

Memorias in Extenso



Directorio

PRESIDENTE

LIC. MAURICIO KURI GONZÁLEZ

VICEPRESIDENTE

DRA. MARTHA ELENA SOTO OBREGÓN

DIRECTOR GENERAL

DR. ENRIQUE RABELL GARCÍA

SECRETARIO

LIC. RENÉ MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS. Año 15, edición especial, junio 2024. *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: junio de 2024

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
LIC. MONSERRAT ACUÑA DELGADO

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

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

Consejo editorial

Investigadores nacionales

Dr. Alejandro Manzano Ramírez

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

Dr. Flora Mercader Trejo

Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Dr. Sergio Barrera Sánchez

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, campus Querétaro

Dr. Martha Cruz Soto

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dr. Gabriela Calderón Guerrero

Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Víctor Castaño Meneses

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

Dr. Rolando Salinas García

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

Dr. Miguel Martínez Madrid

Instituto Mexicano del Transporte, SCT

Dr. Daniel Hiernaux Nicolás

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Gabriel Corral Velázquez

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Salvador Echeverría Villagómez

Centro Nacional de Metrología

Dr. Alberto Traslosheros Michel

Universidad Aeronáutica en Querétaro

Dra. Alejandra Urbiola Solís

Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jöns Sánchez Aguilar

Instituto Tecnológico de Querétaro, Tecnológico Nacional de México

Dr. Octavio López Millán

Instituto Tecnológico de Hermosillo

Dra. Marcela Hernández Romo

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa

Mtra. Martha Díaz Muro

Instituto Tecnológico de Hermosillo, Tecnológico Nacional de México

Dr. Sergio Sandoval Godoy

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Sonora

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jorge Raúl Palacios Delgado

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dra. María Guadalupe Ordaz Cervantes

Universidad Autónoma de Querétaro

Mtra. Eva Leticia Ortiz Ávalos

Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Adriana del Carmen Gallegos Melgar

CONACYT - COMIMSA

Dra. Ana Isabel Moreno Calles

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

Dra. Olivia Solís Hernández

Universidad Autónoma de Querétaro

Externo

Dr. Víctor Hugo Muciño Quintero

Universidad de West Virginia, EUA



La revista electrónica *Nthe* es financiada en su totalidad por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro en el marco del presupuesto autorizado el día 27 de diciembre de 2023. (Publicado en el periódico oficial del estado de Querétaro, La Sombra de Arteaga).

Comentario *Nthe*

Presentamos a nuestros lectores la edición especial “Memorias in Extenso – IX Cátedras del Semidesierto”. En esta se recopilan los trabajos que desarrollan estudiantes de grado y posgrado en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta y en la Zona Semiárida Queretano-Hidalguense, y que año con año presentan en este foro, que se ha convertido en un sitio de encuentro de estudiosos e investigadores que comparten intereses en esta región.

En el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro sabemos de la importancia de transmitir el conocimiento científico a las nuevas generaciones con el objetivo de conservar los recursos botánicos del estado de Querétaro. Es por ello que se planteó esta edición especial con la intención de que la sociedad pueda tener acceso a estos trabajos realizados por estudiantes de grado y posgrado e investigadores , y así generar una mayor conciencia sobre la situación actual que vive en nuestro estado.

Exhorto al público en general a adentrarse en estos textos, explorarlos y extraer la esencia de cada artículo publicado, para posteriormente ser difusores de este conocimiento y así ser parte de la conservación de nuestro entorno.

Agradezco el trabajo realizado a lo largo de estos nueve años por el Jardín Botánico de Cadereyta, en particular a su director el Ing. Emiliano Sanchez Martínez y a todo su equipo de trabajo, a su vez quiero hacer un reconocimiento especial a la Biol. Beatriz Maruri Aguilar como coordinadora de esta recopilación de las memorias extendidas de las IX Cátedras del Semidesierto. A los autores les agradezco el compromiso y la dedicación en sus proyectos de investigación.

Espero que todos los trabajos que contiene esta nueva edición de la revista *Nthe* sean del interés de todos, y sobre todo provoquen una reflexión profunda en cada uno de nosotros.

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

El Jardín Botánico Regional de Cadereyta: un espacio de esperanza

PRESENTACIÓN

Las Cátedras del Semidesierto, desde su concepción, tuvieron siempre un germen vital orientado a constituir una fragua intelectual en la que los estudiantes, y otros investigadores, acrisolaran conocimiento y experiencia de campo con miras a desarrollar vías para el manejo de la biodiversidad vegetal del Semidesierto Queretano-Hidalguense, preponderantemente; pero también para toda la flora de Querétaro, tanto como la de México entero. Las imaginamos, hace casi ya 10 años, con nuestros leales socios académicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (Instituto de Ecología) y la Universidad Autónoma Metropolitana (División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Unidad Xochimilco): los doctores María del Carmen Mandujano Sánchez y Jordan Kyril Golubov.

Las primeras ediciones de este congreso, fundamentalmente constituido por los avances en las investigaciones de los estudiantes, contaron con la presencia de apenas un puñado de jóvenes investigadores, muy entusiastas. Los años han transcurrido, hemos concebido y ejecutado nueve versiones de las Cátedras del Semidesierto, entregado igual número de preseas de la Cátedra de Mármol (otorgada al trabajo de investigación más distinguido); y, principalmente, los estudiantes han fortalecido su oficio profesional, producido tesis y alcanzado grados de licenciatura, maestría y doctorado.

Considero que hemos alumbrado un manantial de saberes, con un cauce plétórico de meandros: ramblas de inteligencia que van construyendo una gran cuenca de conocimiento. Se trata de un discernimiento con información de calidad que va reduciendo la incertidumbre y, consecuentemente, perfeccionando la teoría operativa con la que se deben manejar y conservar los bienes de la biodiversidad. ¡Todo esto acrecienta el valor del Jardín Botánico Regional de Cadereyta (CONCYTEQ) como un espacio de esperanza donde se protege la vida!

Simultáneamente, estos dos lustros han llevado a la humanidad a la exacerbación de la incredulidad y, quizás, en ciertos terrenos, a frenesíes producidos por "verdades" fragmentarias, marcescibles y fugaces. La conservación de la Naturaleza, a pesar de las múltiples estrategias imperativas a nivel global, nacional y subnacional, resultó exigua. Las metas previstas para el 2020 no se cumplieron. De ahí que, allende de los denodados esfuerzos ya desplegados, los gobiernos y la sociedad están conminados a alinear más su pensamiento y acciones para sincronizarse con la vibración de la biósfera.

Se requerirá, entonces, más y mejor conocimiento para custodiar integralmente nuestros territorios. Saber ensamblado localmente y apoyado con el ineluctable criterio de la proporcionalidad y la subsidiariedad. Es decir, conocimiento apropiado y ejercido socialmente.

Actuando con este afán, el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, a través del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, desea comunicar la experiencia de las Cátedras del Semidesierto a toda la sociedad. Recurre a su órgano de difusión por antonomasia: la revista Nthe.

Auguramos que con este nuevo recurso, plantas y gente se vincularán en un gran relato que nos hará progresar al ambiente saludable, sostenible, rico en biodiversidad, al que aspiramos, donde se inflama el propósito último de las Cátedras del Semidesierto.

Emiliano Sánchez Martínez, Director
Jardín Botánico Regional de Cadereyta

Nueve años de Cátedras del Semidesierto

Las Cátedras del Semidesierto constituyen un proyecto de difusión de la ciencia y de intercambio académico original y sumamente novedoso. Hace nueve años fueron diseñadas con el primer objetivo de informar a los interesados, al personal Jardín Botánico Regional de Cadereyta y a los habitantes del poblado del mismo nombre sobre cuáles son las actividades de investigación que realizamos el profesorado, personas investigadoras y estudiantes en la zona queretano-hidalguense. De esta forma, a través de estos años se han mostrado los hallazgos científicos como beneficios tangibles que la ciencia puede brindar para entender los retos de conservación y uso de las especies de esta región. Asimismo, cómo responder con posibles soluciones para mitigar la pérdida de la biodiversidad o proveer recomendaciones prácticas de manejo de especies amenazadas, especies de uso mágico-religioso, para el control de especies plaga o exóticas invasoras, y para forestar con especies nativas. Transmitiendo el conocimiento científico generado a los usuarios y propietarios del recurso se ha logrado fomentar el apego a la flora y fauna nativas, y la importancia de preservar la cobertura vegetal.

Las Cátedras del Semidesierto han transitado a un congreso multiactor en donde se comparten ideas entre los estudiosos, productores, artistas, gobierno y academia, es un evento gratuito, abierto al público y transmitido y disponible en internet —inicialmente por las limitaciones de interacción impuestas por la pandemia— transformando este esfuerzo continuo con el fin de alcanzar mayores audiencias, habilitando con ello también un acervo en internet. En esta ocasión el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, con el apoyo del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, ha invitado a los participantes de las novenas Cátedras del Semidesierto a compartir los resultados de sus investigaciones con un público amplio, publicando en la revista *Nthe*, su órgano de difusión de la ciencia.

Seguramente este acercamiento será un paso para brindar un panorama de las bondades plausibles cuando se establecen puentes entre diversos sectores de la sociedad con el fin de canalizar el conocimiento científico para mantener la biodiversidad. Por fortuna, ahora implica el resguardo permanente de los avances de investigación que compartieron los participantes de las Cátedras del Semidesierto en esta ocasión, y sin duda, una semilla para su continuidad en el futuro.

Dra. María C. Mandujano
Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
“Por mi raza hablará el espíritu”
Ciudad de México, México.

Una muestra del papel indispensable de los Jardines Botánicos

Ya a una década de cuando se concibieron, las Cátedras del Semidesierto auspiciadas por el Jardín Botánico Regional de Cadereyta se convierten en el reflejo de las necesidades de un país en donde el deterioro ambiental es visible en todas sus aristas: pérdida de diversidad y hábitat, especies invasoras, sobre explotación y los problemas asociados al cambio climático. Por un lado, se exponen las necesidades de conocer los detalles del ciclo de vida de las especies de los desiertos mexicanos con la descripción de las diversas interacciones ecológicas y por el otro, muestran los estragos de la pérdida de especies y las consecuencias incipientes de los que “no están”. Las especies exóticas invasoras empiezan a tener más presencia, a raíz de la investigación que se hace dentro del jardín botánico y con miras a documentar las posibles formas de su control y manejo. Los temas de uso de flora y su comercialización hacia la sustentabilidad, con miras en la restauración ecológica se convierten en el nuevo paradigma de la conservación de los recursos. Esta serie de presentaciones ya son parte de los instrumentos que vamos a usar en un futuro no muy lejano, en donde cómo usamos y manejamos nuestro entorno nos hace partícipes y corresponsables de su conservación a largo plazo.

El Jardín Botánico Regional de Cadereyta, a pesar de años complicados, es un espacio en donde la investigación, la docencia y la difusión de la cultura son posibles. Los ejemplos de los trabajos presentados son una muestra de resiliencia y necesidad imperante de seguir generando conocimiento. Si bien la Estrategia Mexicana de Conservación Vegetal pone énfasis en el papel central de los Jardines Botánicos en su ejecución, creo que se queda corta, las actividades que desempeñan tocan muchos otros elementos necesarios para el bienestar humano.

La publicación de los trabajos dentro de Nthé en un formato de difusión impreso es una forma más en la que el conocimiento se difunde y trata de llegar al mayor número de personas posible.

Jordan Golubov
Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco

ÍNDICE

Uso y comercio sustentable de flora silvestre mexicana: CITES y CBD

Hesiquio Benítez Díaz
Gabriela López Segurajáuregui
Sol Guerrero Ortiz
Jaqueline J. Noguez Lugo
Autoridad Científica CITES de México,
Comisión Nacional para el Conocimiento y
Uso de la Biodiversidad (CONABIO)

1

Flujo de polen en una población de peyote queretano con dimorfismo floral

José Manuel Matías Cruz
María Isabel Briseño Sánchez
María C. Mandujano
Laboratorio de Genética y Ecología,
Departamento Ecología de la Biodiversidad,
Instituto de Ecología, Universidad Nacional
Autónoma de México

7

Proporción sexual y vecindario reproductivo de un nopal dioico

Yucel Y. Varela Trujillo
María C. Mandujano
Facultad de Ciencias e Instituto de Ecología,
Universidad Nacional Autónoma de México

11

Coloreando la flor del Nopal Cardón (*Opuntia streptacantha* Lem.)

Gerardo Manzanarez Villasana
María C. Mandujano
Instituto de Ecología, Universidad Nacional
Autónoma de México
Posgrado en Ciencias Biológicas de la
Universidad Nacional Autónoma de México

15

Redes de interacción entre cactus y polinizadores en el semidesierto queretano

Pactli Fernando Ortega González
María C. Mandujano
Instituto de Ecología, Universidad Nacional
Autónoma de México

18

Interacción flor-cucaracha en especies del género *Opuntia* (Cactaceae)

Diana Cárdenas Ramos
María C. Mandujano
Julio C. Estrada Álvarez
Carlo G.H. Sormani
Laboratorio de Genética y Ecología,
Departamento de Ecología de la
Biodiversidad, Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
Museo Universitario de Historia Natural Dr.
Manuel M. Villada, UAEMex
Entomological Research, A. C.
Meteppec, Estado de México
Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz

22

Efecto de la variación climática en una especie de cactácea rara

Tania Fernández Muñiz
María C. Mandujano
Instituto de Ecología, Departamento de
Ecología de la Biodiversidad, Laboratorio de
Genética y Ecología, Universidad Nacional
Autónoma de México
Posgrado en Ciencias Biológicas,
Universidad Nacional Autónoma de México

25

Reseña de “El Ocotillo” (*Fouquieria splendens*), una nodriza de Mapimí, México

David Brailovsky Signoret
Laboratorio de Cactología, Instituto de
Biología, Universidad Nacional Autónoma de
México

29

Redes de polinización e interferencia de una planta exótica invasora

Andrés Pereira Guaqueta
María C. Mandujano
Laboratorio de Genética y Ecología, Instituto
de Ecología, Universidad Nacional
Autónoma de México

34

ÍNDICE

Fenología, biología reproductiva y control de *Kalanchoe delagoensis*

Karen A. Ortega y Ramírez
María C. Mandujano
Facultad de Ciencias e Instituto de Ecología,
Universidad Nacional Autónoma de México

38

Myrtillocactus geometrizans, ¿una de las posibles especies para la restauración ecológica?

Vanesa Palma Suárez
Mariana Cano Rodríguez
María C. Mandujano
Facultad de Ciencias y Instituto de Ecología,
Universidad Nacional Autónoma de México

44

Pruebas pregerminativas en las especies del género *Agave* (Asparagaceae) en Cadereyta, Querétaro

Alisa Vega Zamorano
Luis Hernández Sandoval
Rosalinda González Santos
Facultad de Ciencias Naturales, Universidad
Autónoma de Querétaro

49

El Semidesierto Queretano en el proyecto del Geoparque Mundial UNESCO Triángulo Sagrado

Gerardo J. Aguirre Díaz
Franco Pielli Espinosa
Centro de Geociencias, Campus UNAM-
Juriquilla-Querétaro
Unidad Multidisciplinaria de Docencia e
Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM-
Juriquilla-Querétaro

54

Abejas silvestres de un remanente de vegetación nativa de Querétaro

Oliva Segura
Juan Fermín Nolasco Reveles
Ismael Hinojosa Díaz
Mónica Elisa Queijeiro Bolaños
Israel Carrillo Ángeles
Alejandro Cabrera Luna
Facultad de Ciencias Naturales de la
Universidad Autónoma de Querétaro
Instituto de Biología de la Universidad
Nacional Autónoma de México

59

Etnobotánica para la restauración del matorral crasicaule de Santiago de Querétaro

Aarón Misael Carpio Dávila
Planta Broquers Ambiental Querétaro

63

Diversidad de especies en las agrosilviculturas del norte árido de México

Araceli del Carmen Andablo Reyes
Ana Isabel Moreno Calles
Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias
y Tecnologías (CONAHCYT)
Escuela Nacional de Estudios Superiores
(ENES), Universidad Nacional Autónoma de
México (UNAM) *Campus* Morelia

68

Plantas nativas y medicinales de la región Lerma Bajío: un patrimonio biocultural

Angélica Navidad Morales Figueroa

73

Sustentabilidad: una propuesta para hacer tangible el concepto

Israel G. Carrillo Angeles
Francisco Josué López Martínez
Mónica Elisa Queijeiro Bolaños
Mónica Cervantes Jiménez
Guadalupe Xóchitl Malda Barrera
Facultad de Ciencias Naturales de la
Universidad Autónoma de Querétaro campus
Juriquilla

77

Inspiración STEAM para complementar el Programa de Educación Ambiental del Jardín Botánico Regional de Cadereyta

Beatriz Maruri Aguilar
Yazmin Hailen Ugalde de la Cruz
María Magdalena Hernández Martínez
Emiliano Sánchez Martínez
Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing.
Manuel González de Cosío”, Consejo de
Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

86

Uso y comercio sustentable de flora silvestre mexicana: CITES y CBD

Hesiquio Benítez Díaz¹, Gabriela López Segurajáuregui^{1*}, Sol Guerrero Ortiz¹, Jaqueline J. Noguez Lugo¹.

¹ Autoridad Científica CITES de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

*ac-cites@conabio.gob.mx

Resumen

La Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD), son Acuerdos Multilaterales Ambientales que fomentan la conservación, uso sustentable y comercio legal y trazable de la flora. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) desempeña varias funciones técnico-científicas para apoyar su implementación nacional mediante la colaboración, generación e intercambio de información y Opiniones Técnicas (OT) con expertos del sector académico y otros actores clave para contar con la mejor información científica en la toma de decisiones. La CITES regula el comercio internacional de casi 2,000 especies de plantas mexicanas, para las que se requieren Dictámenes de Extracción no Perjudicial (NDF) para su exportación. En cuanto al CBD, CONABIO coordinó la Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal (EMCV).

Palabras clave: Acuerdos Multilaterales Ambientales, aprovechamiento sustentable, conservación vegetal, jardines botánicos.

Abstract

The national implementation of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) and the Convention on Biological Diversity (CBD) has generated tools and actions for the conservation, sustainable and legal use, and traceable trade of the Mexican flora. The National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO) performs several technical-scientific functions for said implementation that involve collaboration, generation, and exchange of information with experts from the academic sector. CITES regulates international trade in almost 2,000 species of Mexican plants, for which Non-Detriment Findings (NDF) and Technical Opinions (OT) are issued for the export and use of CITES species. Regarding CBD, Mexico published the Mexican Strategy for Plant Conservation (EMCV). It is essential to strengthen collaboration between researchers and authorities to have the best scientific information for decision-making.

Keywords: Multilateral Environmental Agreements, sustainable harvest, plant conservation, botanical gardens.

Importancia para la conservación

Uso sustentable, necesario para conservar. La implementación nacional de la CITES y el CBD, promueve el uso sustentable y el comercio legal y trazable como detonadores del desarrollo sustentable e incentivos económicos para la conservación de la flora silvestre mexicana, utilizando la mejor información científica disponible en la toma de decisiones. Mantener y fortalecer la colaboración entre investigadores, expertos, autoridades y pueblos indígenas y comunidades locales es esencial.

Introducción

La CITES vela por que el comercio internacional no constituya una amenaza para la supervivencia de las especies (CITES, 2023a), donde México es Parte desde 1991. Los 3 objetivos del CBD son: la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios resultantes de la utilización de recursos genéticos (CBD, 2012). México es Parte del CBD desde 1992.

Los Apéndices de la CITES incluyen más de 34,000 especies de flora (CITES, 2023b), y las Resoluciones (Res.) y Decisiones (Dec.) guían su implementación. La Estrategia Global de Conservación Vegetal (GSPC; CBD, 2023) del CBD enmarca acciones para comprender, conservar y utilizar de manera sostenible la diversidad mundial de especies vegetales.

La CONABIO, como Autoridad Científica CITES de México (AC-CITES), busca que el comercio internacional de las especies CITES se regule utilizando la mejor evidencia científica y técnica disponible, a fin de asegurar su conservación y uso sustentable (CONABIO, 2023a). Para ello, emite NDF para la exportación y OT previas al aprovechamiento de especies CITES, coordina proyectos y elabora materiales de identificación y difusión, entre otras funciones. Desde 1992, la CONABIO fue designada como Punto Focal Nacional para el seguimiento técnico-científico al CBD (CONABIO, 2021 y 2023b). La labor de CONABIO, para ambos acuerdos, requiere la colaboración con especialistas de diversos sectores, particularmente del académico, que complementa las bases para tomar decisiones informadas.

Método

Se describen generalidades de CITES y CBD en relación con la conservación, uso y comercio sustentables de flora silvestre mexicana. Se presenta información sobre las especies mexicanas listadas en los Apéndices CITES y sus niveles de comercio. Se describen acciones realizadas por la CONABIO y otros actores clave en cumplimiento de estos acuerdos para atender las necesidades de las especies vegetales. Finalmente, se discuten los problemas que enfrentan

y las oportunidades de mejora y colaboración, particularmente con el sector académico.

Resultados

Implementación de CITES

La CITES regula 1,898 especies de plantas mexicanas: 72 en el Apéndice I (especies en peligro que son o pueden ser afectadas por el comercio internacional; sólo se comercian bajo circunstancias excepcionales) y 1,826 en el Apéndice II (especies no necesariamente amenazadas; el comercio debe controlarse para evitar un uso incompatible con su supervivencia o especies similares a otras listadas; CITES, 2023b). La mayoría de especies vegetales en el Apéndice II presentan anotaciones (CITES, 2018) que especifican el tipo de productos regulados o exentos de las disposiciones de la CITES.

Según la Base de datos sobre el comercio CITES (UNEP-WCMC, 2023), entre 2010 y 2022 México registró 4,573 eventos de exportación de flora: Orchidaceae representó el 74% con más de 200 especies; la especie con más eventos es la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) con 250; el código de origen más utilizado fue "A" = reproducción artificial (76%); el propósito más común fue "T" = fines comerciales (87%) y los especímenes más registrados fueron "vivos" (70%). Los países que más importan flora desde México son: Alemania, Estados Unidos y Rusia.

En el mismo periodo, México registró 1,249 eventos de importación de flora: Orchidaceae representó el 22%, seguida por Cactaceae y Leguminosae (32% en conjunto); el código de origen más utilizado fue "W" = medio silvestre (41%); el propósito más común también fue "T" (77%) y los especímenes más registrados fueron "vivos" (22%). Los principales países de los que México importa flora son: Estados Unidos, Francia y Tailandia.

Los NDF son la base técnica para asegurar que el aprovechamiento y comercio internacional es sustentable y son un prerrequisito para la emisión de Permisos CITES según la Res. Conf. 16.7 (Rev. CoP17; CITES, 2016). De 2014 a mediados de 2023, la AC-CITES emitió 1,966 NDF para flora, principalmente candelilla (71%) y colabora con autoridades y técnicos forestales para la emisión de

OT previas a la autorización de los aprovechamientos, considerándose como un pre-NDF a solicitud de las autoridades de gestión. Consisten en la evaluación de información que justifica el aprovechamiento de las especies del medio silvestre en los Estudios Técnicos (ET) o Programas de Manejo (PM) de un predio o Unidad de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA). En el mismo periodo, la AC-CITES emitió 520 OT, 89% para candelilla.

La AC-CITES elaboró los siguientes materiales de apoyo que orientan sobre la información básica de la especie y el predio, métodos de muestreo, datos de campo, volumen de aprovechamiento y manejo de la especie, así como recomendaciones para la entrega de dicha información en los ET y PM: Guía de caoba (CONABIO, 2019a) y Guía de candelilla (CONABIO, 2022).

La Res. Conf. 14.8 (Rev. CoP19; CITES, 2022) indica el procedimiento (examen periódico) para evaluar cada 10 años las especies y determinar si están listadas en el Apéndice correcto de acuerdo con su estado de conservación y niveles de comercio internacional. México ha elaborado y presentado 17 revisiones periódicas que derivaron en propuestas exitosas para eliminar a *Pereskiaopsis* spp., *Pereskia lychnidiflora* y *Tillandsia mauriana* de los Apéndices, principalmente por sus bajos o nulos niveles de comercio internacional. Por otro lado, las revisiones de *Sclerocactus* spp., *Agave victoriae-reginae* (ambas en Ap. II), *Ceratozamia hildae* y *Ariocarpus retusus* (ambas en Ap. I), determinaron que se encuentran correctamente listadas.

