. Entre paréntesis se indica el número de personas que conocieron cada especie.

Nombre científico	Nombre común		Parte empleada	Usos
	Sabedores	Literatura		
<i>Cylindropuntia imbricata</i> (38)	Cardón	Cardón	Fruto	Comestible
<i>Opuntia hyptiacantha</i> (33)	Hartón Aguamielero	Hartón	Tallo y fruto	Comestible, medicinal, ornamental, combustible y forrajero
<i>Opuntia joconostle</i> (36)	Xoconostle Joconostle Tunero De cerro Tuna Cenizo	Xoconostle	Tallo y fruto	Comestible, medicinal, ornamental, combustible y forrajero
<i>Opuntia lasiacantha</i> (30)	Hartón Limoncillo De cerro Casero Xoconostle Tuna Tuna amarilla Aguamielero	Tasajillo	Tallo y fruto	Comestible, medicinal, ornamental, combustible y forrajero
<i>Opuntia pubescens</i> (33)	Perrito Cactus	Perro	Tallo	Medicinal
<i>Opuntia robusta</i> (32)	Tapona Limoncillo Xoconostle Normal Hartón Camueso Pitaya Tuna Agria	Tapón	Tallo y fruto	Comestible, medicinal, ornamental y forrajero
<i>Opuntia streptacantha</i> (33)	Limoncillo Hartón Tuna roja Tuna De cerro Chinito Aguamielero	Cardon	Tallo, fruto y flores	Comestible, medicinal, ornamental, combustible y forrajero
<i>Opuntia tomentosa</i> (33)	Chamacuero Casero Pitaya Hartón De cerro Bueno Chino Limoncillo Cenizo Tuna	Duraznillo	Tallo y fruto	Comestible, medicinal, ornamental, combustible y forrajero

La segunda parte de la encuesta tuvo como intención examinar los nopales conocidos por ellos y exponerlos al reconocimiento de las especies de la zona mediante un catálogo. Cabe mencionar que los sabedores argumentaron reconocerlas, pero, desconocían los nombres de la literatura o los llamaban de formas diferentes. Cabe aclarar que a *C. imbricata* y a *O. pubescens* no se les reconoce como nopales, aunque si tienen algún uso (Tabla 1).

Discusión

La falta de estudios dirigidos a este taxón, que estén circunscritos a la zona de estudio, dificulta la comparación de resultados. Existen trabajos donde se contempla a la familia Cactaceae en general y muchos más en los que se abordan especies bajo alguna categoría de riesgo.

El género *Opuntia* requiere mayor atención, aunque las especies mencionadas no se encuentran amenazadas. Scheinvar (2011) en el proyecto “Especies silvestres de nopales mexicanos” reporta 39 especies herborizadas colectadas en el estado. Mientras que Zamudio (1992) en “La vegetación del estado de Querétaro” indica que en el matorral crasicaule del estado es frecuente observar poblaciones densas de *Opuntia streptacantha*, *O. leucotricha* y *O. hyptiacantha* y en un estrato menor a *O. cantabrigiensis* y a *Cylindropuntia imbricata*, reportando 5 especies para este tipo de vegetación. Y en 1994 se describe a *O. elizondoana* como una nueva especie de cactácea en el estado, lo cual conmina a profundizar estudios de este taxón en el estado.

Los métodos estadísticos implementados son reconocidos por ser robustos y poseen una base teórica fuerte, lo cual nos permite proponer este estudio para futuras sinergias y comparaciones, para este y otros taxones donde aún no se ha abundado lo suficiente. Al encontrar sólo cinco de los 20 usos reportados y sólo emplear tres órganos, en lugar de emplear toda la planta, es plausible que el conocimiento tradicional esté en un proceso de rezago, debido a los cambios poblacionales por la urbanización y migración de personas de otros estados. De la misma forma la falta de consenso

para nombrar a las especies nos orienta hacia el mismo fenómeno.

Conclusiones

Los saberes etnobotánicos en torno al “nopal” refieren a un complejo botánico de 7 especies del género *Opuntia* y una del género *Cylindropuntia*, los cuales son un elemento importante del matorral crasicaule, llegando a dominar en algunas zonas. La riqueza se estima mediante el Chao2 en 8 especies, y se inventariaron 8 especies; esto concuerda con la curva de acumulación de especies y se avala con la cobertura de Chao y Shen, para declarar que se realizó el inventario completo. Las poblaciones de *Opuntia* son más abundantes en las zonas serranas alejadas de las localidades, donde no hay impactos antrópicos, el mayor riesgo es su uso como combustible y la tala por la ganadería. Los sabedores refieren un consenso cultural en torno a la utilidad de los nopales principalmente para uso comestible, medicinal, ornamental, forrajero y combustible. Las partes de la planta utilizadas son los cladodios, el fruto y en menor medida la flor.

Referencias bibliográficas

- Carpio, A. (2023). *Etnobotánica para la restauración del matorral crasicaule de Santiago de Querétaro*. [Resumen de presentación] Novenas Cátedras del Semidesierto, Querétaro, México. IXCateSemidesierto.pdf (nthe.mx) <https://nthe.mx/detallesrev.php?id=73>
- Hernández O, J., Chávez M, R. y Sánchez M, E. (2007). *Factores de riesgo en las cactaceae amenazadas de una región semiárida en el sur del desierto chihuahuense, México*. Interciencia.
- Jiménez S, C. (2011). *Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan*. Revista digital universitaria UNAM.
- Sánchez M. E., Chávez M. R., Hernández O. J. y Hernández M. M. (2006). *Especies de Cactáceas prioritarias para la conservación en la zona árida Queretano-Hidalguense*. CONCYTEQ.
- Scheinvar, L., Olalde, G. y D. Sule. (2011). *Especies silvestres de nopales mexicanos*. Universidad Nacional. Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. GE005. México D.F.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (10 de octubre de 2016). *Cactáceas, riqueza natural de México*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/cactaceas-riqueza-natural-de-mexico>

Zamudio R, S., Rzedowski J., Carranza G, E. y Rzedowski Calderón, G. (1992). *La vegetación en el estado de Querétaro*. Querétaro, Querétaro. Instituto de Ecología. Centro Regional del Bajío.



CONCYTEO

CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEL ESTADO DE QUERÉTARO