La Res. Conf. 9.24 (Rev. CoP17; CITES, 2016) indica los criterios que las especies deben cumplir para considerar su inclusión en los Apéndices. México ha sometido 35 propuestas de enmienda para incluir, excluir o transferir especies mexicanas (32 adoptadas), 19 respaldadas o complementadas por proyectos y estudios realizados por la AC-CITES en conjunto con investigadores (3 para flora – *Beaucarnea* spp., *Dalbergia* spp., *Yucca queretaroensis*).

La Res. Conf. 9.19 (Rev. CoP15; CITES, 2010) indica cómo registrar viveros que reproducen artificialmente especies del Apéndice I con fines de exportación, demostrando la legal procedencia de su plantel parental. Desafortunadamente, México no

cuenta con viveros registrados y el país con más registros es la India (91). Existen viveros registrados en Alemania, Italia y República Checa que exportan especies mexicanas, principalmente cactáceas (*Ariocarpus* spp. y *Turbiniacarpus* spp.).

Por iniciativa de México, la CITES adoptó en 2004 la Res. Conf. 13.9 (CITES, 2004) para que instalaciones de producción *ex situ* de especies del Apéndice I, apoyen acciones de conservación *in situ*. Sin embargo, no existen informes sobre su implementación. Como ejemplo de esta situación, aunque México es el país con mayor riqueza de cactáceas (casi 80% endémicas), dominan las transacciones de plantas reproducidas artificialmente con fines comerciales desde países fuera del área de distribución natural, que no generan incentivos para la conservación en el país de origen (Hernández-Rosas, 2017).

La Res. Conf. 11.15 (Rev. CoP18; CITES, 2019) orienta a las instituciones científicas para registrarse y tener facilidades (exenciones) para préstamos, donaciones e intercambios no comerciales de especímenes de museo, herbario, diagnóstico e investigación forense. De las 13 instituciones mexicanas registradas, 8 son herbarios que se encuentran en Coahuila, Guanajuato, Chiapas, Ciudad de México (2), Veracruz, Yucatán y Durango.

Implementación de la GSPC del CBD

En 2012 México publicó la EMCV como una hoja de ruta para orientar las acciones de conocimiento, conservación y uso de la diversidad vegetal, conjugando de manera equilibrada los componentes ambiental, social y económico para un desarrollo sustentable. Se conformó un Comité coordinador para la implementación de sus acciones y metas que sesionó de 2014 a 2017 y publicó 3 reportes de actividades. También destacan dos Simposios Mexicanos de Restauración Ecológica, dos publicaciones sobre restauración de los ecosistemas (Méndez *et al.*, 2018) y un diagnóstico sobre sistemas productivos. En 2019 el Sexto Informe Nacional de México ante el CBD, reporta avances en la implementación de 10 de las 16 metas establecidas en la GSPC (CONABIO, 2019b). Además, la CONABIO publicó en 2012, en coordinación con la Asociación Mexicana de Jardines botánicos (AMJB),

la obra “*Jardines Botánicos: contribución a la conservación vegetal de México*” (Caballero, 2012), en donde se describen las principales actividades que realizan y apoyan al cumplimiento de las metas de la GSPC, listados, cifras y categorías de riesgo para especies que integran sus colecciones (más de 500 listadas en CITES). Posteriormente integró un portal web que se actualiza periódicamente (CONABIO, 2023c).

Discusión

CITES

Queda mucho por hacer para contar con la información necesaria en cantidad y calidad que sustente adecuadamente los procedimientos para emitir NDF y OT confiables. La estrecha colaboración con la academia es clave para llenar vacíos de información sobre especies, poblaciones y ecosistemas para promover su conservación a través del uso sustentable y que el comercio internacional no sea perjudicial para sus poblaciones silvestres. En algunos casos es pertinente aplicar el principio precautorio (Res. Conf. 9.24 Rev. CoP17, párrafo 2) si la información es escasa y el nivel de confianza es bajo.

Es necesario un enfoque multidisciplinario entre expertos, productores, comercializadores, inversionistas y gobierno para garantizar que la conservación y uso sustentable de las especies silvestres de interés comercial ofrezcan nuevas oportunidades de desarrollo en el país, especialmente en zonas rurales. Al generar beneficios para los diferentes actores de las cadenas productivas, se promueve el interés colectivo por mantener las poblaciones en buen estado y evitar el comercio ilegal.

Si bien se han incluido taxa superiores como orquídeas, cactáceas y cícadas previo a la adopción de criterios de inclusión en 1994 (Res. Conf. 9.24 (Rev. CoP17), se recomienda que las inclusiones sean por especie. Sin embargo, en 2022 se incluyeron 7 géneros con más de 200 especies, argumentando dificultad para distinguirlas entre sí, aun cuando algunas no tienen comercio internacional. En muchos casos, su inclusión no mejorará su conservación, sobre todo si están amenazadas por factores distintos

al comercio internacional (como pérdida del hábitat), incurriendo en una sobrerregulación que puede generar desafíos en la implementación (aplicación de la ley) e impactos negativos en los medios de subsistencia de pueblos indígenas y comunidades locales (Cooney *et al.*, 2021).

Un proceso de inclusión de especies eficiente y adecuado requiere promover el balance entre el listado de especies por principio precautorio (cuando hay incertidumbre) y los posibles impactos sobre los usuarios del recurso. Además, para listados recientes, se necesitarán asesorías de expertos y proyectos específicos para compilar la información mínima necesaria para tomar decisiones de manejo y aprovechamiento (NDF/OT). Esto debe acompañarse de materiales de identificación (ejemplares, partes y derivados) y asesoría para que los oficiales de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y de aduanas puedan hacer las verificaciones correspondientes.

Es primordial fomentar que las instalaciones que reproducen artificialmente especies incluidas en el Apéndice I en nuestro país se registren para exportar especímenes de manera sustentable, legal y trazable. La reproducción artificial puede ser una alternativa económica y aumentar el interés por su conservación *in situ*, así como reducir la presión de la recolección del medio silvestre teniendo un efecto positivo sobre su estado de conservación (Hernández-Rosas, 2017). También se debe impulsar que otros países registren sus viveros y cooperen con los países de origen para incentivar acciones de conservación *in situ* y prevenir el lavado de especímenes (comercio ilícito). México tiene el potencial ser el principal productor legal de cactáceas, generando beneficios a las comunidades que favorezcan la conservación dentro del país.

Se requiere mayor difusión y promoción del registro de instituciones científicas que puedan beneficiarse de la exención para el intercambio de especímenes, así como alentarlas a realizar inventarios de sus colecciones, y poner esta información a disposición de otras Partes y de la academia.

CBD

Las Decisiones 15/5 y 15/13 adoptadas en 2022 (CBD, 2022) invitan a la Alianza Mundial para la Conservación de las Especies Vegetales a preparar un conjunto de acciones complementarias a la GSPC para apoyar la implementación del Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal (MMBKM). Las acciones propuestas están divididas en 3 grupos: 1) Reducir las amenazas a la biodiversidad, 2) Satisfacer las necesidades de las personas mediante el uso sostenible y la distribución de beneficios, y 3) Herramientas y soluciones para la implementación y la integración. Una vez adoptada la actualización de la GSPC por el CBD, la CITES revisará si es necesario actualizar y adaptar la Res. Conf. 16.5 (CITES, 2013) sobre cooperación con dicha estrategia. En consecuencia, México también deberá realizar una alineación de la EMCV.

Conclusiones

El uso sustentable de la flora y su comercio legal y trazable son clave para la conservación y generan beneficios para los diversos actores de las cadenas productivas, además de ayudar a prevenir el comercio ilegal. La cooperación internacional y la implementación nacional de CITES y CBD apoyan este esquema al promover la colaboración interinstitucional e intersectorial para desarrollar proyectos de investigación, promover mejores prácticas de manejo, sistematizar información, crear capacidades y generar materiales y herramientas de identificación.

México ha realizado aportaciones técnico-científicas importantes en ambos acuerdos multilaterales derivadas del trabajo cercano con el sector académico (p.e. NDF/OT, integración de la biodiversidad en sectores productivos). Sigue siendo indispensable mantener y fortalecer la colaboración entre expertos y autoridades para contar con la mejor información científica disponible para la toma de decisiones (p.e. atender vacíos de información para la emisión de NDF/OT, evaluar metas/indicadores del MMBKM, aplicación de la ley, apoyar la cooperación *ex situ-in situ*, etc.). En este contexto, algunas de las líneas de trabajo conjunto entre la AC-CITES y diversos aliados en el corto y mediano plazo son:

- Consolidar grupos de asesores expertos.
- Desarrollar proyectos sobre especies (biología, poblaciones, manejo).
- Generar materiales de identificación.
- Proveer asesoría/capacitación a oficiales de PROFEPA/Aduanas.
- Diseño y evaluación de indicadores.

Referencias bibliográficas

- Caballero, N.J. (coord.). (2012). *Jardines botánicos: contribución a la conservación vegetal de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México
- CBD. (2012). *Introducción al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB)*. Disponible en: <https://www.cbd.int/intro/>
- CBD. (2022). *Decisión adoptada por la 15ª Conferencia de las Partes*. Disponible en: <https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-15>
- CBD. (2023). *Estrategia Mundial para la Conservación de las Especies Vegetales*. Disponible en: <https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-15>
- CITES. (2004). *Resolución 13.9. Fomento de la cooperación entre las Partes con establecimientos de cría ex situ y las Partes con programas de conservación in situ*. Disponible en: <https://cites.org/sites/default/files/documents/COP/19/resolution/S-Res-13-09.pdf>
- CITES. (2010). *Resolución Conf. 9.19 (Rev. CoP13). Registro de viveros que reproducen artificialmente especímenes de especies de flora incluidas en el Apéndice I con fines de exportación*. Disponible en: <https://cites.org/sites/default/files/documents/COP/19/resolution/S-Res-09-19-R15.pdf>
- CITES. (2013). *Resolución 16.5. Cooperación con la Estrategia Mundial para la Conservación de las especies vegetales del Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Disponible en: <https://cites.org/sites/default/files/documents/COP/19/resolution/S-Res-16-05.pdf>
- CITES. (2016). *Resolución 9.24. (Rev. CoP17). Criterios para enmendar los Apéndices I y II*. Disponible en: <https://cites.org/sites/default/files/documents/COP/19/resolution/S-Res-09-24-R17.pdf>
- CITES. (2016). *Resolución 16.7. (Rev. CoP17). Dictámenes de extracción no perjudicial*. Disponible en: <https://cites.org/sites/default/files/documents/COP/19/resolution/S-Res-16-07-R17.pdf>
- CITES. (2018). *Manual ilustrado de anotaciones de plantas en los Apéndices CITES*. Texto de la convención. Disponible en: <https://cites.org/sites/default/files/eng/com/pc/24/Inf/E-PC24-Inf-02.pdf>
- CITES. (2019). *Resolución 11.15. (Rev. CoP18). Préstamos, donaciones e intercambios no comerciales de especímenes de museo, herbario, diagnóstico e investigación forense*. Disponible en:

- <https://cites.org/sites/default/files/documents/COP/19/resolution/S-Res-11-15-R18.pdf>.
- CITES. (2022). *Resolución 14.8. (Rev. CoP19). Examen periódico de especies incluidas en los Apéndices I y II*. Disponible en: <https://cites.org/sites/default/files/documents/COP/19/resolution/S-Res-14-08-R19.pdf>.
- CITES. (2023a). *¿Qué es la CITES?* Disponible en: <https://cites.org/esp/disc/what.php>
- CITES. (2023b). *Apéndices CITES*. Disponible en: <https://cites.org/esp/app/appendices.php>.
- CONABIO. (2019a). *Guía informativa para el manejo y aprovechamiento sustentable de caoba en el marco de las disposiciones de la CITES*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/cites/publicaciones>
- CONABIO. (2019b). *Sexto informe Nacional de México ante el convenio sobre la diversidad biológica*.
- CONABIO. (2021). *Implementación en México. Convenio de Diversidad Biológica. Biodiversidad Mexicana*. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/implementacion_cbd_mex.
- CONABIO. (2022). *Guía informativa para la elaboración de estudios técnicos de aprovechamiento sustentable de candelilla en el marco de las disposiciones de la CITES*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/cites/publicaciones>
- CONABIO. (2023a). *Autoridad Científica CITES de México*. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/cites/autoridad_cientifica
- CONABIO. (2023b). *El CBD y la CONABIO*. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/cbd>
- CONABIO. (2023c). *Jardines Botánicos: contribución a la conservación vegetal de México*. Consultado el 2023 en <https://dgcii.conabio.gob.mx/jardines-botanicos/>
- Cooney, R., Challender, D. W., Broad, S., Roe, D., & Natusch, D. J. (2021). Think before you act: Improving the conservation outcomes of CITES listing decisions. *Front. in Ecol. and Evol.* 9:236.
- Hernández-Rosas, L. (2017). *Comercio internacional de cactáceas mexicanas: estudio de caso de las especies descritas recientemente*. Tesis para Master en conservación de especies en comercio. Universidad Internacional de Andalucía.
- Méndez-Toribio M, Martínez-Garza C, Ceccon E y Guariguata MR. (2018). *La restauración de ecosistemas terrestres en México: Estado actual, necesidades y oportunidades*. Documentos Ocasionales 185. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- UNEP-WCMC. (2023). *Base de Datos sobre el Comercio CITES*. Disponible en: https://trade.cites.org/en/cites_trade/.

Flujo de polen en una población de peyote queretano con dimorfismo floral

José Manuel Matías-Cruz^{1*}, María Isabel Briseño-Sánchez¹, María C. Mandujano^{1**}

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

*manuelmatias@ciencias.unam.mx

**mcmandujano@ieciologia.unam.mx

Resumen

El flujo de polen forma parte importante del intercambio genético en las poblaciones de cactáceas. En el peyote queretano, este intercambio es facilitado por insectos. En poblaciones con dimorfismo floral, diferencias en el color de las flores podrían limitar el intercambio de polen entre plantas. El objetivo fue determinar las diferencias en la cantidad de polen depositado en flores de diferente color y entre flores del mismo color, y conocer las distancias a las cuales viaja. El estudio fue realizado en el municipio de Peñamiller, Querétaro. Se seleccionaron plantas focales para cada morfo (blancas y rosas) y se colocaron polvos fluorescentes en las anteras (análogos de polen). Cuatro horas después se observó la presencia de polvo fluorescentes en las flores abiertas en un radio de 30 m. Se registró el flujo de polen entre flores del mismo color y entre flores blancas y rosas. No hubo diferencias entre la cantidad de polvo depositado entre las flores. El flujo de polen en *Lophophora diffusa* presentó una distancia inferior a la mínima registrada para angiospermas con polinización facilitada por insectos, lo que podría representar un problema para el intercambio genético.

Palabras clave: Polvos fluorescentes, vectores bióticos, polinización, color de la flor, cactáceas.

Abstract

Pollen transport is an essential part of genetic exchange in cacti populations. In *Lophophora diffusa*, this exchange is facilitated by insects that usually travel between the flowers. In populations with floral dimorphism, differences in flower color could limit pollen exchange between plants. This work aimed to determine the differences in the amount of inter-morph and intra-morph pollen deposited and indicate the distances the pollen travels. The study was carried out in Peñamiller, Querétaro, México. Different focal plants were selected for each morph (white and pink). Then fluorescent dyes were placed on their anthers, and four hours later, this pollen was discovered on plants with open flowers within a 30 m radius. Pollen flow was recorded both between flowers of the same color and between white and pink flowers. No differences were found in the amount of deposited pollen between morphs and within the same morph. Pollen flow in *Lophophora diffusa* presented a distance shorter than the minimum recorded for angiosperms with insect-facilitated pollination, which could represent a problem for genetic exchange.

Keywords: Fluorescent dyes, biotic vectors, pollination, flower color, cacti.

Importancia para la conservación

El estudio permitió entender la dinámica del flujo de polen en poblaciones con dimorfismo floral de color, además nos brindan información importante para generar estrategias de conservación del peyote queretano (*Lophophora diffusa*) y otras cactáceas, en escenarios donde el flujo de polen depende de los insectos y se da de manera limitada.

Introducción

Parte importante del flujo genético en angiospermas está dado por el movimiento de polen de un lugar a otro. El flujo de polen puede darse, por ejemplo, dentro de una misma flor, entre flores de un mismo individuo, o entre flores de individuos diferentes; y puede depender de factores como las formas de dispersión, el tiempo de viabilidad y la distancia de dispersión. Además, puede verse limitado por factores como la incompatibilidad y los rasgos de las flores como el tamaño y el color (Oleas 2014). Ecológicamente, la variación del color en las flores es uno de los rasgos que ha favorecido la evolución convergente entre angiospermas y polinizadores eficientes, por lo que, la morfología actual de las flores es producto de su historia evolutiva con un grupo particular de polinizadores (Levin y Krester 1969, Primack y Silander 1975). La variación del color en las flores dentro de una misma población podría limitar el flujo de polen entre plantas; y, si hay preferencia por parte de los polinizadores hacia el color de alguno de los morfos se podría favorecer la permanencia de un morfo y la extinción del otro.

Lophophora diffusa (Cactaceae) posee dos morfos florales de color (flores rosas y flores blancas) coexistiendo dentro de sus poblaciones. El flujo de polen en esta especie está dado principalmente por la cruce del material genético de individuos con carga genética diferente (entrecruza), y se necesita de un vector biótico para que transporte el polen de una flor a otra (Briseño-Sánchez 2015). Al igual que en la mayoría de las cactáceas, el principal vector para el transporte de polen son las abejas (Mendoza et al. 2019). Siendo *Macrotera* sp. el principal polinizador de la especie (Briseño-Sánchez 2015).

Existen estudios realizados en cactáceas, como el de Martínez-Ramos (2016) para el género *Opuntia* en el cual se determina si el flujo de polen se puede ver afectado por atributos intraespecíficos de las plantas como el número de flores abiertas y las diferencias morfológicas de las diferentes especies que florecen en un mismo tiempo. Sin embargo, ha sido poco explorado cómo las diferencias en rasgos florales afectan el flujo de polen a nivel poblacional. El objetivo de este trabajo fue determinar las diferencias en la cantidad de polen depositado en

flores de diferente color y en flores del mismo color en una población de *L. diffusa*, así como identificar las distancias a las cuales viaja el polen.

Métodos

La especie de estudio fue *Lophophora diffusa*, mejor conocida como peyote queretano. Tiene tallos globosos deprimidos con epidermis verde grisácea y puede encontrarse en solitario o formando colonias. Sus flores son pequeñas y en su mayoría blancas, aunque, también existen individuos con flores rosas dentro de la misma población (Briseño-Sánchez 2015, Figura 1).



Fig. 1. Individuo de *Lophophora diffusa* en floración (morfo floral rosa)

El sitio en el que se realizó el estudio fue Agua de Ángel, un ejido ubicado en el municipio de Peñamiller, Querétaro. La vegetación es de tipo matorral xerófilo micrófilo (Figura 2).

Se realizaron visitas a la población de *L. diffusa* durante el periodo de floración de 2023. Con la finalidad de seguir el movimiento del polen se seleccionaron 6 plantas focales al azar por morfo floral de color repartidas en 2 días (4 flores el primer día y 2 flores el segundo) a las cuales se les aplicó polvo fluorescente (como análogo de polen) de diferentes colores (verde, azul, naranja y magenta) por la mañana (entre las 10:00 y las 11:00).

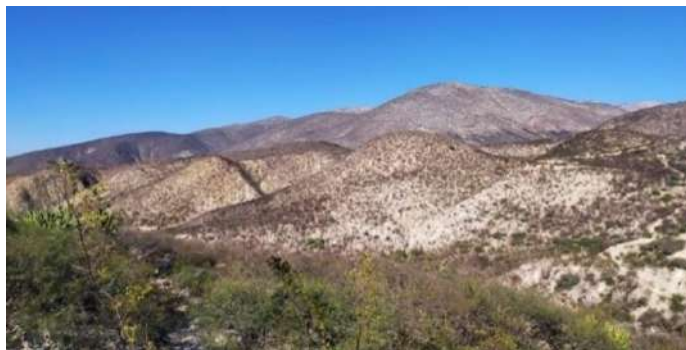


Fig. 2. Ejido de Agua de Ángel, Querétaro, México

Posteriormente, se realizaron observaciones en todos los individuos de la población que presentaron flores abiertas en un radio de 30 m antes de concluida la anthesis (entre las 14:30 y 15:30). Las observaciones fueron realizadas con ayuda de luz negra, una lupa y un cilindro de cartón negro que impedía el paso de la luz externa para observar si había presencia de alguno de los polvos fluorescentes, así como la cantidad (nada, poco, medio o abundante). Además, se midieron las distancias de las plantas focales hacia todas aquellas con presencia de polvos. Los resultados se analizaron mediante una prueba de χ^2 para determinar si existen diferencias en la presencia de polen en flores de diferente color y entre flores del mismo color.

Resultados

El flujo de polen alcanzó una distancia mínima de 15 cm y una distancia máxima de 18.5 m. Los valores de las pruebas de χ^2 indican que no hay diferencias significativas entre la presencia de polvos fluorescentes entre individuos con flores blancas y entre individuos con flores rosas, ($P = 0.0605$); y tampoco entre flores de diferentes morfos ($P = 0.0832$). En cuanto a la cantidad de polvos encontrados en las flores, de 50 plantas revisadas la mayor parte no presentaron polvos y 6% presentaron mucho, siempre entre flores muy cercanas.

Discusión

Al igual que en otras cactáceas de la región, como *Opuntia robusta*, el nopal tapón, podemos observar que las flores de *Lophophora diffusa* reciben una mayor cantidad de polen de los individuos más cercanos, independientemente del color que presenten

en sus flores (Varela-Trujillo, 2022). Esto podría ayudar al mantenimiento de ambos morfos siempre y cuando continúen formando parches cercanos a otros individuos reproductivos. Sin embargo, el movimiento de los análogos de polen no ocurrió en mayor proporción entre las flores de un morfo, lo que indica que los polinizadores no están discriminando entre morfos florales. El flujo de polen en esta especie viaja a una distancia corta en comparación a otras angiospermas cuya polinización se lleva a cabo por insectos, pues, el mínimo encontrado había sido de 21.7 m para para *Centaurea corymbosa* (Hardy et al., 2004). Esto puede representar un problema para la especie, pues, el flujo de polen a distancias tan limitadas podría impedir el intercambio genético en poblaciones fragmentadas, lo que podría originar un escenario de depresión por endogamia (Nora et al. 2011).

Conclusiones

El flujo de polen en *Lophophora diffusa* es limitado ya que menos del 50% de las flores presentaron análogos de polen. Contrariamente a lo esperado, el flujo de polen no ocurrió en mayor proporción entre individuos del mismo morfo. Además, los resultados indican que, entre menor sea la distancia de un individuo reproductivo a otro, mayor será la cantidad de polen depositado.

Agradecimientos

José Manuel Matías Cruz agradece la beca al programa Apoyo para estudiantes de investigador nivel III del SIN. El financiamiento estuvo a cargo de presupuesto institucional y Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324>. A Mariana Rojas Aréchiga por el apoyo para organizar las salidas de trabajo de campo.

Referencias bibliográficas

- Briseño-Sánchez, I. (2015). *Estructura poblacional y biología de la reproducción de Lophophora diffusa (Croizat) Bravo (Cactaceae) en Querétaro, México. Tesis profesional*. FES Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 86p.
- Hardy, O.J., González-Martínez, S.C., Colas, B., Fréville, H., Mignot, A., Olivieri, I. (2004). Fine-scale genetic structure and gene dispersal in *Centaurea corymbosa* (Asteraceae). II. Correlated paternity within and among sibships. *Genetics*, 168:1688-1695.

- Levin, D. A., & Kerster, H. W. (1969). The dependence of bee-mediated pollen and gene dispersal upon plant density. *Evolution*, 23:560-571.
- Martínez-Ramos, L. M. (2016). *Flujo de polen de Opuntia tomentosa Salm-Dyck en Cadereyta de Montes, Querétaro, México*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 75p.
- Mendoza, P., Jiménez-Sierra, C., & González-Adán, M. D. L. (2019). *Visitantes florales de cactáceas mexicanas: una revisión bibliográfica* [Cartel]. VII Congreso Nacional de Ecología, Juriquilla, Querétaro, México.
- Nora, S., Albaladejo, R. G., González Martínez, S. C., Robledo-Arnuncio, J. J., & Aparicio, A. (2011). Movimiento de genes (polen y semillas) en poblaciones fragmentadas de plantas. *Ecosistemas*, 20(2),35-45.
- Oleas, N. (2014). Métodos para el Estudio de Flujo Genético en Plantas. *Cienciámerica*, 3:13-18.
- Primack, R. B., & Silander, J. A. (1975). Measuring the relative importance of different pollinators to plants. *Nature*, 255:143-144.
- Varela-Trujillo, Y. Y. (2022). *Efecto del vecindario reproductivo y proporción sexual en la adecuación de Opuntia robusta J.C. Wendl. (Cactaceae) en Cadereyta de Montes Querétaro, México*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 117p.

Proporción sexual y vecindario reproductivo de un nopal dioico

Yucel Y. Varela-Trujillo^{1*} y María C. Mandujano^{2**}

¹Facultad de Ciencias e ²Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México

*yucel_varela@ciencias.unam.mx

**mcmandujano@iecologia.unam.mx

Resumen

Las plantas dioicas enfrentan el reto de asegurar parejas y dependen de vectores polinizadores, por lo que la interacción planta-polinizador es obligada. En este estudio se evaluó la proporción sexual y el tamaño de los vecindarios reproductivos de un cactus del desierto Chihuahuense. Se determinó el sexo de cada planta con base en su morfología externa reproductiva. Durante la floración, se colocaron marcadores de polen en polvo y fluorescentes para determinar el tamaño de los vecindarios reproductivos. La proporción sexual se encuentra en equilibrio 1:1 y el tamaño de los vecindarios reproductivo va desde los 0.5 m hasta 330 m de radio, mostrando gran variedad en las áreas.

Palabras clave: Dioicismo, entrecruza, adecuación.

Abstract

Dioecious plants face the challenge of ensuring mates and rely on pollinator vectors. Thus, making plant-pollinator interaction is obligatory. This study evaluated the sex ratio and sex of reproductive neighborhoods in a Chihuahuan Desert cactus. The sex of each plant was determined based on their external reproductive morphology. Fluorescent and powder pollen markers were applied during flowering to determine the size of reproductive neighborhoods. The sex ratio shows a balanced 1:1, and the size of the reproductive neighborhood ranges from 0.5 m to 330 m in radius, demonstrating variation across areas.

Keywords: Dioecy, crossing, fitness.

Importancia para la conservación

El estudio de la proporción sexual y vecindarios reproductivos de especies de plantas dioicas brinda información sobre su biología reproductiva. Al ser sistemas vulnerables dado su sistema de reproducción sexual, es de suma importancia contar con datos reproductivos para implementar futuros programas de conservación en situaciones de vulnerabilidad de las especies con un sistema parecido al del presente trabajo.

Introducción

En las plantas dioicas, la reproducción sexual solo se puede efectuar mediante la entrecruza. (Bawa, 1980). Enfocándonos en un sistema clonal y dioico, la única manera en la que se efectúe la reproducción sexual es mediante la polinización (Carrillo-Ángeles et al., 2011), por lo tanto, la proporción sexual de la población es importante, ya que se espera que la proporción de plantas masculinas con respecto a las plantas femeninas en una población repercute directamente en el éxito reproductivo (Ramírez-Delgado et al., 2007).

Referirse a los vecindarios reproductivos adiciona un componente espacial al estudio de la reproducción sexual de las plantas, dado que incluye la idea de que los individuos van a tener la posibilidad de reproducirse en el sitio en el que se desarrollan y con las plantas que tienen en sus inmediaciones (Carrillo-Ángeles et al., 2011). Bajo el supuesto de ser poblaciones panmícticas y con un sistema de entrecruza, se pueden determinar los vecindarios reproductivos mediante el flujo de polen (Levin y Kerster, 1968), de esta manera, un vecindario reproductivo se entiende como el área en la que los individuos se encuentran interactuando de forma sexual.

Este trabajo tuvo como objetivo determinar la proporción sexual y el tamaño de los vecindarios reproductivos de una especie dioica, el nopal tapón o nopal camueso, *Opuntia robusta*, en el área silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”.

Materiales y métodos

Especie de estudio

Opuntia robusta J. C. Wendl. ex. Pfeiff, es una planta arbustiva con una altura de 1 m a 2 m, tiene cladodios muy robustos de gran grosor (1.5 a 2.5 cm), con una longitud de 15 m a 40 cm y de color verde azulado (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1978; Guillot y Der Meer, 2006). Las plantas femeninas producen frutos comestibles globosos de color púrpura, de unos 10 cm de longitud, con producción de semillas (Guillot y Der Meer, 2006).

Actualmente se reporta su distribución como especie endémica de México, donde está registrada desde el

norte al centro de México (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1978). También cuenta con registros de poblaciones hermafroditas, dioicas, y trioicas (Del Castillo y Argueta, 2009).

Sitio de estudio

El área silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” (JBRC) se ubica dentro del municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro. Dicha área se localiza en el sur del Desierto Chihuahuense, en la zona conocida como desierto queretano (Hernández-Oria et al., 2006). El clima predominante en la región es del subtipo semiseco-templado con lluvias de verano (BS1kw(w)), con una precipitación media anual de 400-450mm y una temperatura media anual que oscila entre los 16°C y 18°C; la altitud de la zona varía de los 1800 a los 1900 m.s.n.m. y la vegetación predominante en la zona es matorral xerófilo (Hernández-Oria et al., 2006).

Mapeo de los individuos de la población

Se realizaron censos mensuales durante los meses de septiembre del 2017 a marzo del 2018 en la zona silvestre del JBRC de los individuos de *Opuntia robusta*. Las plantas fueron etiquetadas de manera inequívoca iniciando con el número 1 hasta $n=243$. Se realizó un mapeo para ubicar espacialmente a todas las plantas de esta especie.

Proporción sexual

La proporción sexual se registró entre los periodos de marzo a junio de 2018 y 2019. La determinación de sexo de los individuos se realizó mediante el método utilizado por Hoffman (1992), basándose en la morfología externa de los órganos reproductores (gineceo y androceo). Se sexaron $n=94$ plantas. 149 plantas no presentaron estructuras reproductivas en la temporada de estudio. Se utilizó una prueba de ji-cuadrada para evaluar si la proporción sexual observada difiere entre los sexos (Hoffman, 1992; Quevedo, 2011). Los datos se analizaron con el software R versión 3.2.6.

Vecindarios reproductivos –tamaño-

El tamaño de los vecindarios reproductivos se determinó por medio de la circunferencia obtenida a partir de la distancia (m) del flujo de polen, la cual fue considerada como radio del área circular. Estos datos se analizaron con el software matemático GeoGebra Clásico versión 5.0.680.

Resultados

Proporción sexual

Durante la temporada de estudio, la proporción sexual de la población fue de 1.46:1 es decir, se encuentra sesgada con 1.46 plantas masculinas por cada planta femenina (Figura 1). Sin embargo, la proporción sexual no difiere estadísticamente ($P = 0.08$, $n_{\text{masculinas}} = 56$, $n_{\text{femeninas}} = 38$).



Figura 1. Proporción sexual de *Opuntia robusta* durante la floración del 2019 y 2020 en el JBRC.

La proporción sexual de individuos *O. robusta* presenta una proporción sexual 1:1, proporción similar a otras especies dioicas *Fuchsia parviflora* (Onagraceae), *Viola surinamensis* y *V. koschnyi*

(Myristicaceae) (Cuevas *et al.*, 2017; Riba-Hernández *et al.*, 2014), *Ailanthus altissima* (Simarubaceae) y *Asparagus acutifolius* (Liliaceae) (Rottenberg, 2000). La proporción sexual es un factor que influye directamente en la adecuación de la población de *O. robusta* ya que se puede presentar una limitante para encontrar pareja potencial si la población se encuentra sesgada hacia un solo sexo; sin embargo, la población del área silvestre del JBRC se encuentra en una proporción sexual equilibrada 1:1, de esta manera, pueden encontrar por lo menos a una pareja (Ashman y Morgan, 2004; Carrillo-Angeles *et al.*, 2011).

Tamaño de los vecindarios reproductivos

La distancia promedio de radio del tamaño de los vecindarios fue de 70.96 ± 13.82 m ($\bar{X} \pm e.e.$) ($n_{\text{masculinos}} = 18$ y $n_{\text{femeninos}} = 13$). Se encontraron vecindarios con una gran variedad de tamaños, con base en la planta focal (Figura 2) y las abejas nativas fueron los visitantes de las flores del nopal más frecuentes.

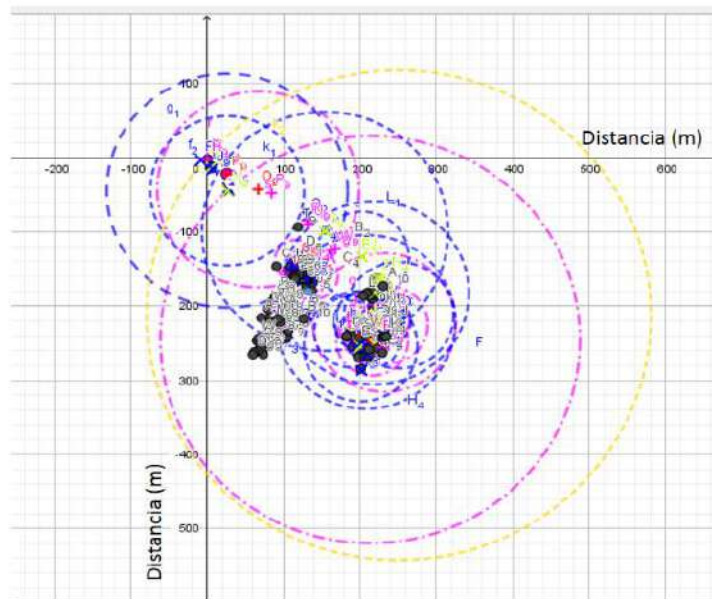


Figura 2. Vecindarios reproductivos de la población de *Opuntia robusta* durante la floración del 2018 y 2019 en el JBRC. Donde los vecindarios masculinos están marcados con circunferencias azules y los vecindarios femeninos están marcados con circunferencias rosas. La circunferencia amarilla representa el vecindario reproductivo de mayor tamaño y corresponde a uno masculino.

El tamaño de los vecindarios reproductivos puede estar influido por el despliegue floral (la cantidad de flores que hay en un vecindario), características y recompensas florales, así como los patrones de distribución espacial y temporal de las flores (Bawa, 1980). En distintas especies con flores como *Silene amplexans*, *S. crassulus* y *S. integerrimus* (Caryophyllaceae) los abejorros realizaron el vuelo a distancias cercanas de la plana focal < 1 m determinando vecindarios reproductivos pequeños, mientras que las mariposas forrajeaban a mayor distancia alcanzando los 50 m, estableciendo vecindarios reproductivos de mayor tamaño.

Conclusiones

La proporción sexual y el tamaño de los vecindarios reproductivos de la población de *Opuntia robusta* del área silvestres del Jardín Botánico Regional de Cadereyta de Montes “Ing. Manuel González de Cosío” son estratégicamente adecuados, ya que no se compromete la reproducción sexual de la población. No existe un sesgo en la proporción sexual y el tamaño de los vecindarios reproductivos son variables, permitiendo la reproducción por entrecruza.

Agradecimientos

Yucel Y. Varela Trujillo agradece la beca al programa Apoyo para ayudantes de investigador nivel III del SIN. El financiamiento a cargo de presupuesto institucional y a MCM. A Mariana Rojas Aréchiga por el apoyo para organizar las salidas de trabajo de campo.

Referencias

Ashman T.L y Morgan, M.T. 2004. Explaining phenotypic selection on plant attractive characters. Male function, gender balance or ecological context? *Proceedings of the Royal Society of London, B*, 227. 553-559.

Bawa, K. S. 1980. Evolution of dioecy in flowering plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11:15-39.

Bravo-Hollis, H., Sánchez-Mejorada H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. I. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Carrillo-Ángeles, I., Mandujano, M.C. y Golubov, J. 2011. Influences of the genetic neighborhood on ramet reproductive success in a clonal desert cactus. *Population Ecology*, 53:449-458.

Cuevas, E., Pérez, M.Á y Sevillano, L. 2017. Population size, sex-ratio, and sexual dimorphisms in *Fuchsia parviflora* (Onagraceae) an endemic dioecious shrub. *Botanical Sciences*, 95(3): 401-408.

Del Castillo, R. y Argueta, S. 2009. Reproductive implications of combined and separated sexes in trioecious population of *Opuntia robusta* (Cactaceae). *American Journal of Botany*, 96(6): 1148-1158.

Guillot-Ortiz, D. y Der Meer, P. 2006. Tres taxones invasores pertenecientes al género *Opuntia* Mill. nuevas para la flora ibérica. *Bouteloua* 1:52-54 (XI-2006).

Hernández-Oria, J., Chávez, R. y Sánchez E. 2006. Efecto del disturbio crónico en *Echinocereus Schomollii* (Weing.) N.P. Taylor, una Cactácea en peligro de extinción en el Semidesierto Queretano, México. *Zonas Áridas* N°10.

Hoffman, M.T. 1992. Funcional dioecy in *Echinocereus coccineus* (Cactaceae): Breeding system, sex ratios, and geography range in floral dimorphism. *American Journal of Botany*, 79(12): 1382-1388.

Quevedo F. 2011. La prueba de ji-cuadrado. *Medwave* 11(12): 1-5.

Ramírez-Delgado, M., López-Arrollo, I., González-Hernández, A. y Badii-Zabeh, M. (2007). Rasgos biológicos y poblacionales del depredador *Ceraeochrysa* sp. nr. *cincta* (México) (Neuroptera: Chrysopidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 23(3): 79-95

Riba-Hernández, P., Lobi, J., Fuchs, E. y Moreira, J. 2014. Population and genetic structure of two dioecious timber species *Virola surinamensis* and *Virola kuschnyi* (Myristicaceae) in southwestern in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 323: 168-176.

Rottenberg, A. 2000. A field survey of dioecious plants in Israel: sex ratio in seven rare species. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2000 (134): 439-442.

Coloreando la flor del Nopal Cardón (*Opuntia streptacantha* Lem.)

Gerardo Manzanarez-Villasana^{1,2*} y María C. Mandujano^{1**}

¹ Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM. Apartado Postal 70-275, 04510, Ciudad de México, CDMX, México

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

* jupiter.gmv@gmail.com;

** mcmandujano@ecologia.unam.mx

Resumen

El color de las flores es sin duda uno de los atractivos más admirados por todos, este juega un papel fundamental en la atracción de polinizadores y visitantes florales. Otro atrayente visual muy importante, es la reflectancia de luz ultravioleta (UV), la cual ayuda a los visitantes a distinguir las flores de su entorno. Los objetivos de este trabajo fueron comparar los tonos presentes en los morfos florales amarillos y anaranjados presentes en *Opuntia streptacantha* y, además, precisar si estos presentan reflectancia de luz UV. Para determinar esto, se fotografiaron 25 flores para cada morfo floral bajo luz natural y bajo oscuridad total. Con las fotos bajo luz natural se procedió a determinar los tonos presentes en la flor, y en oscuridad total se determinaron las zonas de mayor reflectancia de esta. El morfo floral amarillo presentó un mayor número de tonos de colores en comparación al anaranjado, y ambos morfos presentan reflectancia UV, principalmente en las anteras y el estigma.

Palabras clave: Luz UV, reflectancia, polimorfismo floral.

Abstract

Flower color is certainly one of the most admired attractions for everyone; it has a fundamental role in attracting pollinators and floral visitors. Another important visual attraction is the ultraviolet (UV) light reflectance, which helps visitors distinguish flowers from their surroundings. The objectives of this work were to compare the shades present in the yellow and orange flower morphs present in *Opuntia streptacantha* and also to determine if they present UV light reflectance. To determine this, 25 flowers were photographed for each floral morph under natural light and total darkness. With the photos taken under natural light, the tones in the flower were determined, and in total darkness, the areas of highest reflectance were determined. The yellow floral morph presented a greater number of color tones compared to the orange morph, and both morphs presented UV reflectance, mainly in the anthers and stigma.

Palabras clave: UV light, reflectance, floral polymorphism.

Importancia para la conservación

El entender los colores que presentan las flores y en específico las de los nopales, nos ayudara a comprender las interacciones que pueden tener con su entorno, en paisajes tan homogéneos en color como son las zonas desérticas y semidesérticas, el color de las flores juega un papel importante para la interacción abeja-nopal.

Introducción

En las flores, el color es sintetizado por pigmentos que van a absorber una parte del espectro visible de luz y únicamente van a reflejar el que no es absorbido, provocando así la percepción del color. Estos pigmentos son principalmente flavonoides, carotenoides y betalainas (Glover 2014). El color de las flores es la señal utilizada por los polinizadores para predecir recompensas nutricionales como el néctar (Dyer et al. 2006), por lo que se ha hipotetizado que los visitantes florales presentan una mayor frecuencia de visitas en los colores que han asociado con mayores recompensas (Gumbert et al. 1999). Por ejemplo, en el caso de las aves, asocian los colores a recompensas (Kaczorowski et al. 2014), mientras que las abejas se basan en parámetros de color distintos (Papiorek et al. 2016). Se ha descrito que el género *Opuntia*, presenta una polinización generalmente por abejas (melitofilia) (Mandujano et al. 2010), hipotetizándose una coevolución entre estos grupos, como es el caso para las abejas solitarias de los géneros *Diadasia* sp. y *Lithurge* sp., las cuales presentan una especialización oligoléctica con los nopales (Mandujano et al. 2010). Sin embargo, no son los únicos visitantes que el género presenta, pues hay reportes de: colibríes, hormigas, escarabajos, entre otros. Los objetivos de este trabajo fueron: comparar los tonos presentes en los morfos florales amarillos y anaranjados presentes en *Opuntia streptacantha* y, además, precisar si estos presentan reflectancia de luz UV.

Metodología

Se tomaron fotografías con una cámara digital bajo luz natural y bajo oscuridad total a 25 flores para cada morfo floral presente en *O. streptacantha*. Con el programa Adobe color, se determinaron los tonos presentes en la flor y con *ImageJ* se determinó la cantidad de luz UV reflectante en la flor. Se seleccionaron cinco puntos principales para ambas condiciones: estigma, anteras, zona entre anteras y parte interior de los segmentos del perianto, parte interior de los segmentos del perianto, y parte exterior de los segmentos del perianto.

Resultados

Se registraron 42 tonos en el morfo floral amarillo y 34 para el morfo floral anaranjado, siendo la parte interior de los segmentos del perianto del morfo floral amarillo la más diversa de ambos (Figura 1 y 2). En ambos morfos florales existe la reflectancia de luz UV, a su vez, el estigma y las anteras son las estructuras que presentan mayor reflectancia (Figura 3).



Fig. 1. Gráfico *waffle* donde se muestra el número de tonos presentes por estructuras, donde cada cuadro representa el número de tonos posibles para cada estructura y el color representa el tono con mayor frecuencia en cada estructura, en conjunto hacen la paleta resultante para el morfo floral amarillo.



Fig. 2. Gráfico *waffle* donde se muestra el número de tonos presentes por estructuras, donde cada cuadro representa el número de tonos posibles para cada estructura y el color representa el tono con mayor frecuencia en cada estructura, en conjunto hacen la paleta resultante para el morfo floral anaranjado.

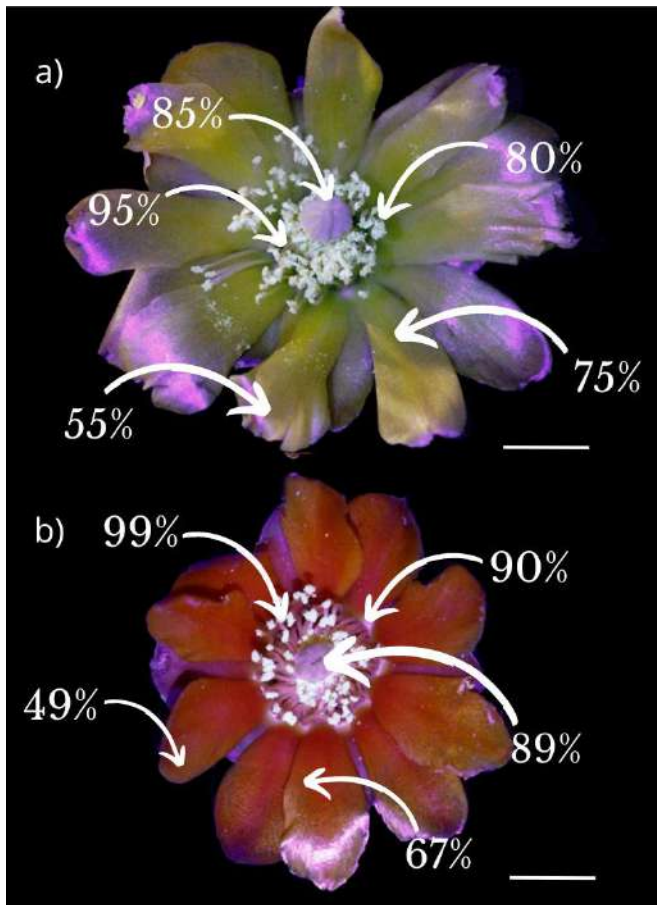


Fig. 3. Porcentaje de reflectancia en cada zona de interés por morfo floral de *Opuntia streptacantha*. a) Morfo floral amarillo. b) Morfo floral anaranjado. Barra de escala = 5 cm. Foto: Gerardo Manzanarez-Villasana.

Discusión

El morfo floral amarillo presentó un mayor número de tonos de colores en comparación al morfo floral anaranjado; esto puede deberse al tipo de pigmento que produce cada morfo floral para el tono de la flor. Respecto a la reflectancia de luz UV, éste es el primer registro al respecto para el género *Opuntia* y es probable que las demás especies del género presenten también una alta reflectancia de luz UV, ya que, para los nopales, se han descrito la existencia de cantidades relativamente grandes de glucósidos de flavonol en las flores.

Agradecimientos

Al Programa del Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca

otorgada para la realización de esta investigación de GMV. Este proyecto se realizó con financiamiento del proyecto CONAHCyT 221362 “Estrategias reproductivas en cactáceas, facilitación o interferencia” y del presupuesto operativo del Instituto de Ecología, UNAM, otorgados por MCM. Al apoyo brindado de Linda Mariana, Isabel Briseño, Mariana Cano, Esteban Munguía, Diana Cárdenas y José Antonio en la toma de datos y Mariana Rojas en la logística para las salidas de campo.

Referencias

- Dyer, A.G., H.M. Whitney, S. Arnold, B.J. Glover & L. Chittka. (2006). Bees associate warmth with floral colour. *Nature* 442:525.
- Glover, B.J. (2014). Understanding flowers and flowering: an integrated approach. Oxford University Press, Second edition.
- Gumbert, A. J. Kunze y L. Chittka. (1999). Floral colour diversity in plant communities, bee colour space and a null model. *Biological Sciences* 266(1429): 1711-1726.
- Kaczorowski, R.L. G. Blumenfeld. A. Koplovich. y S. Markman. (2014). Color and side preferences in Palestine sunbirds (*Nectarinia osea*) *Israel Journal of Ecology and Evolution* 60:35-40.
- Mandujano, M.C, I. Carrillo-Ángeles, C. Martínez-Peralta y J. Golubov (2010). Reproductive Biology of Cactaceae. En: Desert Plants: Biology and biotechnology K.G. Ramawat (ed.). Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Papiorek, S., R.R. Junker, I. Alves-dos-Santos, G.A.R. Melo, L.P. Amaral-Neto, M. Sazima, M. Wolowski, L. Freitas y K. Lunau (2016). Bees, birds, and yellow flowers: pollinator-dependent convergent evolution of UV patterns. *Plant Biology* 18: 46-55.

Redes de interacción entre cactus y polinizadores en el semidesierto queretano

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

¹Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Apartado Postal 70-275, Ciudad de México (CDMX) 04510, México.

*pfog12@ciencias.unam.mx

**mcmdujano@ieciologia.unam.mx

Resumen

La polinización es uno de los mutualismos mejor ejemplificados de la naturaleza, y ha sido reconocida un servicio ecosistémico indispensable con beneficios para las angiospermas y humanos. No obstante, en los últimos años se ha enfrentado a la disminución de los polinizadores y al bajo rendimiento de diversos cultivos. De forma que son necesarios más trabajos que aborden la complejidad e importancia de la interacción planta-polinizador en territorio mexicano. Para ello, se escogieron dos sitios del semidesierto queretano donde mensualmente se monitorearon las interacciones entre cactus en floración y sus polinizadores, y los datos se analizaron por medio de la teoría de redes ecológicas. Entre los principales hallazgos se destaca la topología de la red general como anidada, y la descripción de varias especies nativas como especies núcleo de la red. Además, se registraron polinizadores no habituales como escarabajos, colibríes y moscas. De esta manera, es importante obtener más información sobre la interacción entre cactus y polinizadores mexicanos con fines de apoyo y complemento para la formulación de estrategias de conservación, especialmente si estos interactuantes desempeñan un papel fundamental en la estructura de las redes ecológicas.

Palabras clave: Abejas, Cactaceae, colibríes, escarabajos, moscas.

Abstract

Pollination is one of the best-exemplified mutualisms in nature and has been recognized as an indispensable ecosystem service with benefits for angiosperms and humans. However, it has been affected by the decline of pollinators and low crop yields in recent years. Thus, more research is needed to address the complexity and importance of plant-pollinator interaction in Mexico. For this aim, two sites in the queretano semidesert were chosen, where the interactions between flowering cacti and their pollinators were monitored monthly, and the data were analyzed employing the ecological network theory. The main results include the general network topology being highlighted as nested and the several native species being described as the network core species. Additionally, non-traditional pollinators such as beetles, hummingbirds, and flies were recorded. Therefore, it is essential to obtain more information about the interaction between cacti and Mexican pollinators to support and complement the formulation of conservation strategies, especially if these interactants play a fundamental role in the structure of ecological networks.

Keywords: Bees, beetles, Cactaceae, flies, hummingbirds.

Importancia para la conservación

Se resalta la importancia de trabajar con la interacción cactus-polinizador por medio de la teoría de redes, aumentando sus registros y subrayando el papel que desempeñan las especies nativas en la polinización. Se espera que la información obtenida ayude a tomar decisiones informadas sobre la conservación de plantas y polinizadores mexicanos, aunando que varias especies núcleo se encuentran en alguna categoría de riesgo.

Introducción

La polinización biótica generalmente es considerada como uno de los principales ejemplos de mutualismos que se pueden encontrar en la naturaleza (Willmer, 2011). También es considerada como un servicio ecosistémico indispensable para la persistencia de la mayoría de las angiospermas y para los humanos (Galletto *et al.*, 2022). Por ejemplo, los polinizadores son un elemento importante en los procesos ecosistémicos ya que contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad, al ensamblaje y dinámica de sus comunidades, así como al funcionamiento del ecosistema (Dáttilo y Rico-Gray, 2018).

Últimamente se ha registrado una disminución de las poblaciones de polinizadores, de forma que la reproducción de muchas plantas y los rendimientos de cultivos en Latinoamérica se han visto afectados (Galletto *et al.*, 2022). Además de que falta investigar y obtener más datos sobre la importancia de los polinizadores mexicanos, ya que 130 de 196 estudios se han enfocado en abejas silvestres y murciélagos, dejando de lado el aporte de otros polinizadores como avispas, escarabajos, hormigas, mariposas, moscas y polillas (SADER, 2021).

La metodología que se puede aplicar para estudiar la interacción planta-polinizador en estas zonas de México, como el semidesierto queretano sería el enfoque de la teoría de redes, donde estas interacciones pueden ser vistas como una red de flujo entre plantas y polinizadores (Dormann *et al.*, 2009; Dáttilo y Rico-Gray, 2018). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo consiste en determinar la importancia de los polinizadores a través de sus frecuencias de visitas. Así como establecer la dependencia a los distintos agentes polinizadores y delimitar la diversidad de cactáceas que son capaces de visitar.

Metodología

Los sitios de estudio establecidos fueron el Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío”, y la localidad Agua del Ángel, en Peñamiller. Ambas localidades pertenecen a la

vegetación de matorral desértico crassicaule y micrófilo, respectivamente, y están ubicadas en el semidesierto queretano.

Se realizaron salidas de campo mensuales donde en cada localidad se estableció un intervalo de trabajo de 0900 a 1700 h, y se empleó un muestreo aleatorio estratificado para aplicar transectos de 20 m que abarquen los cactus en floración como puntos de observación. Cada planta se monitoreó durante 20 minutos para observar a la frecuencia y diversidad de polinizadores, así como su comportamiento de forrajeo. Posteriormente, se construyeron matrices de interacción en general y por sitio, y se analizaron los datos con por medio de R Software 4.3.1 (2023) con ayuda de los paquetes *bipartite*, *circlize* y *vegan*. Para ello, las matrices se analizaron y graficaron como redes bipartitas, se calcularon diversos parámetros de la red, y como complemento se calcularon los porcentajes de riqueza de interacciones para determinar el esfuerzo de muestreo.

Resultados

Con respecto a la estructura general de la red (Figura 1), el número de enlaces por especies fue de 2.18 donde cada polinizador visita al menos dos especies de cactáceas. El nivel de especialización H_2 muestra un nivel cercano a cero, de manera que la interacción cactus-polinizador es un sistema generalizado, además la asimetría obtenida indica que participan más polinizadores especialistas en la red que las plantas. Asimismo, la red del semidesierto queretano presentó un patrón anidado (*weighted NODF* = 20.49, $p < 0.01$) y no es una red modular ($M = 0.87$, *No. de módulos* = 5, $p = 0.61$). Las especies núcleo que están presentes en el núcleo de la red (Figura 2) fueron las abejas *Macrotera sinaloana*, *Diadasia rinconis* y *Augochlorella* sp., y el escarabajo *Acmaeodera* spp. Por parte de las plantas fueron las cactáceas *Opuntia robusta* y *O. streptacantha*.

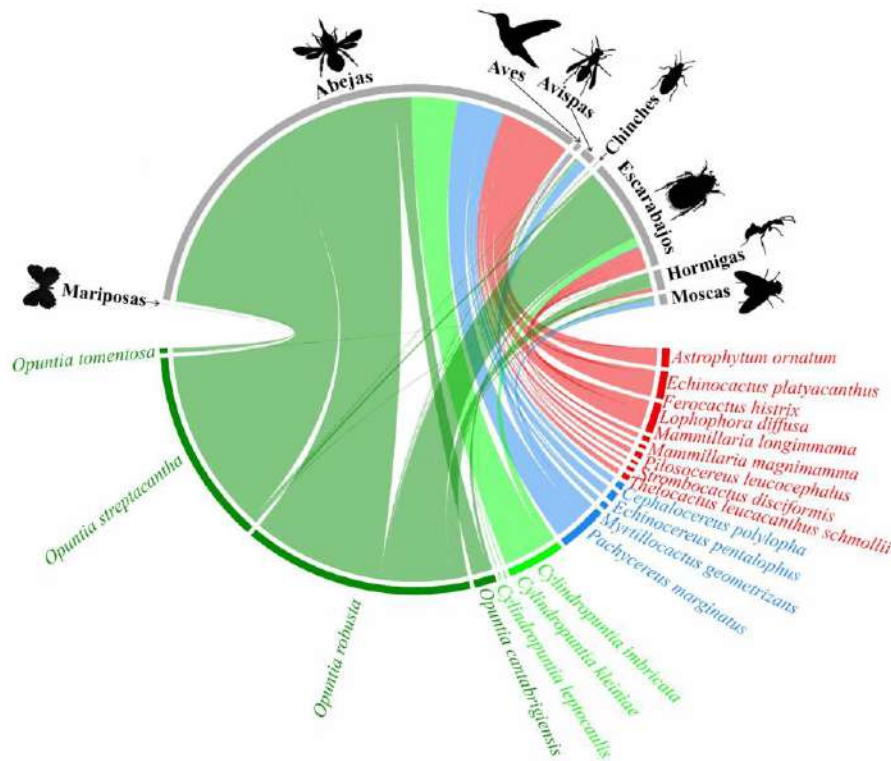


Fig. 1. Diagrama de cuerdas que representa a la interacción entre cactáceas y polinizadores, donde el color de las especies de cactus y enlaces corresponde a las tribus Cacteae (rojo), Pachycereeae (azul) Cylindropuntieae (verde claro) y Opuntieae (verde oscuro).



Fig. 2. Especies núcleo de la interacción cactus- polinizador de ambos sitios de estudio.

En cuanto a la comparación entre sitios, se encontraron diferencias importantes como el tamaño de la red, la frecuencia y la riqueza de las interacciones registradas, así como en la composición de las especies núcleo de estas redes de interacción. Como complemento, el esfuerzo de

muestreo determinó que se han registrado del 22 al 77% (varía según el estimador) de las interacciones posibles en las redes obtenidas, por lo que se sugiere precaución en la interpretación de los datos y se debe continuar con el muestreo para mejorar la eficiencia de registro.

Discusión

Diversos trabajos han postulado que las redes mutualistas tienden a mostrar un patrón anidado tal como se registró en la red del presente trabajo, y a su vez está relacionado con una alta riqueza de especies en la comunidad (Dáttilo y Rico-Gray, 2018). Entretanto, la coexistencia de estas especies interactuantes se ve favorecida gracias a la generalización y la asimetría de la red (Dormann *et al.*, 2009). No obstante, falta demostrar la efectividad y eficacia de los polinizadores registrados usando parámetros más finos. También se debe aumentar el monitoreo de la interacción cactus-polinizador en los siguientes meses dado que existe un fuerte impacto de la estacionalidad en las interacciones ecológicas (Argueta-Guzmán *et al.*, 2022).

Se ha registrado la presencia de otros polinizadores no habituales en el presente trabajo, tales como escarabajos, moscas y colibríes, y algunos de ellos son especies nativas del país y residen en el semidesierto queretano. Estos registros serán indispensables para aumentar el monitoreo e impacto de los polinizadores sobre la reproducción de los cactus, así como formular estrategias de conservación en México (SADER, 2021).

Conclusiones

La generación de información sobre la polinización en áreas silvestres del semidesierto queretano ayudará a comprender el funcionamiento y el mantenimiento de las redes de interacción. Donde varias especies de cactus amenazadas juegan un papel importante como especies núcleo de estas redes, manteniendo múltiples interacciones con diversos polinizadores mexicanos.

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto de postdoctorado del primer autor. El financiamiento a cargo de presupuesto institucional y Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324> a MCM. A Mariana Rojas Aréchiga se agradece el apoyo para organizar las salidas de trabajo de campo.

Referencias bibliográficas

- Argueta-Guzmán, M., Golubov, J., Cano-Santana, Z., & 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.
- Dáttilo, W., & Rico-Gray, V. (2018). *Ecological Networks in the Tropics*. Cham, Switzerland: Springer.
- Dormann, C. F., Fründ, J., Blüthgen, N., & Gruber, B. (2009). Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. *The Open Ecology Journal*, 2:7-24
- Galetto, L., *et al.* (2022). Risks and opportunities associated with pollinators' conservation and management of pollination services in Latin America. *Ecología Austral*, 32:55-76.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2021). *Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores (ENCUSP)*. Gobierno de México, México.
- Willmer, P. (2011). *Pollination and Floral Ecology*. Princeton University Press.

Interacción flor-cucaracha en especies del género *Opuntia* (Cactaceae)

Diana Cárdenas-Ramos^{1*}, María C. Mandujano^{1**}, Julio C. Estrada-Álvarez^{2,3} y Carlo G.H. Sormani^{3,4}

¹Laboratorio de Genética y Ecología, Departamento de Ecología de la Biodiversidad, Instituto de Ecología Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-275, Ciudad de México, C. P. 04510

²Museo Universitario de Historia Natural Dr. Manuel M. Villada, UAEMex, Instituto Literario 100, Colonia Centro, Toluca, Estado de México, México.

³Entomological Research, A. C. Metepec, Estado de México, México.

⁴Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México.

*dianacardenasr92@gmail.com

**mcmandujano@ieciologia.unam.mx

Resumen

Recientemente ha aumentado la mortalidad de poblaciones de abejas, impulsado investigaciones sobre estos polinizadores. No obstante, los polinizadores no se limitan solo a las abejas, y existen otros grupos que han sido menos estudiados, como las cucarachas. El objetivo es describir las actividades que realiza la cucaracha *Latiblattella tarasca* en las flores y los cladodios de cuatro especies del género *Opuntia* en el semidesierto Queretano. Durante tres días, se describió la frecuencia y actividad de los insectos. *Latiblattella tarasca* recolecta segmentos del perianto y estambres de las flores secas, y polen de las flores cerradas de *O. cantabrigiensis*, lo que las convierte en florívoros y polínívoros. La florivoría no parece influir en la polinización de las flores, ya que la depredación ocurre en flores en post-antesis. *Opuntia cantabrigiensis* es la única especie que presenta flores de antesis nocturna, lo que abre la posibilidad de que *L. tarasca* pueda desempeñar un papel como potencial polinizador de esta especie.

Palabras clave: Florívoro; polinizador; polívoro; visitante floral.

Abstract

Recently, there has been an increase in bee populations' mortality, driving research on these pollinators. However, pollinators are not limited to bees alone. Other groups, such as cockroaches, are less well-known. The objective is to describe the activities carried out by the cockroach *Latiblattella tarasca* on the flowers and cladodes of four species of the genus *Opuntia* in the Queretaro semidesert. Over three days, we described the frequency and activity of the insects. *Latiblattella tarasca* collects segments of the perianth and stamens from the dry flowers, as well as pollen from closed flowers of *O. cantabrigiensis*. Therefore, it plays a double-role as florivorous and pollinivorous. Florivory does not seem to influence flower pollination since predation occurs on post-anthesis flowers. *Opuntia cantabrigiensis* is the only species that presents flowers with nocturnal anthesis, which suggests that *L. tarasca* might play a potential role as a pollinator for this species.

Keywords: Floral visitor; florivore; pollinator; pollivore.

Importancia para la conservación

Este estudio amplía la información sobre la interacción planta-cucaracha en sistemas naturales xéricos, aunque solo aborda algunos aspectos ecológicos, por lo que es un punto de partida para investigaciones más profundas en este tema. Se destaca que el estudio se realizó en un jardín botánico, demostrando su importancia en la conservación de especies y sus interacciones en pequeños espacios naturales inmensos en áreas urbanas.

Introducción

Los estudios que describen las actividades flor-polinizador se realizan generalmente durante el día en flores diurnas, lo que ha limitado la comprensión de los hábitos nocturnos de diversos insectos. Estudiar organismos nocturnos, como las cucarachas, es complejo y hay pocos registros de su comportamiento en sistemas naturales. Sin embargo, algunos estudios han observado cucarachas consumiendo polen, néctar y estructuras florales; no obstante, aún se desconoce el efecto de la depredación en las flores y su papel como polinizador en especies vegetales. Es importante el desarrollo de investigaciones sobre estos insectos, ya que son polinizadores primarios de diversas especies tal como *Uvaria elmeri*, una planta trepadora y leñosa tropical que depende completamente de la visita de las cucarachas para asegurar su reproducción (Nagamitsu e Inoue, 1977).

Método

El trabajo de campo se realizó en la zona silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta (JBRC) “Ing. Manuel González de Cosío”. El clima es semiseco-templado con lluvias en verano, la temperatura anual es de 16.7 a 38 °C y precipitación entre 309.3 y 798.5 mm. La vegetación es matorral xerófilo y está dominado por especies del género *Opuntia*: *O. cantabrigiensis*, *O. hyptiacantha*, *O. tomentosa*, *O. robusta* y *O. streptacantha* (Chávez Martínez y Hernández Magaña, 2009).

Se realizaron recorridos en la zona silvestre del JBRC del 10 al 12 de abril del año 2018, entre las 18:00 y 20:00 horas, con observaciones en las estructuras vegetativas y reproductivas de los individuos del género *Opuntia* ($n = 43$ individuos observados) durante 15 minutos. Se describió la actividad que realizan las cucarachas en los cladodios y flores (Cárdenas-Ramos et al., 2023).

Resultados

Ninguna cucaracha fue registrada en el primer día. Entre el segundo y tercer día, se contabilizaron 95 individuos de *L. tarasca*, destacándose un mayor número en *O. tomentosa* (Tabla 1). Se observaron individuos de *L. tarasca* recorriendo los cladodios y

el perianto de las flores cerradas de *O. cantabrigiensis* y *O. robusta*. Los individuos de *L. tarasca* recolectaron polen tanto dentro como fuera de las flores cerradas y secas de *O. cantabrigiensis* (Figura 1). En *O. streptacantha* y *O. tomentosa*, únicamente se observaron cucarachas recorriendo los cladodios.

Discusión

La ausencia de cucarachas en el primer día de observación puede deberse a las bajas temperaturas, pues ese fue el más frío de los tres.

Tabla 1. Frecuencia de cucarachas de la especie *Latiblattella tarasca* observadas en los cladodios y las flores de cuatro especies del género *Opuntia* distribuidas en la zona silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, México. ($n = 43$ individuos de *Opuntia* sp. observados).

Especie	Cucarachas observadas
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	29
<i>Opuntia robusta</i>	12
<i>Opuntia tomentosa</i>	32
<i>Opuntia streptacantha</i>	22



Fig. 1. Cucaracha *Latiblattella tarasca* en las flores secas de *Opuntia cantabrigiensis* (tomado de Figura 2a, Cárdenas Ramos et al., 2023).

Esto sugiere que las cucarachas responden a factores abióticos, como se ha descrito en otros insectos tal como las abejas, que reducen su actividad en las flores durante días fríos o lluviosos (Herrera, 1995; Martínez-Peralta y Mandujano, 2012). La baja frecuencia de cucarachas en las flores de *O. robusta* y su presencia en los cladodios de *O. streptacantha* y *O. tomentosa* podría explicarse por la fenología de las especies. Por ejemplo, *O. robusta* se encontraba en la fase final de su periodo de floración (Martínez-

Ramos, 2019), lo que resulta en una escasa disponibilidad de flores que pudieran ser aprovechadas por las cucarachas como fuente de alimento o refugio. Por otro lado, *O. streptacantha* y *O. tomentosa* no presentaban flores durante el período de estudio, por lo que sería necesario realizar observaciones durante el pico de floración de ambas especies para determinar la interacción planta-cucaracha (Cárdenas-Ramos et al., 2023).

Latiblattella tarasca consume segmentos del perianto y estambres de las flores secas de *O. cantabrigiensis*, lo que sugiere que actúan como florívoro de esta especie. Sin embargo, su florivoría es poco intensa y específica, ya que se enfoca en flores en post-antesis ya polinizadas, y no interfiere con la producción de frutos y semillas. De las cuatro especies del género *Opuntia*, solo *O. cantabrigiensis* presenta una pequeña fracción de flores de antesis nocturna que podrían ser visitadas por las cucarachas. Aunque *L. tarasca* podría ser un polinizador secundario, porque las abejas solitarias son los principales polinizadores (Cárdenas-Ramos et al., 2023). Aun si *L. tarasca* actuara como polinizador, no parece favorecer la polinización cruzada, ya que no se observó a ninguna cucaracha volando entre las flores de diferentes individuos.

Agradecimientos

Esta nota es una síntesis modificada y con información adicional basada en Cárdenas-Ramos et al., 2023. Proyecto financiado por beca a DCR CONAHCYT. Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324> y presupuesto institucional de MCM. A Mariana Rojas Aréchiga por su apoyo en la logística de las salidas de campo.

Referencias bibliográficas

- Cárdenas-Ramos, D., Mandujano, M. C., Estrada-Álvarez, J. C., & Sormani, C. G. (2023). Hábitos polinívoros y florívoros de *Latiblattella tarasca* (Saussure, 1862) (Blattodea: Pseudophyllodromidae) en cuatro especies del género *Opuntia* Mill., 1754 (Caryophyllales: Cactaceae), en una porción del semidesierto de Querétaro, México. *Revista Chilena de Entomología*, 49(3).
- Chávez Martínez, R. J. y Hernández Magaña, R. (2009). Flora silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío". Recuperado de

<https://es.scribd.com/document/16178745/Flora-Silvestre-del-Jardin-Botanico-de-Cadereyta>

- Herrera, C. M. (1995). Microclimate and Individual Variation in Pollinators: Flowering Plants are more than Their Flowers. *Ecological Society of America*, 76(5):1516-1524. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/1938153>
- Martínez-Ramos, L. M. (2019). *Flujo polínico interespecífico y su efecto en el éxito reproductivo de Opuntia tomentosa*. (Tesis inédita de maestría). Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Martínez-Peralta, C. y Mandujano, M. C. (2012). Biología de la polinización y fenología reproductiva del género *Ariocarpus* Scheidweiler (Cactaceae). *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 57:114–127.
- Nagamitsu, T. e Inoue, T. (1977). Cockroach Pollination and Breeding System of *Uvaria elmeri* (Annonaceae) in a Lowland Mixed-Dipterocarp Forest in Sarawak. *American Journal of Botany*, 84(2):208-213. <https://doi.org/10.2307/2446082>.

Efecto de la variación climática en una especie de cactácea rara

Tania Fernández-Muñiz^{1,2*} y María C. Mandujano^{1**}

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

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

*tania_1111@hotmail.com

**mmandujano@iecologia.unam.mx

Resumen

En general, las cactáceas crecen en áreas con grandes limitaciones de recursos, lo que las hace vulnerables a la extinción local. Para asegurar su supervivencia, desarrollan una asignación diferencial de recursos que se refleja en *trade-offs* (intercambios) entre las diferentes tasas vitales asociadas a la adecuación (supervivencia, crecimiento y fecundidad). Estos *trade-offs* varían entre especies, así como a lo largo del ciclo de vida y pueden estar asociados a factores ambientales locales. En este estudio se evalúa el efecto de la variación climática interanual en la asignación de recursos a tasas vitales en una especie de cactácea que presenta rareza biogeográfica (*Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmolli*). Con observaciones de ocho años, las tasas vitales se relacionaron con datos climáticos utilizando correlaciones tipo Spearman. Se encontró un *trade-off* entre la supervivencia de individuos adultos y la fecundidad, el cual fue más marcado en años con mayor precipitación. Esta investigación provee de nuevas perspectivas en cuanto a las estrategias utilizadas por cactáceas globosas raras para evitar su extinción en estos ambientes limitantes.

Palabras clave: Cactaceae, *Thelocactus*, *trade-offs*, variación temporal.

Abstract

In general, cacti grow in areas with severe resource limitations, making them vulnerable to local extinction. Cacti have evolved a differential allocation of resources to ensure their survival. This is reflected in trade-offs among vital rates associated with fitness (survival, growth, and fertility). These trade-offs vary between species and throughout the life cycle of a single species and might be related to local environmental factors. In this study, we assessed the effect of interannual climatic variation on the resource allocation to vital rates in a cactus with biogeographical rarity (*Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmolli*). With eight-year observations, vital rates were related to climatic data using Spearman correlations. The trade-off between the survival of adult individuals and fertility is more apparent in years with higher rainfall. The research provides new insights into the strategies rare globose cacti use to avoid extinction in these limiting environments.

Keywords: Cactaceae, temporal variation, *Thelocactus*, trade-offs.

Importancia para la conservación

En especies con rareza biogeográfica resulta importante llevar a cabo estudios sobre la influencia del clima en la adecuación de estas especies y sus repercusiones a largo plazo. De esta manera se conocen las estrategias que utilizan estas especies para el mantenimiento de sus poblaciones, evitar su extinción local y servir como guía para la toma de decisiones en programas de manejo para su conservación.

Introducción

En las zonas áridas y semiáridas existe una severa limitación de recursos, y se plantea que las plantas tienen que optimizar el uso de estos escasos recursos para asegurar su supervivencia y reproducción (Lundgren y Des Marais, 2020). Esta asignación diferencial de recursos genera *trade-offs* (mecanismos de compensación) entre las diferentes tasas vitales a lo largo del ciclo de vida de las especies, repercutiendo en su adecuación (Caswell, 2001). Sin embargo, la medida en que la fuerza y la forma de estos *trade-offs* están determinados por las diferencias ambientales es una pregunta trascendental para entender la ecología de poblaciones (Pfister, 1998).

La especie de estudio, *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii* (Werderm.) Mosco & Zanovello, es una cactácea microendémica del sur del Desierto Chihuahuense, en el estado de Querétaro, México, por lo que se considera una especie con rareza biogeográfica (Hernández y Gómez-Hinostrosa, 2011). El objetivo de este trabajo es analizar si la diferencia en la disponibilidad de recursos interanual (variación temporal) tiene algún efecto sobre la variación intraespecífica, reflejándose en la presencia de *trade-offs*, y cómo esto repercute en la adecuación de una población de cactus que presenta rareza demográfica.

Métodos

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el Municipio de Peñamiller en el estado de Querétaro, México. El clima predominante en este sitio es semicálido-semiseco con lluvias en verano (INEGI, 2015).

Variación temporal y Trade-offs

Se realizó una matriz de correlación de Spearman con los diferentes parámetros demográficos (fecundidad [producción de semillas y reclutamiento], supervivencia [plántulas y adultos] y crecimiento), obtenidos de un estudio demográfico anterior (Fernández-Muñiz, 2017) y los valores de las variables climáticas anuales correspondientes a dichos años (2015-2022). Los datos climáticos fueron obtenidos de la estación climática más cercana al sitio (Weather Underground, 2022) [Temperatura mensual mínima y máxima (°C), humedad mensual mínima,

máxima y promedio (%) y precipitación acumulada (mm)] (Fernández-Muñiz et al., 2024).

Resultados

Se encontraron correlaciones significativas negativas, indicando un *trade-off*, entre la temperatura mínima y la supervivencia de las plántulas y la fecundidad (Tabla 1; $P = 0.03$ y; $P = 0.001$, respectivamente), además de una correlación negativa entre la supervivencia de adultos y la precipitación acumulada (Tabla 1; $P = 0.03$). Por otra parte, se encontró una correlación positiva entre la supervivencia de los adultos y la temperatura mínima del sitio (Tabla 1; $P = 0.01$). Son sugerentes las altas correlaciones de los parámetros demográficos con la precipitación acumulada, particularmente la relación positiva con la fecundidad y la supervivencia de plántulas.

Tabla 1. Matriz de correlación de Spearman entre parámetros demográficos y condiciones abióticas para la población de *Thelocactus leucacanthus* ssp. *schmollii*, en Agua del Ángel, Peñamiller, Querétaro, México. Se indican los valores de *P* entre paréntesis. * indica correlación significativa en $\alpha=0.05$. La correlación toma valores entre -1 y +1. Un valor de 0 muestra que no hay asociación entre las dos variables. Un valor positivo indica que las variables incrementan y un valor negativo que una decrece y la otra incrementa. Modificado de Tabla 5 (Fernández-Muñiz et al., 2024).

		Año <i>t</i>					
		Temperatura máxima	Temperatura mínima	Humedad máxima	Humedad mínima	Humedad promedio	Precipitación acumulada
Año (<i>t</i> + 1)	Crecimiento	-0.055	-0.477	0.367	0.2	0.109	0.582
		-0.91	-0.28	-0.42	-0.67	-0.82	-0.17
	Supervivencia plántulas	0.306	-0.809*	0.445	-0.306	-0.324	0.667
		-0.5	-0.03	-0.32	-0.5	-0.48	-0.1
	Supervivencia adultos	-0.234	0.882*	-0.373	-0.018	0.108	-0.811*
		-0.61	-0.01	-0.41	-0.97	-0.82	-0.03
	Fecundidad	0.414	-0.918*	-0.227	-0.09	-0.324	0.703
		-0.36	-0.001	-0.62	-0.85	-0.48	-0.08
	Reclutamiento	0.414	-0.918*	-0.227	-0.09	-0.324	0.703
		-0.36	-0.001	-0.62	-0.85	-0.48	-0.08

Discusión

Como se esperaba, se encontraron *trade-offs* entre algunas tasas vitales, asociados a la diferencia entre años en la disponibilidad de recursos. Se encontró una correlación negativa entre la temperatura mínima con la supervivencia de las plántulas y la fecundidad, siendo esta variable abiótica un factor clave para el mantenimiento de la población. Además, una correlación negativa entre la supervivencia de adultos con la precipitación acumulada, lo que indica que una mayor cantidad de este recurso puede no resultar favorable para la supervivencia de los adultos, aunque si parece favorecer a la fecundidad y supervivencia de las plántulas (correlación positiva elevada, aunque no significativa). La distribución diferencial de los *trade-offs* entre etapas de regeneración y los estadios adultos es un proceso que describió Grubb, (1977) en el concepto del nicho de regeneración, donde dice que una especie no puede persistir si las condiciones ambientales son sólo adecuadas para el crecimiento y la supervivencia (de adultos) pero no para la dispersión, germinación y establecimiento de nuevos individuos. Cabe resaltar que no todas las especies responden de igual manera a la variación ambiental pues cada una posee características diferentes en cada etapa de su ciclo de vida; por lo

tanto, la habilidad por competir con otras dentro de la comunidad y de sobrevivir va a ser diferencial; de ahí la importancia de considerar las diferentes etapas del ciclo de vida de la especie en estudios de este tipo (Grubb, 1977). Con este estudio descubrimos que, en esta población, la supervivencia —tasa vital a la que se le asigna más recursos— se asocia con la temperatura mínima del sitio. Asimismo, podemos afirmar que solamente puede favorecerse la reproducción y supervivencia de plántulas en años con mayor disponibilidad de recursos, principalmente precipitación pluvial por arriba del promedio. Este estudio muestra que, aunque es conocido que diversas especies en ambientes estresantes muestran patrones de historia de vida similares, los *trade-offs* en las tasas vitales se detectan únicamente cuando las condiciones son extremas, dándonos una idea de las estrategias que siguen estas especies para su supervivencia y puedan servir como guía para la toma de decisiones en programas de manejo para su conservación.

Agradecimientos

Esta investigación es parte del estudio de doctorado de Tania Fernández-Muñiz. La contribución completa está publicada en Fernández-Muñiz et al. 2024. El apoyo económico para la realización de

este trabajo fue otorgado por beca a TFM de CONAHCYT. CONABIO con el proyecto “Gestión y Divulgación de información de especies invasoras en México” y Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324>>otorgados a MCM. Agradecemos a la Dra. Mariana Rojas Aréchiga por el apoyo brindado para las salidas de campo.

Referencias bibliográficas

- Caswell, H. (2001). *Matrix population models: construction, analysis, and interpretation* (2nd ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Fernández-Muñiz, T., Mandujano, M.C. y Alberto Búrquez. (2024). Trade-off dynamics in a rare cactus: What are the demographic consequences of temporal variation in fitness? *Journal of Arid Environments*, 221:105135.
- Grubb, P. J. (1977). The Maintenance of Species-Richness in Plant Communities: The Importance of the Regeneration Niche. *Biological Reviews*, 52(1):107–145. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1977.tb01347.x>
- Hernández, H. M. y Gómez-Hinostrosa, C. (2011). *Mapping the cacti of Mexico: their geographical distribution based on referenced records*. México, D.F. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- INEGI. (2015). *Anuario estadístico y geográfico de Querétaro 2015*. Retrieved from <https://eds-p-ebSCOhost-com.pbidi.unam.mx:2443/eds/resultsadvanced?vid=45&sid=98830d34-0f60-4f7f-88d0-48812fad5ba9%40redis&bquery=Anuario+estadístico+y+geográfico+de+Querétaro&bdata=JmxhbmC9ZXMmdHlwZT0xJnNIYXJjaE1vZGU9U3RhbmRhcmQmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3D%3D>
- Lundgren, M. R. y Des Marais, D. L. (2020). Life History Variation as a Model for Understanding Trade-Offs in Plant–Environment Interactions. *Current Biology*, 30(4): R180–R189. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2020.01.003>
- Pfister, C. A. (1998). Patterns of variance in stage-structured populations: Evolutionary predictions and ecological implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(1):213–218. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.1.213>
- Weather Underground. (2022). CEA-Peñamiller - IQTSANTI4. Retrieved February 15, 2022, from <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/IQTSANTI4/graph/2014-11-9/2014-11-9/monthly>

Reseña de “El Ocotillo” (*Fouquieria splendens*), una nodriza de Mapimí, México

David Brailovsky Signoret^{1*}

¹ Laboratorio de Cactología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 3er circuito ext. s/n, C.U. Coyoacán, C.P. 04510 México D.F.

*cactovsky@gmail.com

Resumen

Este escrito constituye un resumen del artículo publicado recientemente en la revista “*Cactáceas y Suculentas Mexicanas*” (Brailovsky, 2023). Las especies nodrizas son aquellas que favorecen el desarrollo de otras plantas en su cercanía, como sucede en las zonas áridas y semiáridas de México con los mezquites (*Prosopis* spp.) y huizaches (*Acacia* spp.). Se estudió la relación del Ocotillo (*Fouquieria splendens*) con otras plantas en la región central del Bolsón de Mapimí, en la Región del Desierto Chihuahuense (RDC). Se estudiaron áreas de 1,000 m² en espacio abierto y cubierto, divididas en dos parcelas por comunidad. Los datos fueron analizados a manera de una tabla de contingencias, valores relativos de relación y pruebas de χ^2 . Diversos efectos positivos relacionados con la estructura morfológica y la biología del ocotillo pueden estar incidiendo en la formación de asociaciones vegetales. La máxima correlación se encuentra en sitios sobre Cerro San Ignacio y ello puede indicar la participación activa de los ocotillos en el establecimiento de plántulas. Considerar la ecología y la biología de las especies nodrizas eleva la supervivencia de otras plantas y permitirá el mejoramiento en la asignación de Áreas Naturales Protegidas (ANP) y Corredores Biológicos (CB) que integren la simbiosis.

Palabras clave: Desierto Chihuahuense, facilitación, mutualismo, cactáceas.

Abstract

This paper synthesizes a full scientific contribution published recently in “*Cactáceas y Suculentas Mexicanas*” (Brailovsky, 2023). Nurse plants benefit the establishment or development of other plants in their proximity, such as mezquites (*Prosopis* spp.) and huizaches (*Acacia* spp.) in arid and semiarid regions of Mexico. The relation of Ocotillo (*Fouquieria splendens*) with other plants was studied in the Bolsón de Mapimí, Chihuahuan Desert. Areas of 1,000 sq m of open and covered area were studied, divided into two sections per community. Contingency tables, relative relation values, and X² tests were conducted. Diverse positive effects related to the structure and biology of ocotillo formations were assessed. The maximum correlation was found in Cerro San Ignacio sites, indicating younglings’ establishment. Nurse plants’ ecology and biology are essential for the settling and developing floristic communities in arid and semiarid regions. Their consideration could improve Natural Protected Areas and Biological Corridors’ design, integrating symbiotic effects in Chihuahuan Desert conservation.

Keywords: Chihuahuan Desert, facilitation, mutualism, cacti.

Importancia para la conservación

El trabajo resalta la importancia de conocer el rol de las facilitadoras y nodrizas como posibles protectoras de ciertas plantas o comunidades completas. Este tipo de enfoque puede reforzar la estimación de tasas de colonización y permanencia, y el diseño de ANP y CB. Los ocotillos, leguminosas y asparagales pueden ser facilitadoras en la Región del Desierto de Chihuahua. La versión completa está disponible en Brailovsky (2023*).

Introducción

La teoría ecológica ha comenzado a dar mayor relevancia a las interacciones positivas entre las especies, que son relaciones ecológicas de las que sale beneficiada al menos una de ellas (Pugnaire y Moro, 2000). La facilitación es una interacción positiva en la cual se benefician una o más de las especies implicadas, mientras que en el mutualismo todas las especies resultan beneficiadas. La facilitación puede estar dada por plantas que afectan la disponibilidad de un recurso, las “ingenieras del ecosistema”, que son capaces de producir cambios en el estado de los factores bióticos y abióticos. En diversas regiones de México se ha explorado el papel de ciertas especies arbóreas y arbustivas como plantas nodrizas. Entre ellas destacan los Mezquites (*Prosopis* spp.) y Huizaches (*Acacia* spp.). El Ocotillo (*Fouquieria splendens* Engelm.) es un arbusto suculento perteneciente a la familia Fouquieriaceae (Figura 1), de unos 2.5 m de altura, ramificado desde las cercanías de la base (Henrickson, 1972) y cuyas ramas pueden alcanzar los 3 m de longitud (Bernat *et al.*, 2020).



Fig. 1. El Ocotillo es un arbusto decíduo de hasta 4 m de altura, muy cespitoso en su base.

Sitio de estudio y ambientes

La reserva de la Biosfera de Mapimí se encuentra en los paralelos 26°29' y 26°52' N y entre los meridianos 103°32' y 103°58' W, dentro de la subregión principal de la Región del Desierto Chihuahuense (RDC). Las altitudes van de 1,100 a 1,470 msnm. El clima es árido, con precipitación anual promedio de

271 mm en verano (CONANP, 2006 y 2023). La vegetación está conformada por matorral xerófito heterogéneo *sensu* Rzedowski (1978). Se muestrearon dos parcelas de 500 m² por comunidad, integrando: Cerro San Ignacio, Pie de Monte y Nopalera (Figura 2).

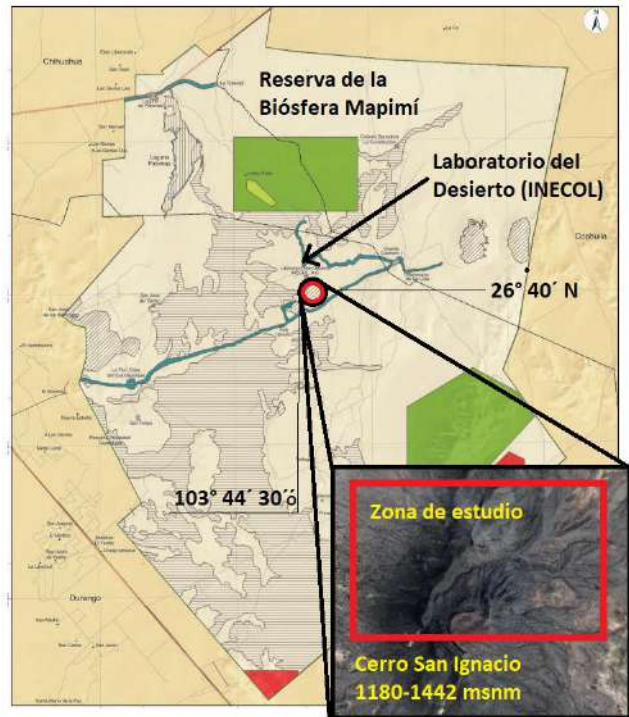


Fig. 2. Sitio de estudio en la Reserva de la Biosfera del Bolsón de Mapimí, Durango, México.

Métodos

Se muestrearon tres áreas: Cerro San Ignacio, Pie de Monte y Nopalera, observando asociaciones con especímenes de Ocotillo y situación en los espacios abiertos (Figura 3). Las áreas de muestra fueron de 1,000 m² por ambiente, dos de 500 m² por cada uno, se tomaron subáreas de 500 m² dentro de ellas para el muestreo con ocotillos (facilitación) y áreas testigo (espacio abierto sin ocotillos). Se marcaron transectos de 50 x 10 m, se colectaron muestras botánicas herborizadas. Los datos combinados se analizaron a manera de una tabla de contingencias, efectuando prueba de χ^2 , la cual señaló la ocurrencia de diferencias estadísticamente significativas entre comunidades. Esta valoración estadística es compatible de ser comparada con otras metodologías en aras de asignar prioridades con algún peso

ecológico (Williams et al., 1991). Se proporciona la lista florística de las especies con sus contingencias (Tabla 1). Las áreas de muestreo se seleccionaron por baja perturbación y accesibilidad. Las frecuencias pueden consultarse en Brailovsky (2023).

Resultados y discusión

La distribución de las plantas parece estar asociada con la presencia del ocotillo. Hay diferencias sobre todo entre el número de plantas asociadas en matorral cerrado y espacios abiertos. El ocotillo sí ejerce un papel relevante en el establecimiento de plántulas de cactáceas, diversas plantas compuestas y otras suculentas. La Tabla 1 muestra los valores de χ^2 observados (o) que se contrastan con el valor de tablas (t , 19.67). Las tendencias de relación se valoran de acuerdo a lo esperado en una zona sin ocotillos, o espacio abierto y la fuerza relativa indica una medida general de cuantas plantas ocurren a menos de 50 cm del tallo de los ocotillos (fuerte mayor a 10 plantas / transecto; media, 5 a 9 plantas; y débil, 4 o menos plantas). 11 especies de cactáceas y 28 especies de otras familias de plantas fueron halladas en asociación. Diversos autores han reportado la presencia de cactáceas con nodrizas, como sucede en Tehuacán-Cuicatlán (Fleming y Valiente-Banuet, 2002), y se ha visto que inclusive ocurre una sucesión. Algunas plantas que recibieron los beneficios de la relación de facilitación posteriormente brindan efectos facilitadores a otras especies (Fleming y Valiente-Banuet, 2002). Al igual que diversas cactáceas del Valle de Tehuacán son beneficiadas por especies nodrizas (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991), las cactáceas de la RDC podrían estar beneficiándose notablemente de asociaciones con otras especies, entre ellas leguminosas y asparagales. El Ocotillo es una planta habituada a los ambientes desérticos con suelos pedregosos que actúa como facilitadora, se adapta bastante bien a las condiciones de suelos pobres, se abre camino con sus raíces entre la roca y el escaso suelo, contribuyendo a la intemperización del sustrato. El efecto facilitador es más claro en las zonas elevadas. Los efectos de facilitación son amplios, e incluyen sombreado, generación de un microclima más húmedo, acumulación de agua y

nutrientes, así como posible protección contra depredación. Los efectos en la captación de agua y nutrientes podrían superar a los de otras plantas.



Fig. 3. Aspecto general del Cerro San Ignacio desde un bordo o represa inferior. Se observa la vegetación riparia, seguida de las Nopaleras, los Pies de Monte y las pendientes y acantilados.

Agradecimientos

Agradezco a Beatriz Maruri y Emiliano Sánchez la invitación para divulgar los resultados del trabajo. La investigación fue financiada con las becas de maestría del CONACYT y la UNAM. El Instituto de Ecología de la UNAM proporcionó vehículos para el traslado. El INECOL facilitó las instalaciones del Laboratorio del Desierto en Mapimí. Agradezco las revisiones de Alfonso Valiente-Banuet, María del Carmen Mandujano, Mariana Rojas y Héctor Hernández.

Referencias bibliográficas

- Bernat, A., Tsz So Tang, A., Steenson, A. y Larsen, E. (2020). Reframing *Fouquieria splendens* in its larger environmental and ecological context: Effect of topography and interspecific neighbors on ocotillo morphology and distribution. *bioRxiv*, *The preprint server for biology*. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.11.28.397018v2.full>
- X|x|Brailovsky, D. (2023). El Ocotillo (*Fouquieria splendens* Engelm.): Planta nodriza en el Bolsón de Mapimí, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 68 (1): 4-22.
- CONANP. (2006). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera Mapimí*. SINANP y SEMARNAT, México.
- CONANP. (2023). <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=139®=4>

- Fleming, T.H. y Valiente-Banuet, A. (2002). *Columnar Cacti and their mutualists: Evolution, Ecology and Conservation*. The University of Arizona Press. USA. 371 pp.
- Henrickson, J.S. (1972). A taxonomic revision of the Fouquieriaceae. *Aliso*, 7: 439-537.
- Pugnaire, F.I., y Moro, M. J. (2000). Interacciones positivas entre plantas. *Investigación y Ciencia*, 287:80-83.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Editorial Limusa. 432 pp.
- Valiente-Banuet, A., y Ezcurra, E. (1991). Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisiana* in the Tehuacán Valley, Mexico. *J. Ecology*, 79: 961-971.
- Williams, P., Humphries, C., Vane-Wright, R. (1991). Measuring biodiversity: Taxonomic relatedness for conservation priorities. *Austral. Syst. Bot.*, 4: 665-679.

Tabla 1. Listado de especies halladas en el sitio de estudio*. Condensado de tendencias (tomado de Brailovsky, 2023).

ID	Taxa	X ² 0	Dif s.	Cerro San Ignacio	Pie de monte	Nopalera	
Cactáceas							
1	<i>Echinomastus mapimiensis</i> sensu Korotkova	5.76	no				
2	<i>Echinocereus enneacanthus</i> sensu Korotkova	16.63	no				
3	<i>Sclerocactus unguispinus</i>	5.76	no				
4	<i>Escobaria tuberculosa</i>	57.67		+	f	+ m	+ d
5	<i>Mammillaria lasiacantha</i>	5.76	no				
6	<i>M. pottsii</i>	23.4		+	f	+ d	+ d
7	<i>Cylindropuntia imbricata</i>	5.76	no				
8	<i>C. kleiniae</i>	41.61		+	f	+ d	+ d
9	<i>C. leptocaulis</i>	79.73		+	f	+ m	- d
10	<i>Opuntia microdasys</i>	33.45		+	m	- f	+ d
11	<i>O. rastrera</i>	296.33		+	f	- d	- mf
Otras familias							
12	<i>Agave asperima</i>	173.7		+	m	+ d	- m
13	<i>Ambrosia</i> sp.	431.65		+	f	+ f	+ mf
14	<i>Bahia</i> sp. 1	52.29		+	d	+ d	+ f
15	<i>Bahia</i> sp. 2	458.86		+	d	+ mf	+ m
16	<i>Boerhavia erecta</i>	65.53		+	m	- mf	+ d
17	<i>Bouteloua barbata</i>	358.66		-	mf	+ f	+ m
18	<i>Castela tortuosa</i>	33.96		-	d	+ d	- f
19	<i>Chamaechrista</i> sp.	340.89		-	f	- mf	+ d
20	<i>Dalea</i> sp.	24.77		+	f	+ d	- m
21	<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	49.72		+	m	- m	+ f
22	<i>Flourensia cernua</i>	10.18	no				
23	<i>Hilaria</i> sp.	24.97		+	d	+ d	+ d
24	<i>Jatropha dioica</i>	171.79		+	f	- f	- f
25	<i>Krameria</i> sp.	115.46		+	d	+ d	+ mf
26	<i>Larrea tridentata</i>	185.57		+	f	- f	- f
27	<i>Linum</i> sp.	20.52		+	m	+ mf	+ f
28	<i>Lippia graveolens</i>	82.59		+	d	+ d	+ mf
29	<i>Machaeranthera</i> sp.	37.31		+	d	+ d	+ -
30	<i>Mimosa</i> sp.	41.35		+	d	+ d	+ d
31	<i>Parthenium incanum</i>	32.9		+	m	+ m	+ f
32	<i>Porophyllum scoparium</i>	27.38		+	f	- m	+ d
33	<i>Sarcomphalus obtusifolius</i>	10.18	no				
34	<i>Senna cobensis</i>	41.35		+	d	+ d	+ d
35	<i>Tagetes</i> sp.	23.65		+	d	+ d	+ d
36	<i>Tripsacum lanceolatum</i>	80.01		-	f	+ d	+ m
37	<i>Trixis</i>	23.65		+	d	+ d	+ d
38	<i>Viguiera</i> sp.	25.38		+	d	+ d	+ m
39	<i>Yucca torreyi</i>	13.21	no				

Redes de polinización e interferencia de una planta exótica invasora

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

¹ Laboratorio de Genética y Ecología, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México

*narratusnaturae@gmail.com

**mcmandujano@iecologia.unam.mx

Resumen

El análisis de redes permite entender los sistemas de interacción planta-polinizador y evaluar su respuesta ante eventos de perturbación ecológica, como la invasión de plantas exóticas. El objetivo del presente estudio es caracterizar las redes de interacción planta-polinizador del fragmento de semidesierto del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, México, y evaluar el posible efecto de interferencia de la especie invasora *Kalanchoe delagoensis*. Se están realizando salidas de campo mensuales para el registro de visitantes florales por medio de observaciones directas y material audiovisual. Se construirá una red de interacciones global y redes por cada temporada del año, para describir su topología y evaluar el papel de *K. delagoensis*. También se evaluarán la calidad y la dinámica de producción del néctar de *K. delagoensis*. Hasta el momento se han acumulado más de 50 horas de observación de visitantes florales sobre 47 especies de plantas, y se han registrado polinizadores de cinco órdenes de insectos y cuatro familias de aves. Estos datos aportan al conocimiento de las comunidades de plantas y polinizadores en el semidesierto queretano, y se espera que contribuyan a entender las redes locales de polinización y los impactos de las especies exóticas invasoras en la región.

Palabras Clave: Semidesierto, red de interacciones, comunidad, especies invasoras, *Kalanchoe delagoensis*.

Abstract

Network analysis facilitates understanding of plant-pollinator interaction and the evaluation of their responses to ecological disturbances, such as exotic plant invasions. We aim to characterize the interaction networks between plants and pollinators in a semi-desertic ecosystem at the Jardín Botánico Regional de Cadereyta, México, and to evaluate the interference effect of the invasive species *Kalanchoe delagoensis*. Monthly observation rounds of floral visitors are conducted. The topology of global and seasonal interaction networks will be described, and the role of *K. delagoensis* in such networks will be evaluated. Nectar quality and production by *K. delagoensis* will also be studied. More than 50 observation hours have been accumulated on 47 flowering plant species until now. Floral visitors from five insect orders and four bird families have been recorded. These data widen the current knowledge of plant and pollinator communities of semi-desertic environments in the state of Querétaro. They will contribute to the understanding of local pollination networks and their responses to invasive plant species.

Key Words: Semi-desert, interaction networks, community, invasive species, *Kalanchoe delagoensis*.

Importancia para la conservación

Las interacciones ecológicas entre plantas y polinizadores son fundamentales para la reproducción de las plantas, la persistencia de las comunidades vegetales a largo plazo y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. Por ello, conocer las redes de interacción planta-polinizador del semidesierto queretano, y su respuesta ante las invasiones biológicas, resulta fundamental para la conservación integral de la biodiversidad de la región.

Introducción

Las interacciones ecológicas entre plantas y animales polinizadores son fundamentales para la persistencia de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Burkle & Alarcón, 2011). El análisis de redes permite definir la estructura y dinámica de los sistemas de interacción planta-polinizador a escala de comunidad, y evaluar su respuesta ante eventos de perturbación como la pérdida de hábitat, la extinción de especies y las invasiones biológicas (Burkle & Alarcón, 2011; Vizentin-Bugoni et al., 2018).

Las invasiones biológicas son consideradas como uno de los principales motivos de pérdida de biodiversidad a nivel global (Dogra et al., 2010). Las plantas exóticas invasoras pueden tener impactos negativos sobre la diversidad de plantas nativas, su distribución y/o abundancia, generando cambios en la estructura y composición de las comunidades y contribuyendo a la homogeneización de la flora (Dogra et al., 2010). Las plantas invasoras también pueden generar competencia por los visitantes florales, incrementar la tasa de deposición de polen heteroespecífico en los estigmas de plantas nativas, volverse dominantes en las redes de polinización o inducir cambios en su topología (Vanbergen et al., 2018; Parra-Tabla & Arceo-Gómez, 2021). Sin embargo, las investigaciones sobre el efecto de especies invasoras en las interacciones planta-polinizador se han enfocado en evaluar su capacidad para atraer visitantes florales, dejando de lado el análisis de redes a nivel de comunidad (Parra-Tabla & Arceo-Gómez, 2021). Más aún, la mayoría de los estudios sobre redes que existen para el trópico son parciales (restringidos a un subgrupo de plantas o polinizadores) y se han realizado para ecosistemas de bosque (Vizentin-Bugoni et al., 2018).

Lo anterior conduce al interés de caracterizar las redes de interacción planta-polinizador del fragmento de semidesierto asociado al Jardín Botánico Regional de Cadereyta y evaluar el posible efecto de interferencia que podría provocar *Kalanchoe delagoensis* (Crassulaceae), una suculenta ornamental altamente invasora en México.

Métodos

El estudio tiene lugar en el área silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta (JBRC), ubicado en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, México. El sitio conserva la vegetación natural de tipo matorral xerófilo crasicale.

Se están realizando salidas de campo mensuales para el registro de visitantes florales en plantas focales, seleccionadas de manera aleatoria entre todas las especies en floración del área de estudio. Cada evento de registro de visitantes florales tiene una duración de 20 minutos por planta y se lleva a cabo sobre un número definido de unidades florales. Las observaciones para especies de anthesis diurna tienen lugar entre las 8:00 y las 17:00 horas, en ausencia de lluvia, y pueden ser directas para el registro de insectos o por medio de binoculares para el registro de aves. También se están implementando dos métodos complementarios de muestreo indirecto: videos grabados por observadores estandarizados sobre las flores para el registro de insectos, e instalación de cámaras trampa para el registro de vertebrados. La identificación de visitantes florales se ha trabajado directamente en campo, de acuerdo con la guía de Maruri Aguilar et al. (2013) para aves, y con base en material audiovisual y el criterio de expertos para los insectos; se harán colectas para la evaluación en laboratorio de los taxones de artrópodos que así lo requieran. Se construirá una red de interacciones global y una red para cada temporada del año, calculando índices de red para describir su topología e índices de especie para evaluar el papel de *K. delagoensis*; también se evaluará el efecto de excluir los datos de *K. delagoensis* sobre las métricas de red.

Adicionalmente, se evaluarán la calidad y la dinámica de producción del néctar de *K. delagoensis* como principal recurso para los visitantes florales. Para ello, se embolsarán botones florales y se estimará el volumen de néctar producido por cada flor cada hora desde la anthesis. A partir de estas muestras de néctar se evaluará la concentración de azúcares y la presencia de compuestos tóxicos, reportados previamente para las estructuras vegetativas de la especie (Golubov Figueroa, 2012), los cuales podrían tener un impacto negativo sobre la fauna de polinizadores locales.

Resultados

Se han realizado visitas de muestreo al área de estudio, entre febrero y diciembre de 2023, con ca. 3500 minutos acumulados de observación de visitantes florales (58.3 h). Adicionalmente, se han capturado 65 minutos de video para el registro complementario de insectos polinizadores.

Los muestreos se han realizado sobre 47 especies de plantas pertenecientes a 25 familias distintas. Las familias más representativas han sido Cactaceae, Fabaceae, Asparagaceae y Lamiaceae, seguidas por Asteraceae, Euphorbiaceae, Rhamnaceae, Solanaceae y Verbenaceae. Entre los visitantes florales, se han registrado insectos de cinco órdenes: Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera y Hemiptera (ejemplos en la Figura 1). Las familias más representativas de abejas han sido Apidae, Halictidae y Megachilidae; las familias más comunes de mariposas son Hesperidae y Nymphalidae, y en el caso de los dípteros Bombyliidae y Syrphidae. En cuanto a los vertebrados, se han registrado visitas florales de colibríes (Trochilidae) y en menor frecuencia de otras aves de las familias Icteridae, Picidae y Troglydytidae (ejemplos en la Figura 1).

Discusión

Durante los meses de muestreo, se ha registrado una gran diversidad de visitantes florales utilizando los recursos ofrecidos por una amplia variedad de plantas presentes en el área silvestre del JBRC. Los datos obtenidos contribuyen al conocimiento de las interacciones ecológicas que tienen lugar en este fragmento de semidesierto queretano, y resultan particularmente importantes para profundizar en la ecología de algunos grupos de plantas y polinizadores poco estudiados en la región y en este tipo de ecosistemas de gran valor para México, como hierbas y arbustos silvestres, dípteros y mariposas.

Igualmente, se ha encontrado una gran diversidad en los tipos de interacciones registradas: desde especies de plantas y polinizadores altamente generalistas hasta taxones relativamente especializados, con visitas legítimas e ilegítimas (incluyendo múltiples eventos de robo de néctar), y con la posible existencia de módulos cuyos nodos

interactúan entre sí con mayor frecuencia que con otros taxones. Similar a lo reportado en un área relativamente cercana (Argueta-Guzmán et al., 2022).

La cuantificación de este tipo de propiedades de la red de interacciones será posible al continuar con los muestreos y avanzar en la identificación precisa de los visitantes florales. Esto permitirá, a su vez, profundizar en el efecto de la invasión de *K. delagoensis* en las comunidades locales.



Fig. 1. Ejemplos de visitantes florales registrados durante los primeros cinco meses de muestreo. (a) *Macrotera sinaloana* (Hymenoptera: Andrenidae) y *Ashmeadiella* sp. (Hymenoptera: Megachilidae) en flores de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae); (b) *Copestylum* sp. (Diptera: Syrphidae) en flores de *Forestiera phillyreoides* (Oleaceae); (c) *Danaus plexippus* (Lepidoptera: Nymphalidae) en inflorescencia de *Prosopis laevigata* (Fabaceae); (d) *Euphoria leucographa* (Coleoptera: Scarabaeidae) en inflorescencia de *Mimosa aculeaticarpa* (Fabaceae); (e) *Leucolia violiceps* (Aves: Trochilidae) en flores de *Opuntia tomentosa* (Cactaceae); (f) *Melanerpes aurifrons* (Aves: Picidae) en inflorescencia de *Agave salmiana* (Asparagaceae). (Fotografías: Andrés Pereira Guaqueta).

Cabe resaltar que el tiempo de muestreo acumulado hasta el momento solo representa una cuarta parte de lo proyectado para la totalidad de la

investigación, por lo que se espera seguir documentando nuevos taxones e interacciones que permitan entender mejor la ecología de las comunidades de plantas y polinizadores en la zona, así como contribuir a su conservación efectiva.

Conclusiones

El muestreo realizado hasta el momento sugiere la existencia de una red de interacciones planta-polinizador de gran diversidad y complejidad en el área silvestre del JBRC. Los registros obtenidos contribuyen al conocimiento de la ecología de las comunidades nativas de plantas y polinizadores, y se espera que contribuyan a entender su respuesta ante el proceso de invasión de una especie exótica como *K. delagoensis* en los ecosistemas de semidesierto del estado de Querétaro.

Agradecimientos

Andrés Pereira Guaqueta agradece la beca al CONAHCYT. El financiamiento a cargo de presupuesto institucional y Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324>a MCM. A Mariana Rojas Aréchiga por el apoyo para organizar las salidas de trabajo de campo.

Referencias bibliográficas

- Argueta-Guzmán, M., Golubov, J., Cano-Santana, Z., y 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.
- 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.
- Golubov, J. K. (2012). *Informe Final SNIB-CONABIO, proyecto No. GN047. Especies ornamentales invasoras: el caso de Kalanchoe delagoensis*. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx>
- Maruri Aguilar, B., García Valdés, A. I., y Pineda López, R. (2013). *Las aves del Jardín Botánico Regional de Cadereyta: una presencia interpretada*. Santiago de Querétaro, México: Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro.

- 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., Espindola, 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

Fenología, biología reproductiva y control de *Kalanchoe delagoensis*

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

¹Facultad de Ciencias e ²Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. 04510, Ciudad de México, CDMX, México

*alexa.karen@ciencias.unam.mx

**mcmdujano@iecologia.unam.mx

Resumen

Las especies exóticas invasoras amenazan la diversidad biológica en la región donde fueron introducidas. En México, *Kalanchoe delagoensis* (Crassulaceae) fue introducida por su valor ornamental y representa un problema para el aprovechamiento, conservación y estudio de especies vegetales nativas del semidesierto en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta, Querétaro. En este proyecto se plantea investigar diversos aspectos de su biología reproductiva y su fenología para proponer un método de control de bajo costo ambiental y económico para preservar la colección biológica en el sitio. La evaluación de la remoción mecánica mensual muestra una disminución significativa en el repoblamiento a partir del cuarto mes (noviembre), mientras que la fenología mostró un pico de floración en el mes de diciembre antecedida de una disminución en la producción de vástagos clonales. Tal y como se espera de una planta invasora, *K. delagoensis* posee sistemas de cruce mixtos, pues a pesar de producir más frutos y semillas mediante xenogamia (interramet), también lo hizo por autogamia. Finalmente, con la medición de parámetros florales y una prueba de *t* pareada se demostró la presencia de hercogamia.

Palabras clave: Fenología, biología reproductiva, control de especies exóticas invasoras (EEI), *Kalanchoe delagoensis*.

Abstract

Invasive alien species threaten biological diversity in the region where they are introduced. In México, *Kalanchoe delagoensis* (Crassulaceae) was introduced for its ornamental value and represents a problem for the use, conservation, and study of native plant species of the semidesert in the Botanical Garden Regional of Cadereyta, Querétaro. This project aims to investigate various aspects of the species reproductive biology and phenology to propose a method of control of low environmental impact and economic cost, to preserve the biological collection at the site. The evaluation of the monthly mechanical removal showed a significant decrease in repopulation from the fourth month (November), while the phenology showed a peak of flowering in December, preceded by a decrease in the production of clonal shoots. As expected from an invasive plant, *K. delagoensis* has mixed crossing systems because despite producing more fruits and seeds by xenogamy (interramet), it also did by autogamy. Finally, this species has hercogamy according to floral parameters and paired t-tests.

Keywords: Phenology, reproductive biology, control of invasive alien species (IAS), *Kalanchoe delagoensis*.

Importancia para la conservación

Kalanchoe delagoensis es una especie exótica invasora que representa una amenaza para la biodiversidad pues afecta la estética y estructura de la comunidad vegetal nativa. Se desconoce la forma de realizar su control al menor impacto posible, por lo que, en este estudio se busca proponer un método de control y erradicación de esta planta dentro del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, Querétaro tomando como base su biología y fenología.

Introducción

Las especies exóticas invasoras (EEI) amenazan la biodiversidad al modificar la estructura ecosistémica del área donde son introducidas. El estudio de la biología reproductiva y la fenología de EEI son esenciales para proponer y establecer protocolos para su control y erradicación. Varias especies de *Kalanchoe* (Crassulaceae) son nativas de África y Asia y producen grandes cantidades de vástagos clonales muy resistentes como pseudobulbilos en el borde de sus hojas. Por la belleza de las hojas verdes suculentas con patrones atigrados y sus flores vistosas, alrededor de 6 especies de *Kalanchoe* se han introducido, cultivado y comercializado como plantas de ornato y se han establecido como EEI. Debido a su alta plasticidad, *Kalanchoe delagoensis* se adapta rápidamente y acidifica el suelo para impedir el establecimiento de flora nativa en su periferia, es tóxica y en grandes cantidades puede ser mortal. La llegada y establecimiento de esta EEI al Jardín Botánico Regional de Cadereyta, representa un problema para el propósito de la institución como un centro de conservación, aprovechamiento y estudio de especies nativas del semidesierto queretano, por lo que es necesario el establecimiento de un protocolo para su control y erradicación. En este estudio se plantea calcular el monto de inversión mensual requerido para esto, considerando que, de acuerdo con la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (2023), el salario mínimo diario corresponde a \$207.44 pesos.

Método

Área de estudio

El presente estudio se realizó entre agosto de 2022 a junio de 2023 en la zona silvestre del Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Ing. Manuel González de Cosío” en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, México (20° 41' 15.8" latitud Norte y 99° 48' 17.7" de longitud Oeste, a 2046 m.s.n.m.). Presenta vegetación perturbada y de transición (Ugalde et al., 2004). El clima es semiseco templado con régimen de lluvias en verano; la temperatura promedio anual es de 16.7°C con máximas de hasta 38°C. La precipitación promedio es cerca de 550 mm al año (Bravo-Hollis, 1978; CONCyTEQ, 2008).

Modelo de estudio: *Kalanchoe delagoensis* Eckl. & Zeyh.

La “madre de millones” es una especie nativa de Madagascar que fue introducida a México por su valor estético y posteriormente propagarse para horticultura (CONABIO, 2021). Es una planta suculenta herbácea, de hábito perenne, que puede alcanzar hasta 1.80 m de altura, habita en ambientes secos o rocosos y áreas perturbadas. Sus hojas verticiladas en grupos de tres son de color verde pálido con patrón moteado de color marrón violáceo, poseen una ranura adaxial con márgenes enteros, exceptuando la parte apical donde se ubican de 3 a 9 dientes cónicos de donde surgen sus vástagos clonales (pseudobulbilos). Sus tallos son simples, pero pueden tener hasta 3 ramificaciones. Produce densas inflorescencias terminales corimbiformes; sus flores son colgantes, de color rojo a naranja. Produce néctar y polen como atrayente y recompensa floral. Los frutos son secos con dehiscencia longitudinal y semillas marrones de aproximadamente 1 mm de largo (CABI, 2019) (Figura 1).



Fig. 1. *Kalanchoe delagoensis* en floración.

Diseño experimental

Después de un recorrido por el área silvestre del jardín botánico, se identificaron cuatro parches poblacionales de kalancho. Uno de ellos se seleccionó para fungir como control del experimento de remoción mecánica (realizado en los parches restantes) y del seguimiento fenológico.

Fenología

Mediante la selección aleatoria de 20 cuadros de 50 cm² se registró el número de individuos/rosetas presentes con altura menor y mayor a 50 cm. Debido a la poca visibilidad del suelo, no se realizó el conteo de plántulas. También se determinó la fenofase en la que se encuentran

- Reproducción clonal: presencia de pseudobulbilos en el borde foliar.
- Botones florales: desde que fueron visibles hasta la preantesis floral.
- Flores en anthesis: perianto abierto.
- Frutos: carpelos con dehiscencia longitudinal o perianto desprendido.

Mensualmente, se colectaron 20 plantas provenientes de este parche poblacional: 10 plantas de tamaño chico (<50 cm) y 10 plantas grandes (>50 cm). Estas plantas se almacenaron individualmente en bolsas herméticas de papel para registrar la altura de la planta, el número de hojas, pseudobulbilos, botones florales, flores y frutos producidos (en caso de conservar las inflorescencias/infrutescencias). Finalmente se realizó estadística circular con la versión 4.2.3 de R y Rstudio para describir las fenofases de *Kalanchoe* y estimar en qué momento la remoción tendrá mejor efecto, considerando una menor dispersión de vástagos clonales o semillas.

Reproducción sexual

Morfometría floral: La morfometría floral se determinó a partir de la medición (mm) (flores fijadas en FAA 2:1:10:7; una flor de treinta individuos diferentes) de la longitud del estigma más largo, la longitud del lóbulo estigmático y la distancia mínima antera-estigma (Mandujano et al. 2010). Se realizó estadística descriptiva y una prueba de *t* pareada usando Rstudio para determinar si las flores de *K. delagoensis* presentan hercogamia y con Excel 365 se realizó una gráfica de dispersión.

Producción de néctar y apertura floral: La producción de néctar se determinó mediante la segmentación de 30 flores abiertas (15:00 h), cada una de 30 individuos diferentes para obtener una gota de néctar y medir la concentración de azúcares (°Brix) con un refractómetro. Por otro lado, con bolsas de organza se encerraron botones florales preantesis y flores abiertas para realizar la medición de la producción de néctar (µL) mediante la extracción total de néctar con tubos capilares de 50 µL. Para los botones preantesis, se midió la producción de néctar y la apertura floral en diferentes horarios (10:00, 13:00 y 16:00 h). Posteriormente se realizó estadística descriptiva con Rstudio.

Sistemas de cruza: Los experimentos de cruza controladas que se realizaron durante noviembre y diciembre para una flor de cada uno de los 30 individuos (bloques) son:

- Control: flores expuestas a polinización natural y que fueron embolsadas posteriormente.
- Apomixis: botones preantesis emasculados mientras las anteras estaban cerradas y los estigmas no receptivos.
- Autopolinización natural: botones preantesis embolsados y sin manipulación.
- Autopolinización manual: botones preantesis embolsados y cuando la flor abrió, se autopolinizó manualmente. Para evitar la interferencia de polen, el pincel usado se limpiaba con alcohol para promover la muerte por desecación de los granos de polen.
- Polen suplementario: buscando la interferencia de polen, se agregó polen de otros individuos a flores expuestas y posteriormente se embolsaron.
- Interramet: Mediante la emasculación y el embolsamiento de botones preantesis, se polinizó manualmente con polen de otros individuos.

Una vez que se formaron los frutos, se colectaron para realizar la limpieza y conteo de las semillas.

Remoción mecánica:

Dentro de los otros tres parches de *Kalanchoe* se establecieron 10 parcelas de remoción, cada una de 1 m² delimitado con alambre galvanizado y clavos. Durante la remoción mensual se tomó registro del número de individuos removidos según su altura (mayor o menor de 50 cm), así como el tiempo de remoción por persona(s) para cada cuadro. Debido a que la remoción de agosto de 2022 correspondió a 9 bolsas de basura (94 x 140 cm) almacenadas en la zona de residuos del jardín botánico donde se espera su pudrición, secado e integración a la composta seca, no se realizó la medición del peso húmedo y seco, sino que se estimó el peso húmedo removido. A partir de septiembre, se obtuvo el peso húmedo y seco (g) de todos los *Kalanchoe* de rebrote o recolonización de cada uno de los cuadros de remoción.

Resultados

Fenología

El pico de floración ocurre en diciembre (Figura 2).

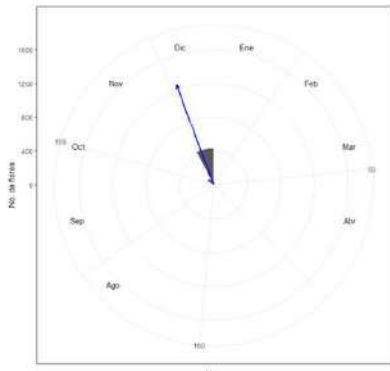


Fig. 2. Producción floral de *K. delagoensis*.

La producción de pseudobulbilos disminuye antes, durante y después de la floración y fructificación (Figuras 3 y 3.1).

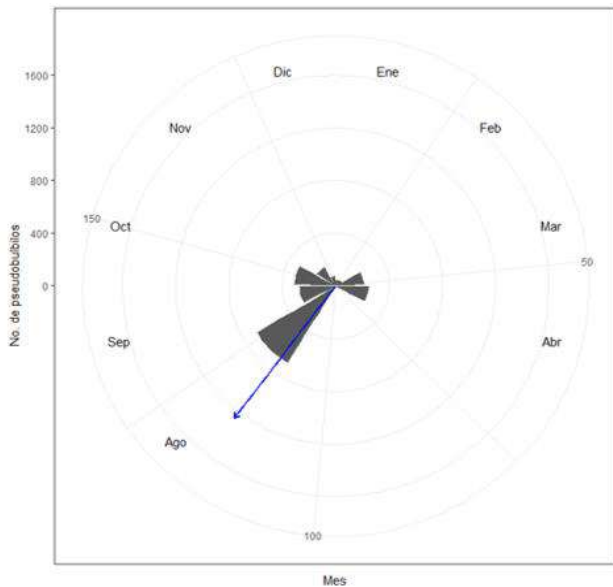


Fig. 3. Cantidad de vástagos clonales producidos mensualmente.

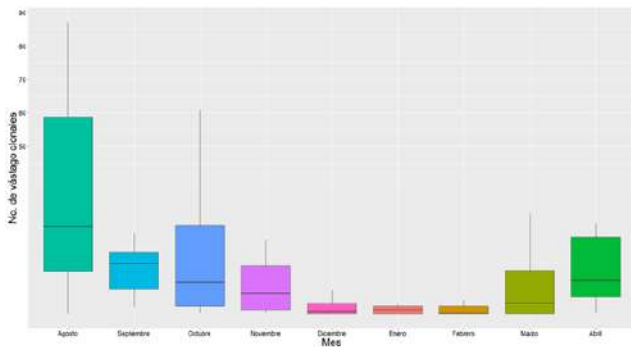


Fig. 3.1. Disminución en la producción de pseudobulbilos producidos durante el periodo de preantesis y antesis.

Reproducción sexual

Las flores presentan hercogamia (Figura 4). El sistema sexual predominante es xenogamia, pero la autogamia es común (Figura 5).

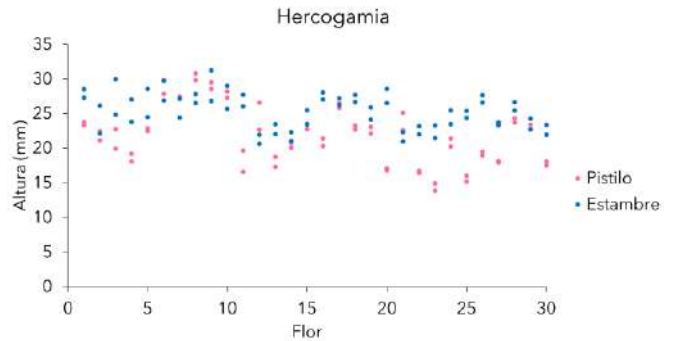


Fig. 4. Longitud mayor y mediana del estambre y el pistilo de *K. delagoensis*.

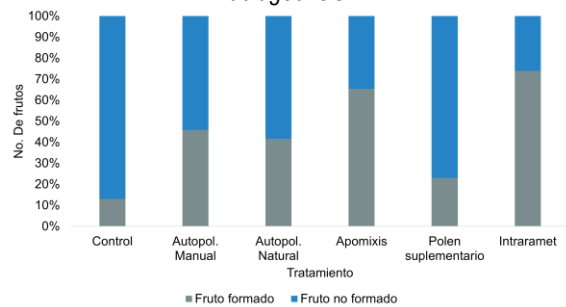


Fig. 5. Frecuencia relativa en la producción de frutos productos del experimento de polinización controlada.

Remoción

A partir del cuarto mes (noviembre), hubo una reducción significativa del rebrote (Figura 6).

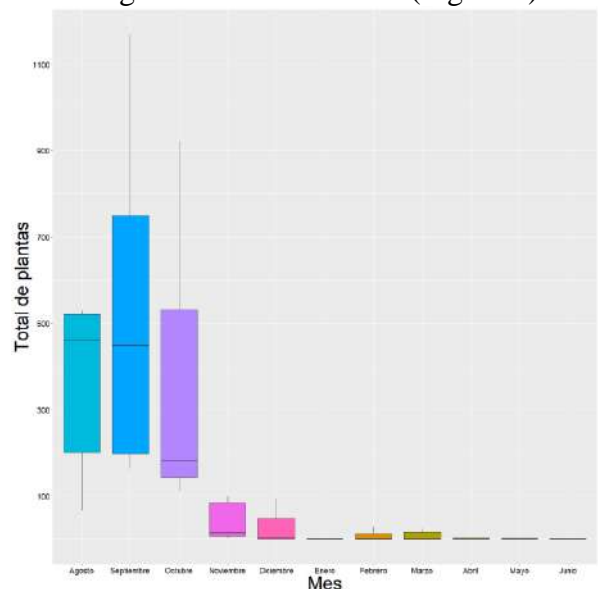


Fig. 6. Número total de plantas removidas mensualmente.

La persistente presencia de plantas chicas probablemente se explica por la dispersión de los pseudobulbilos de plantas grandes (Figura 7).

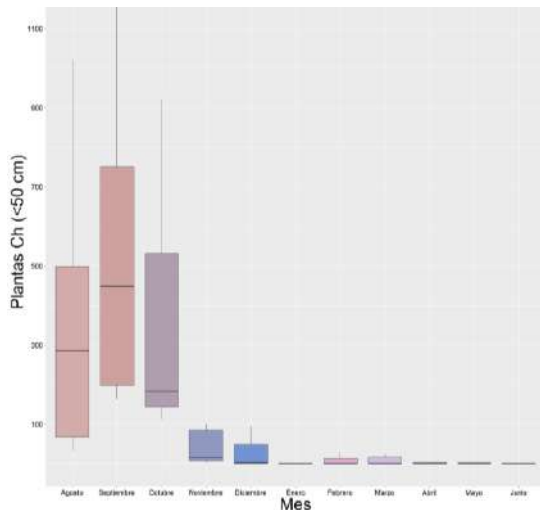


Fig. 7. Número total de plantas removidas con altura menor a 50 cm

La inversión de capital es mayor durante los primeros 3 meses de control y erradicación (Figura 8).

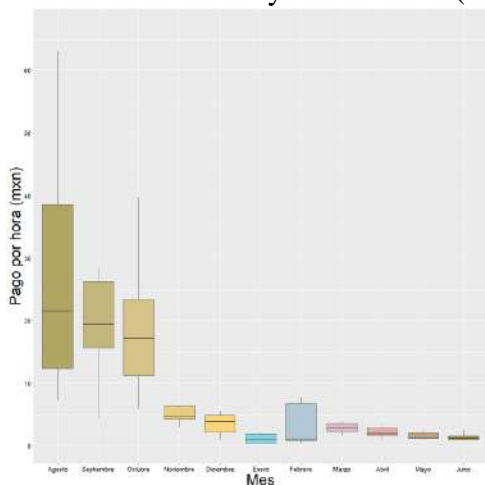


Fig. 8. Estimación de la inversión económica necesaria para aplicar el presente protocolo de remoción mecánica.

Discusión

Al presentar un sistema de cruce mixto con autogamia autónoma, las probabilidades de mantener la fecundidad y establecer colonias de *Kalanchoe delagoensis* a partir de un individuo parental incrementan de acuerdo con la ley de Baker (1955). Por lo que, la especie es capaz de mantener y perpetuar una población incrementando así su

potencial de invasión y sin requerimiento de polinizadores. Dentro del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, la invasión por la planta perenne *Kalanchoe delagoensis* se encuentra en etapas avanzadas, por lo que, para un control exitoso, se requiere la reducción de la supervivencia, y por tanto la interrupción de los procesos demográficos que influyen en el crecimiento poblacional, como el crecimiento y la reproducción. Por el contrario, si la especie a controlar fuera de vida corta, sólo se requiere la interrupción de uno o preferentemente ambos de estos procesos (Ramula et al., 2008). La propagación vegetativa de *K. delagoensis* ha sido ampliamente estudiada para realizar control químico (Arroyo-Consultchi et al., 2022). En este estudio señalamos la importancia del estudio de la reproducción sexual, debido a la capacidad autógama de esta planta. Los resultados obtenidos de la remoción mensual comprueban que, durante la primera jornada de remoción manual, se interrumpió el proceso de reproducción y la integración de *K. delagoensis* al banco de semillas. De forma que, al impedir la floración y dispersión sexual y clonal de los individuos más grandes, se disminuyó significativamente el tamaño poblacional. El método de remoción es eficiente y económico.

Agradecimientos

El apoyo económico para la realización de este trabajo fue otorgado por CONAHCYT y la CONABIO con el proyecto “Gestión y Divulgación de información de especies invasoras en México”, otorgado a M.C. Mandujano. A Mariana Rojas Aréchiga, su apoyo en la logística de salidas de campo y asesorías.

Referencias bibliográficas

- Arroyo-Consultchi, G., Golubov, J., Solórzano, V. J. y Mandujano M. C. 2022. Prescriptions for the Control of a Clonal Invasive Species Using Demographic Models. *Plants*, 11:689. <https://doi.org/10.3390/plants11050689>
- Baker, H. G. 1959. *Reproductive methods as factors in speciation in flowering plants*. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. 24: 177 – 191.
- 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>

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO. (2021). Especies exóticas invasoras en México: especies [Exposición]. *Bioteca*. [En línea]. Recuperado desde: <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Galerias/15649/index.html#>
- CONCYTEQ. (2008). *Jardín Botánico Regional de Cadereyta*. Ing. Manuel González de Cosío. [En línea]. Recuperado desde: <http://www.concyteq.edu.mx/JP/historia.html>
- Crawley, M. (1993). *GLM for Ecologist*. Prensa de la Universidad de Oxford. p. 379.
- 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.
- Ramula, A., Knight, T. M., Burns, J. H. y Buckley, Y. M. 2008. General guidelines for invasive plant management based in comparative demography of invasive and native plant populations. *Journal of Applied Ecology* 45:1124 – 1133.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2023). Entrarán en vigor salarios mínimos 2023 en todo el país. [En línea]. Recuperado desde: <https://www.gob.mx/stps/prensa/entran-en-vigor-salarios-minimos-2023-en-todo-el-pais?idiom=es>
- Ugalde, Y. H., Maruri, A. B., Carrillo, A. I. G y Sánchez M., E. (2013). Estrategias para la restauración con un enfoque agroforestal de áreas degradadas circunscritas por zonas urbanas en la región semiárida de Querétaro. *Nthe*, 8:3-9

Myrtillocactus geometrizans, ¿una de las posibles especies para la restauración ecológica?

Vanesa Palma-Suárez^{1,2*}, Mariana Cano-Rodríguez y María C. Mandujano^{2**}

¹ Facultad de Ciencias y ² Instituto de Ecología,

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad Universitaria 04510, Ciudad de México.

*vanesasuarez@ciencias.unam.mx

**mcmandujano@iecologia.unam.mx

Resumen

En México se encuentra la mayor diversidad de cactáceas, que se distribuyen principalmente en ambientes áridos y semiáridos. Pero las actividades antropogénicas han perturbado estos ambientes, por lo que existen procesos asistidos por el ser humano para ayudar a su recuperación, como es la restauración ecológica. En ellos es importante el uso de especies nativas, como es *Myrtillocactus geometrizans*, la cual tiene una importancia ecológica, económica y cultural en nuestro país. El objetivo de este trabajo es evaluar la supervivencia y el establecimiento asexual de *M. geometrizans* en el Cerro Grande, Querétaro. Para ello, comparamos el éxito de establecimiento de esquejes enraizados desde 2020 y con enraizador aplicado al momento del trasplante (2022) en el sitio de estudio. Registramos que los esquejes que tuvieron una mayor supervivencia y establecimiento son los que presentaron un desarrollo radicular y tuvieron un manejo antes y después del trasplante, para el que contamos con la participación social. Esta especie puede ser propuesta como una de las utilizadas en la restauración ecológica y ser propagada vegetativamente.

Palabras clave: *Myrtillocactus geometrizans*, establecimiento, supervivencia, propagación vegetativa y restauración ecológica.

Abstract

In Mexico, the most remarkable diversity of cacti is distributed mainly in arid and semiarid environments. However, anthropogenic activities have disturbed these environments, so ecological restoration should be carried out to help them recover. It is important to use native species, such as *Myrtillocactus geometrizans*, for ecological, economic, and cultural reasons. This study evaluates the survival and asexual establishment of rooted cuttings planted in 2022 at the study site. We recorded that the cuttings that had the most remarkable survival and establishment were those planted with roots already. Social participation in the process has facilitated the transplanting of cuttings and the interest in reforesting with native plants. This cactus is ideal for inclusion in the ecological restoration process since it is vegetatively propagated.

Keywords: *Myrtillocactus geometrizans*, establishment, survival, vegetative propagation and ecological restoration.

Importancia para la conservación

Debido a que los disturbios antropogénicos que han sufrido los ecosistemas de nuestro país han provocado la pérdida de especies y afectado los servicios ecosistémicos que nos brindan; y que el conocimiento que se ha generado sobre la utilización de especies nativas en los procesos de recuperación de ambientes degradados áridos y semiáridos es escaso, los resultados generados en el estudio son importantes. Pueden ser utilizados en estudios posteriores de conservación, así como en planes de restauración ecológica al proponer a la especie para ser utilizada en dicho proceso.

Introducción

Los ecosistemas están sujetos a un régimen de disturbios naturales y antrópicos. Debido a ello, hay procesos asistidos por el ser humano para poder ayudar a su recuperación, como son la restauración ecológica, la revegetación y la rehabilitación; en los que es importante el uso de especies nativas. En las cactáceas la reproducción sexual y asexual son importantes para su establecimiento, crecimiento y sobrevivencia a nivel poblacional (García-Hoyos et al., 2011). En la reproducción sexual se da una recombinación genética pero el paso de semilla a plántula es una etapa crítica en su ciclo de vida. Mientras que en la reproducción asexual se puede incrementar la probabilidad de supervivencia y mejorar el establecimiento, ya que se pueden preservar genotipos con características favorables, como resistencia a plagas y enfermedades, calidad de los frutos y tolerancia a condiciones extremas del clima (Cardona, 2007).

Metodología

Sistema biológico

Myrtillocactus geometrizans es una cactácea arborescente con tronco corto y bien definido, que llega a medir hasta 4 metros de altura, es de color verde azulado, con flores pequeñas de color blanco verdoso y frutos pequeños en forma de bayas de coloración rojo purpúreo. Es nativa de México y tiene una amplia distribución. Se le conoce como “garambullo” y “padre nuestro” y tiene diferentes usos desde alimenticios hasta medicinales (Cano-Rodríguez, 2017).

Sitio de estudio

El estudio se desarrolló en el Cerro Grande ubicado en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro. Se encuentra a una altitud de 2602 msnm, tiene un clima seco semicálido y una vegetación de matorral y pastizal inducido (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2017). En promedio anual tiene una temperatura de 17.5 °C y una precipitación de 483 mm. Posee un gran valor cultural y social, debido a que se encuentra una capilla Otomí.

Diseño experimental

Se llevó a cabo un experimento en campo en la temporada no reproductiva del 2022, en el cual se

trasplantaron 140 esquejes, con dos diferentes tratamientos, en el primero, con ayuda de una segueta se cortaron 70 brazos en cada nodo de diferentes plantas de garambullo, se dejaron cicatrizar un día y al momento del trasplante se les aplicó el enraizador RADIX® de 500 mg. Para el segundo tratamiento, 70 esquejes fueron cortados en el 2020, se dejaron cicatrizar por una semana, después se les aplicó el enraizador RADIX® de 500 mg y posteriormente fueron cultivados en macetas y tuvieron un riego periódico cada 15 días durante los primeros 3 meses. Cada uno de los esquejes fue sembrado de manera aleatoria, manteniendo una distancia de 10 metros y a una profundidad de un tercio del largo del esqueje. Después del trasplante de los tallos y cada mes durante un año, se evaluó su establecimiento, haciendo anotaciones sobre su aspecto físico, si había presencia de brotes nuevos o de estructuras reproductivas y se calculó el porcentaje de supervivencia. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de supervivencia y una prueba de Chi-cuadrada.

$$\% \text{ Supervivencia} = \frac{\text{No. de esquejes vivos}}{\text{No. inicial de esquejes}} \times 100$$

Resultados

Los esquejes fueron clasificados en dos grupos: los esquejes muertos que presentaron una coloración pálida y tenían un aspecto seco, y los ejemplares que fueron vandalizados (Figura 1). Y los esquejes vivos, que fueron divididos en sanos y esquejes. Los tallos sanos presentaban su color característico, verde azulado, estaban turgentes y no tenían la presencia de manchas (Figura 2). Los tallos estresados presentaron manchas rojas, manchas moradas, manchas cafés y manchas amarillas (Figura 3).



Fig. 1. Fotografías de los esquejes que fueron clasificados como muertos. (Fotografías: Vanesa Palma Suárez).



Fig. 2. Fotografías de los esquejes que fueron clasificados como sanos, presentan una buena coloración y vigor y turgencia. (Fotografías: Vanesa Palma Suárez).



Fig. 3. Fotografías de los esquejes que fueron clasificados como estresados, los cuales en sus costillas o en el ápice presentaban manchas de coloración rojas, moradas, cafés y amarillas. (Fotografías: Vanesa Palma Suárez).

Se registró que los esquejes del tratamiento 2, tuvieron una mayor probabilidad de supervivencia (Chi-cuadrada= 361, g. l=1, $p < 2e-16$). Mientras que los del tratamiento 1 con el transcurso de los meses su probabilidad de supervivencia va disminuyendo (Figura 4).

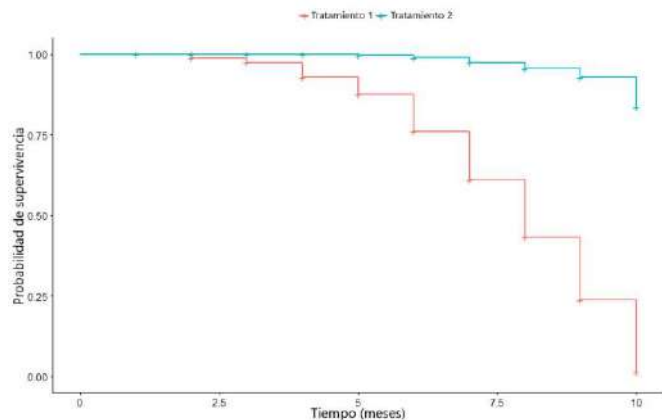


Fig. 4. Probabilidad de supervivencia de los esquejes a través de los meses.

Comparamos diferentes parámetros entre ambos tratamientos, como se muestra en la Tabla 1, donde el tratamiento 2 es el que tiene un mayor éxito de establecimiento. Cabe resaltar que en el tratamiento 1 la observación de herbívora aparece como ausente porque casi todos los esquejes murieron.

Tabla 1. Anotaciones para evaluar el éxito de establecimiento de los esquejes.

Parámetros	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Brotos nuevos	Ausente	Presente
Estresadas	100%	57%
Estructuras reproductivas	Presente	Presente
Vigor	Malo	Bueno
Herbívora	Ausente	Presente

Discusión

Los esquejes a los que se les aplicó enraizador al momento del trasplante, tuvieron una menor supervivencia, en comparación con el otro tratamiento en el cual ya presentaban un desarrollo radicular, lo cual fue imprescindible para su establecimiento. Además, para tener una mayor supervivencia y éxito de establecimiento, los esquejes

deben tener un manejo previo, dejándolos cicatrizar una semana o más y regarlos posteriormente al trasplante; brindar una protección solar, colocándolos junto a plantas nodrizas y realizando un deshierbe alrededor de los tallos. (Rivera-Vázquez et al., 2022).

Por lo cual, la participación social tiene una gran relevancia. Y debe haber un consentimiento previo por parte de los habitantes de la comunidad, con el fin de concientizar y poder cumplir con las metas propuestas (Reyes, 2013).

Aunado a ello, las variables ambientales también influyen en la supervivencia de los individuos trasplantados. Como registraron Barbosa et al. (2018) el efecto negativo de condiciones bajas de temperatura, humedad relativa del aire y régimen hídrico en el crecimiento de cladodios de *Opuntia* sp. propagados vegetativamente. Esta circunstancia pudo haber sucedido en nuestro trabajo, puesto que los meses donde se registró una menor supervivencia, diciembre y enero, registran las más bajas temperaturas y precipitaciones.

Conclusiones

El garambullo puede ser propuesta como una de las especies usadas en la restauración ecológica y ser propagada vegetativamente. Considerando que para tener un mayor éxito de establecimiento y un mayor porcentaje de supervivencia es necesario el desarrollo radicular de los esquejes, así como tener un buen manejo antes y después del trasplante, y que la participación social ayudará a obtener mejores resultados.

Agradecimientos

El financiamiento a cargo de presupuesto institucional y Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT <IN217324>>a MCM. A Mariana Rojas Aréchiga por el apoyo para organizar las salidas de trabajo de campo.

Especialmente, a la Arquitecta Juana García Martínez y al colectivo de organización de la sociedad civil “Salvemos al Cerro Grande”, en Cadereyta de Montes, Querétaro, por el apoyo y todas las facilidades.

Referencias bibliográficas

- Barbosa, L., Freire, T., Zolnier, R., Siqueira, S y Marques, W. (2018). Environmental variables influencing the expression of morphological characteristics in clones of the forage cactus. *Revista Ciencia Agronómica*, 49(3). Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195358136005>
- Cano-Rodríguez, M. (2017). Biología floral y uso de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console (Cactaceae) en Cadereyta de Montes Querétaro, México. [Tesis de licenciatura] Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/307689>
- Cardona, A. (2007). Propagación de especies. En: O. Vargas (Ed). *Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 88-89 pp.
- García-Hoyos, A., Sánchez-Robles, J., García Hernández, L. A. y León-González. (2011). Reproducción sexual e influencia de sustratos en el desarrollo de *Malpighia glabra* L. (Malpighiaceae). *Polibotánica*, Vol. 32. 119-133 pp.
- Reyes, J. (2013). *Conservación y restauración de cactáceas y otras plantas suculentas mexicanas*. Manual práctico. CONAFOR.
- Rivera-Vázquez, R., Herrera-Hernández, M. G. y Guzmán-Maldonado, S. H. (2022). Reforestación con esquejes de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) Console. en Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13 (70). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1264>
- Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2017). *Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro*. Santiago de Querétaro, Querétaro.

Pruebas pregerminativas en las especies del género *Agave* (Asparagaceae) en Cadereyta, Querétaro

Alisa Vega Zamorano^{1*}, Luis Hernández Sandoval^{1**} y Rosalinda González Santos¹

¹Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro

*avega56@alumnos.uaq.mx

**luishs@uaq.mx

Resumen

Cadereyta ocupa el primer lugar dentro del estado en número de especie del género *Agave* debido a su extensión territorial y heterogeneidad espacial. La importancia de *Agave* es enorme, por ello los estudios acerca de su manejo toman relevancia. El objetivo de este trabajo fue aportar conocimiento sobre el manejo de las semillas de especies de *Agave*. Se colectaron semillas de las especies dentro de los límites municipales. Estas fueron sometidas a pruebas pregerminativas y de viabilidad. La viabilidad se evaluó con cloruro de tetrazolio (1%) para determinar su porcentaje. Las pruebas consistieron en escarificación mecánica (TST) y química; (H₂SO₄) y (KNO₃). Además de un grupo sumergido en agua a temperatura ambiente (H₂O) y un grupo control (CNL). Las semillas se colocaron en cajas Petri con algodón humedecido. En cada caja se colocaron 20 semillas de 10 especies de *Agave*. Fueron colocadas en tres sitios distintos: en condiciones de laboratorio (LB), cámara germinativa (CG) y malla sombra (MS). Los resultados obtenidos muestran que la germinación es más eficaz con TST y H₂O, mientras que H₂SO₄ y KNO₃ es menor. Por otro lado, los sitios no presentaron interacción de acuerdo con el porcentaje de germinación.

Palabras clave: *Agave*, escarificación, tratamientos, manejo de semillas.

Abstract

Due to its territorial extension and spatial heterogeneity, Cadereyta has the highest *Agave* species in Querétaro. The importance of the *Agave* genus is enormous, and studies about its management are relevant. The objective was to provide knowledge about the management of seeds of *Agave* species. Seeds were collected in the municipality and underwent pre-germinative and viability tests. Tetrazolium chloride (1%) was used to determine its viability percentage. Pregerminative tests were mechanical (TST) and chemical scarification (H₂SO₄, KNO₃). There was a group immersed in water at room temperature (H₂O) and a control group (CNL). 20 seeds of 10 *Agave* species were accommodated per Petri dishes with moistened cotton. They were placed in three different places: laboratory (LB), germination chamber (CG), and shade house (MS). Germination is most effective with TST and H₂O, while results with H₂SO₄ and KNO₃ are lower. There was no interaction of places with the results, according to the germination percentage.

Keywords: *Agave*, scarification, treatments, seed management.

Importancia para la conservación

Los Agaves son plantas que han sido aprovechadas para diversas actividades humanas. Unas con mayor impacto que otras. Es por ello que es importante fomentar la propagación de estas especies desde semilla para asegurar la variabilidad genética, aumentar la resistencia a enfermedades y plagas. Conocer su potencial en zonas desérticas puede ayudar a reforestar o hacer un manejo sustentable de los recursos naturales en el semidesierto.

Introducción

El estado de Querétaro posee una considerable diversidad de especies del género *Agave*. El Municipio de Cadereyta tiene el primer lugar en número de especies (Magallán-Hernández y Hernández-Sandoval, 2000).

Son plantas adaptadas a condiciones de aridez, presentan raíces ramificadas y someras, poseen hojas suculentas con cutículas gruesas, tienen estomas hundidos y son perennes monocarpicas, además de poseer metabolismo fotosintético CAM (Thiede, 2020). Varias especies han sido aprovechadas por el humano ya sea para alimento, cercos vivos, producción de fibras y bebidas como el tequila, el pulque y el mezcal. Esta última actividad considerada la más importante asociada, reconociendo a estas especies como un recurso económico importante en el país (Álvarez-Ríos et al., 2020).

Actualmente la propagación se ha dado por medio de la separación de hijuelos y bulbilos. Bajo la reproducción asexual se ha visto que la cosecha es mayor. Sin embargo, estas prácticas generan homogeneidad y conduce a que sean más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, además de bajar la viabilidad genética y producir endogamia (Thiede, 2020). Para evitar estos problemas la alternativa es reproducirlas a través de la semilla ya que fomenta la variabilidad genética, una mejor resistencia ante las plagas, enfermedades y factores medioambientales (Peña-Valdivia et al., 2006; Ramírez-Tobías et al., 2012; Thiede, 2020).

Son escasos los estudios sobre análisis de pruebas pregerminativas y estos estudios pueden ayudar a aumentar las posibilidades de propagar sexualmente a estas plantas. En este sentido, el objetivo del trabajo fue aportar al conocimiento sobre el manejo de la semilla en las especies de *Agave* de Cadereyta.

Método

Cadereyta de Montes se localiza al noreste del estado de Querétaro en los 20° 34' y 21° 03' de latitud norte y entre los 99° 23' y 99° 53' de longitud oeste. Tiene una superficie de 1,131 km² (Secretaría de Desarrollo Sustentable, 2017).

Para la colecta de semillas, se visitaron las nueve delegaciones de Cadereyta durante el periodo de junio a diciembre del 2022. En cada delegación se efectuaron cuatro recorridos. Determinando aquellos sitios donde se encuentran distribuidas las poblaciones de especies. Se registraron las coordenadas geográficas y la altitud, así como aquellas características diagnosticas para la identificación y el etiquetado. Todas las muestras fueron anexadas al Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Para la prueba de viabilidad se utilizó 2, 3,5-trifenil tetrazolio en una solución al 1%. En 100 semillas para las especies *Agave americana*, *A. applanata*, *A. asperrima*, *A. difformis*, *A. funkiana*, *A. heteracantha*, *A. mapisaga*, *A. mitis*, *A. salmiana* y *A. striata*, las cuales se embebieron durante un periodo de 24 h en agua destilada. Después se cortó el eje hipocótilo con una navaja de afeitar para dejar expuesto al embrión. Las semillas se colocaron en cajas Petri con 10 ml de la solución de tetrazolio. Posteriormente se envolvieron con papel aluminio para mantenerlas en total oscuridad durante 24 h. Cada muestra se observó en el microscopio estereoscopio para visualizar el patrón de tinción considerando al ebrion viable cuando al menos 2/3 de la estructura se teñía.

Para las pruebas pregerminativas se emplearon la escarificación mecánica y química en grupos de 20 semillas por cada tratamiento y especie. En la escarificación mecánica (TST) se eliminó el arilo de la semilla con una navaja de afeitar. En la escarificación química se remojaron las semillas en dos diferentes compuestos químicos: el ácido sulfúrico (H₂SO₄) a una concentración del 25% y el nitrato de potasio (KNO₃) con una concentración al 30%. Los grupos de semillas para cada especie se sumergieron durante un periodo de 30 minutos en ambos compuestos.

Adicionalmente, se remojó un grupo de semillas en agua (H₂O) a temperatura ambiente durante 72 h además del grupo control (CNL) al cual no se le aplicó ningún tratamiento.

Cada tratamiento fue replicado en tres sitios diferentes: i. El laboratorio de semillas (LB) de la facultad de Ciencias Naturales de la UAQ, donde se registró la temperatura del sitio durante el periodo de

germinación. ii. La cámara de germinación (CG), en donde se estableció una temperatura constante de 25°C, y iii. En condiciones de vivero (MS) donde se monitoreo la temperatura durante el tiempo de germinación.

Las semillas sometidas a los distintos tratamientos fueron almacenadas en cajas Petri con algodón humedecido y fueron monitoreadas diariamente contando el número de semillas germinadas por día.

Para los análisis estadísticos, la viabilidad se expresó en porcentaje mientras que para las pruebas pregerminativas se obtuvieron los porcentajes de germinación (PG) a los 10 días de germinación.

Se llevó a cabo una prueba de ANOVA factorial estricto para determinar si había diferencias significativas dentro de los tratamientos y sitios y probar si existía la interacción entre ambos factores. Los análisis estadísticos fueron analizados en el programa R 4.3.0.

Resultados

La temperatura promedio registrada para ii fue 25.84°C y para iii fue de 24.63°C.

Porcentaje de viabilidad

Las especies con mayor porcentaje de viabilidad fueron *A. asperrima* (91%), *A. applanata* (87%) y *A. americana* (84%). Mientras que las que menores porcentajes obtuvieron fueron *A. striata* (47%) y *A. heteracantha* (49%) (Figura 1).

Porcentaje de germinación (PG)

Se observaron diferencias significativas para cada tratamiento ($p=0.00031$) sin embargo no se observó una interacción significativa entre los sitios ($p=0.926$). Los porcentajes más altos de germinación fueron para el tratamiento con H₂O y TST, aunque no hubo mucha variación entre estos tratamientos y CNL. Mientras que los porcentajes más bajos fueron para H₂SO₄ (Figura 2).

Las especies que presentaron los porcentajes más altos para el tratamiento TST fueron *A. americana* y *A. salmiana*. Para el tratamiento H₂SO₄ la especie *A. garciae-mendozae* presentó el mayor porcentaje, sin embargo, fue la especie con mayores porcentajes obtenidos para cada tratamiento y con menor variación (Tabla 1).

Las especies que presentaron mayores porcentajes para el tratamiento H₂O fueron *A. americana*, *A. mitis* y *A. salmiana* (Tabla 1).

El grupo CNL también obtuvo valores más altos para las especies *A. salmiana*, *A. americana* y *A. garciae-mendozae* (Tabla 1).

Por otro lado, los porcentajes menores fueron en su mayoría H₂SO₄, en las especies *A. applanata*, *A. heteracantha*, *A. striata* y *A. mapisaga* (Tabla 1).

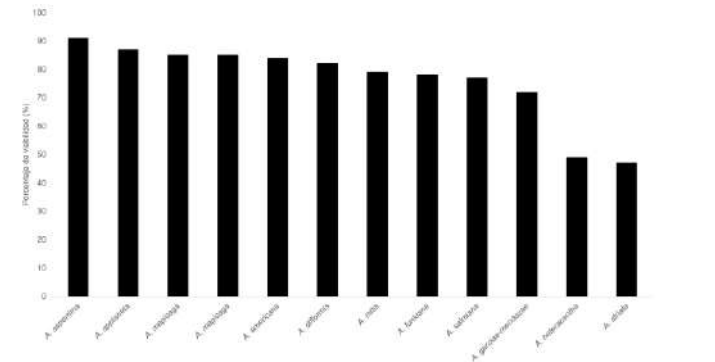


Fig. 1. Porcentaje de viabilidad de las semillas de *Agave* sp.

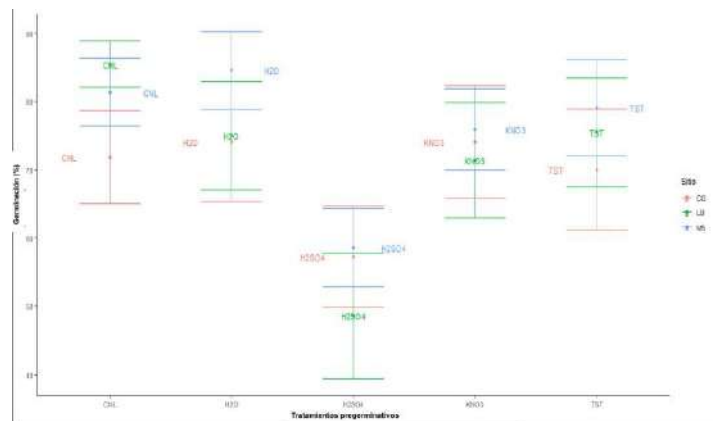


Fig. 2. Porcentaje de germinación de cada tratamiento en contraste con cada sitio (LB, Laboratorio de semillas de la Facultad de Ciencias Naturales, UAQ. CG, Cámara de germinación con temperatura constante de 25°C. MS, en condiciones de vivero).

Discusión

Las especies analizadas presentaron patrones normales en la viabilidad (Peña-Valdivia et al., 2006; Ramírez-Tobías et al., 2012), por lo que las especies son viables y carecen de latencia y con alto potencial para ser reproducidas sexualmente.

Las especies *A. americana*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* a pesar de ser especies con alto valor etnobotánico (Gentry, 1982; Thiede, 2020) no han

presentado problemas en la reproducción, contrario a otras como *A. angustifolia*, que actualmente sí los presenta.

Las especies silvestres tienen niveles de viabilidad altos, excepto *A. heteracantha* y *A. striata*. En el estudio de Ramírez-Tobías et al (2012) se registraron porcentajes de viabilidad altos en *A. striata*, contrario a este estudio que presentó los valores más bajos. Esto puede deberse al ejemplar colectado en campo.

Al tratarse de semillas que carecen de latencia, no necesitan de algún químico que ayude a adelgazar la testa, ya que son semillas adaptadas a responder con rapidez a las condiciones climáticas (Thiede, 2020). Por lo que los tratamientos físicos son más eficaces.

Tabla 1. Porcentaje de germinación por cada tratamiento y especie de *Agave*.

Especie	Porcentaje de germinación (PG)				
	CNL	H ₂ O	H ₂ SO ₄	KNO ₃	TST
<i>A. americana</i>	91.67	100.00	56.67	98.33	96.67
<i>A. applanata</i>	80.00	76.67	28.33	80.00	83.33
<i>A. asperima</i>	90.00	86.67	43.33	86.67	80.00
<i>A. difformis</i>	90.00	91.67	83.33	93.33	91.67
<i>A. funkiana</i>	70.00	76.67	55.00	53.33	75.00
<i>A. garciae-mendozae</i>	91.67	81.67	93.33	81.67	88.33
<i>A. heteracantha</i>	61.67	28.33	36.67	41.67	25.00
<i>A. mapisaga</i>	68.33	85.00	40.00	66.67	86.67
<i>A. mitis</i>	88.33	98.33	71.67	80.00	78.33
<i>A. salmiana</i>	95.00	95.00	63.33	91.67	93.33
<i>A. striata</i>	40.56	37.22	37.22	32.78	20.00

Los altos porcentajes de germinación se deben a que las plantas de *Agave* producen demasiadas semillas para asegurar su éxito reproductivo (Thiede, 2020). Slauson (2002) calculó que las especies del subgénero *Littaea* pueden liberar de 4,000 a 142,725 semillas viables. Mientras que en otras especies como *A. mapisaga* puede producir en promedio 42,000 semillas viables. Además, al no poseer períodos de latencia, las semillas pueden germinar en grandes cantidades, puesto que dependen completamente de las condiciones. Nobel (1992) determinó que la duración del periodo de lluvias es un factor limitante para el establecimiento de las plántulas, pues la semilla depende del agua para germinar.

El tratamiento más efectivo para la germinación fue para el grupo con H₂O. Las semillas de *Agave* pueden germinar en condiciones de luz y oscuridad, Ramírez-Tobías et al., 2016 encontraron temperaturas óptimas de germinación en los 25°C, lo que dio resultados favorables y significativos en la germinación. Además de la temperatura, la humedad es uno de los factores más limitantes dado a que las especies de *Agave* dependen de la época de lluvias para la germinación por lo que mantener la humedad para la germinación es importante para la propagación (Nobel, 1992; Thiede, 2020).

Conclusión

Las especies de *Agave* analizadas son especies con alto potencial para ser reproducidas sexualmente. El tratamiento físico de remoción de la testa y con H₂O son métodos efectivos para la germinación. Germinando a velocidades altas y con alto porcentaje. Por lo que son plantas con un amplio potencial para el manejo ya que no necesitan de tratamientos químicos, lo que resulta en ventajas económicas para el empleo de estas especies.

Referencias bibliográficas

- Álvarez-Ríos, G.D., Figueredo-Urbina, C. J. & Casas, A. (2020). Sistemas de manejo de maguey pulquero en México. *Revista Etnobiológica*, 18(2):3- 23.
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona. Press, Tucson.
- Magallán-Hernández, F. & Hernández-Sandoval, L. (2000). La familia Agavaceae en el estado de Querétaro. *Bol. Soc. Bot. México* 66:103-112.
- Nobel, P. S. (1992). Annual variations in flowering percentage, seedling establishment, and ramet production for a desert perennial. *Int. J. Pl. Sci.* 153(1): 102–107.
- Peña-Valdivia, C. B., Sánchez-Urdaneta, A. B., Aguirre, J., Trejo, C., Cardenas, E & Villegas, A. (2006). Temperature and mechanical scarification on seed germination of “maguey” (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) *Seed Science & Technology* 34: 47-56.
- Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C. B., Aguirre, J. R., Reyes-Aguero, J. A., Sánchez-Urdaneta, A. B. & Valle G., S. (2012). Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Pl. Spec. Biol.* 27(2):124–137.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2017). *Plan de ordenamiento ecológico local de Cadereyta de Montes, Querétaro*. Gobierno municipal. pp. 171.
- Slauson, L. A. (2002). Effects of fire on the reproductive biology of *Agave palmeri* (Agavaceae). *Madroño*, 49(1): 1–11.

Thiede J. 2020. Agave, AGAVACEAE. En: Egli U, Nyffeler R, eds. *Monocotyledons. Illustrated Handbook of Succulent Plants*. Berlin/Heidelberg: Springer, pp. 97-311
https://doi.org/10.1007/978-3-662-56486-8_111

El Semidesierto Queretano en el proyecto del Geoparque Mundial UNESCO Triángulo Sagrado

Gerardo J. Aguirre Díaz*¹ y Franco Pielli Espinosa**

¹ Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla-Querétaro;

² Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM-Juriquilla-Querétaro

*ger@geociencias.unam.mx

**francopielli108@ciencias.unam.mx

Resumen

El concepto de tiempo geológico es importante para la valoración de los millones de años que tuvieron que transcurrir, y de los procesos geológicos que tuvieron que suceder, para lograr el desarrollo del paisaje que ahora tenemos, en particular, el del tema que nos concierne, el paisaje del Semidesierto Queretano. Tuvieron que formarse océanos cambiantes, continentes migrantes, levantamiento de cordilleras, y lograr el relieve donde se originó y desarrolló la biodiversidad que ahora podemos disfrutar y preservar durante nuestro breve paso por este hogar llamado Tierra.

Palabras Clave: Semidesierto, Querétaro, Geografía, Geología, Paisaje.

Abstract

The concept of geological time is important for the assessment of the millions of years that had to pass, and the geological processes that had to happen, to achieve the development of the landscape that we now have, particularly of the topic that concerns us, the landscape of the Queretaro Semidesert. Changing oceans, migrating continents, mountain ranges needed to be formed, in order to build up the relief that we now have, where it was developed the biodiversity that we can now observe and enjoy, which we need to preserve during our brief stay on this home called Earth.

Keywords: Semidesert, Querétaro, Geography, Geology, Landscape.

Importancia para la conservación

Los geoparques son una modalidad de área natural protegida que da identidad a la conservación del patrimonio geológico y también protege la biodiversidad y el patrimonio cultural. De esta manera, vincula a la comunidad con su territorio, favoreciendo su conocimiento y uso sustentable. Este artículo sintetiza el conocimiento geológico del paisaje del Semidesierto Queretano, porción principal del Proyecto Geoparque Mundial UNESCO Triángulo Sagrado.

Prácticamente alrededor del 80% del territorio del Proyecto Geoparque Mundial UNESCO Triángulo Sagrado (Aguirre-Díaz et al., 2021) es dominado por el Semidesierto Queretano (SQ), del cual 64.8% es clima semiseco templado, 9.8% es semiseco semicálido, y 7.08% es semiseco cálido (Figura 1; INEGI, 2023), abarcando porciones de los municipios de Querétaro, Pedro Escobedo, El Marqués, Tolimán, Cadereyta, Colón, Tequisquiapan y Ezequiel Montes. Para saber cómo se formó el relieve donde se desarrolló el SQ, necesitamos comprender los procesos geológicos que dieron lugar al paisaje que ahora conocemos como SQ.

Para esto, debemos ubicarnos en el contexto del tiempo geológico (Figura 2; Geological Society of America, 2022), por lo que debemos contar el tiempo usando como unidad el millón de años.

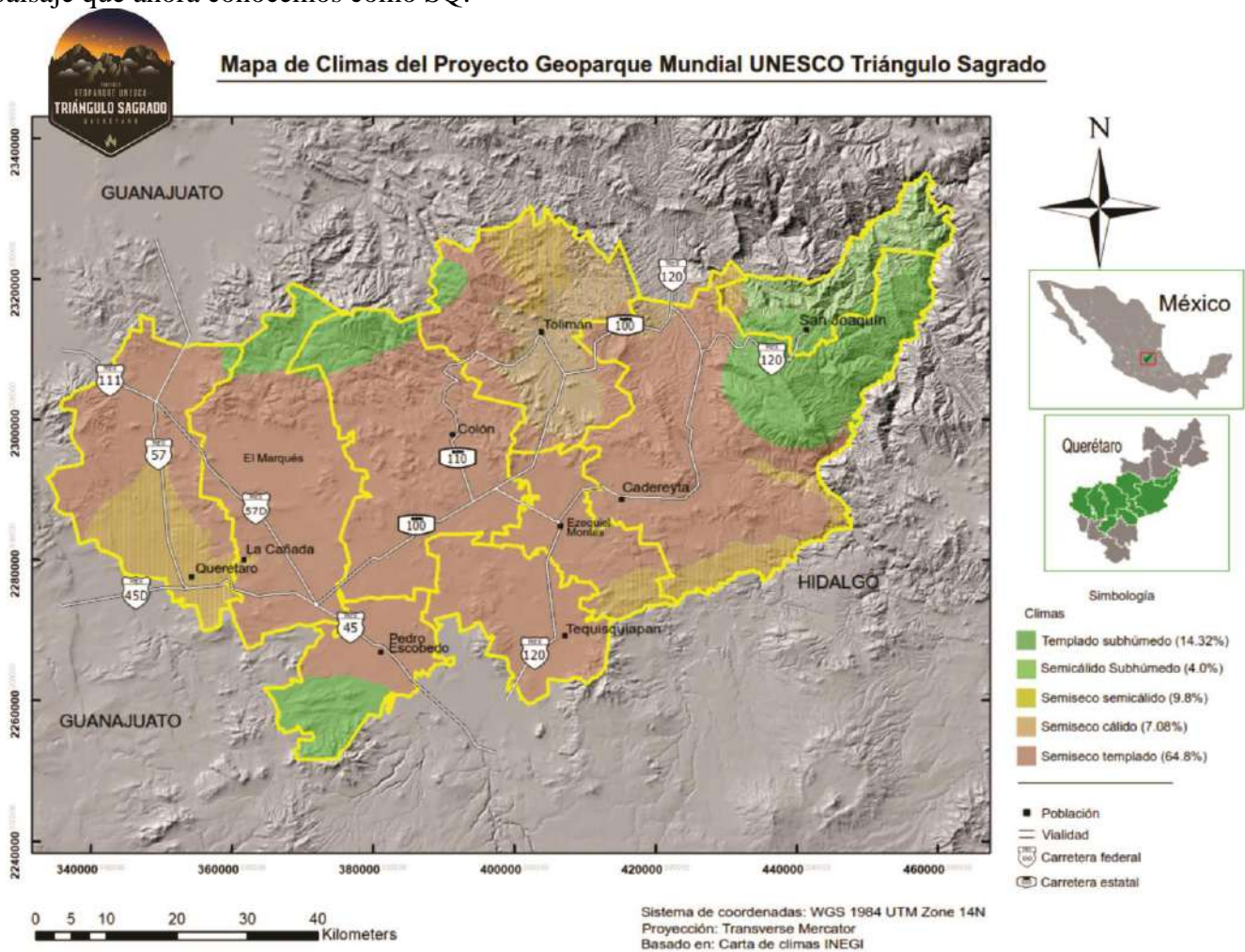
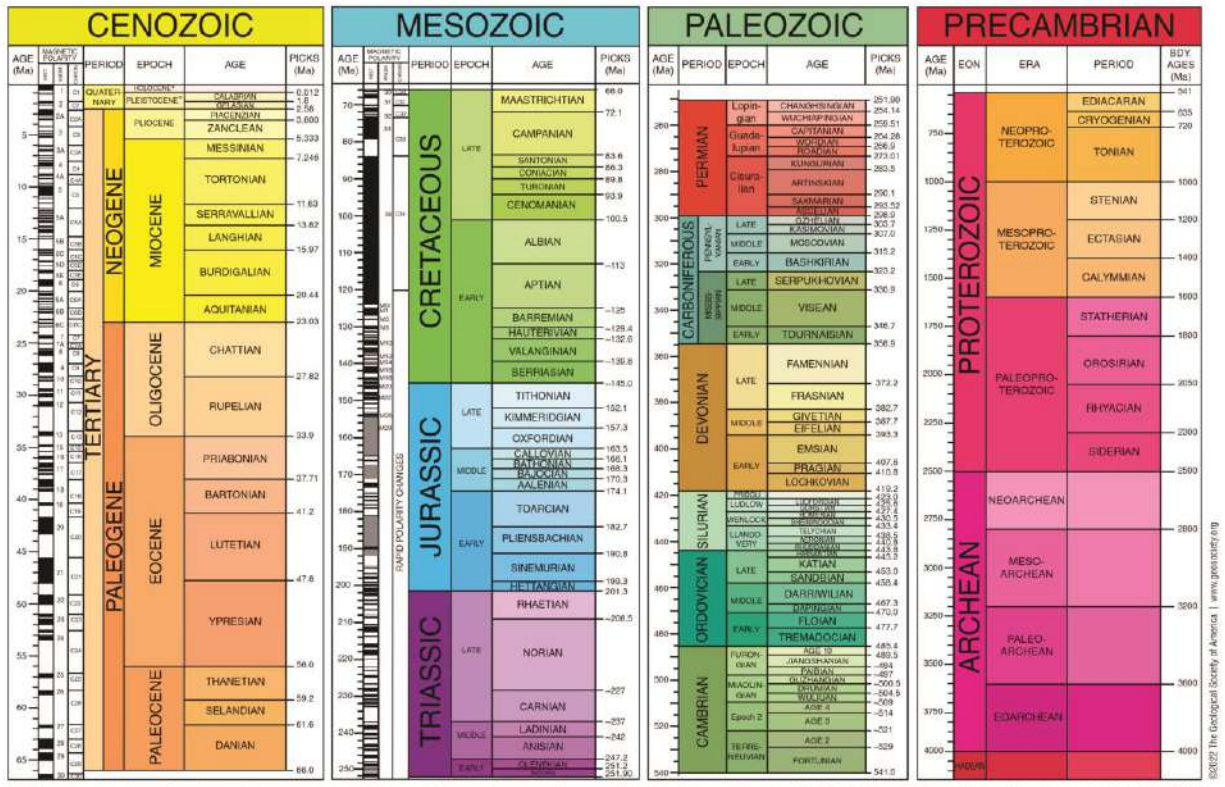


Fig. 1. Mapa de climas en el área del Proyecto Geoparque Mundial UNESCO Triángulo Sagrado (basado en la carta de climas de INEGI, 2023).



GEOLOGIC TIME SCALE v. 6.0



* The Pleistocene is divided into four ages, but only two are shown here. What is shown as Calabrian is actually three ages: Calabrian from 1.6 to 0.774 Ma, Chibanian from 0.774 to 0.125 Ma, and Late from 0.125 to 0.0117 Ma. The Holocene is divided into three ages: Greenlandian from 0.0117 to 0.8002 Ma, Northgrippian from 0.8002 to 0.9542 Ma, and Meghalayan from 0.9542 to present. The geologic community broadly recognizes the Anthropocene as a proposed new time interval of Earth history, partly coincident with the Holocene. Currently, the Anthropocene has an informal designation, with a proposed age span extending from the present to a beginning point between ca. 15,000 yr B.P. and as recent as 1950 CE. The Cenozoic, Mesozoic, and Paleozoic are the Eras of the Phanerozoic Eon. Names of units and age boundaries usually follow the Gradstein et al. (2012), Cohen et al. (2012), and Cohen et al. (2013, updated) compilations. Numerical age estimates and picks of boundaries usually follow the Cohen et al. (2013, updated) compilation. The numbered epochs and ages of the Cambrian are provisional. A "-" before a numerical age estimate typically indicates an associated error of ± 0.4 to more than 1.6 Ma.

Walker, J.D. and Gessman, J.W., compilers, 2022. Geologic Time Scale v. 6.0. Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/2022.GTSC0060>. (Walker—University of Kansas, Gessman—University of Texas-Dallas, University of New Mexico.)

REFERENCES CITED
Cohen, K.M., Finney, S., and Gibbard, P.L., 2012. International Chronostratigraphic Chart. International Commission on Stratigraphy. <https://stratigraphy.org/ICChart/ChronostratChart2012.pdf> (accessed Sept. 2022).
Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L., and Fan, J.-X., 2013 (updated). The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes, v. 36, p. 199-204. <http://www.stratigraphy.org/ICChart/ChronostratChart2013-10.pdf> (accessed Sept. 2022).
Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., et al., 2012. The Geologic Time Scale 2012. Boston, USA: Elsevier. <https://doi.org/10.1019/978-0-444-59425-9-00004-4>.

Fig. 2. Escala geológica del tiempo de la Geological Society of America (Versión 6, 2022).

Para el caso de Querétaro, iniciamos hace 250 millones de años (Ma), en tiempos del Triásico. En lo que hoy en día es el SQ existió un amplio océano y un solo supercontinente llamado Pangea (Figura 3; Wegener, 1915; LibreTexts, 2023). Desde hace 250 Ma y hasta los 200 Ma se acumularon sedimentos marinos en el fondo de ese antiguo océano; sedimentos provenientes del continente Pangea que ahora vemos expuestos en areniscas del SQ, como las del Cerro El Frontón.



Fig. 3. El supercontinente Pangea hace 250 Ma. Esquema tomado del portal LibreTexts™, que se basa en Wegener (1915).

A partir de 200 Ma Pangea inicia su rompimiento y separación en grandes fragmentos, separación que continuó hasta nuestros días, formándose el océano Atlántico, entre otros. Durante los 200 Ma a 80 Ma, lo que ahora es el SQ continuó siendo un mar formado entre los fragmentos migrantes de Pangea, que a la postre terminó siendo el Océano Atlántico y el Golfo de

México. Sedimentos provenientes del fragmento continental de Norte América, que incluía México, continuaron acumulándose en el fondo de estos mares, hasta fines del Cretácico (80 Ma), que afloran como formaciones de areniscas, calizas y lutitas. Un gran cambio sucedió entre los 80 y 60 Ma, evento conocido como orogenia (formación de montañas), y por las enormes fuerzas tectónicas del planeta, los sedimentos acumulados de estos mares fueron comprimidos y plegados (Fitz-Díaz et al., 2012), causando su levantamiento y la formación de lo que hoy conocemos como la Sierra Madre Oriental, o Sierra Gorda para el sector de Querétaro-Guanajuato (Figura 4). Los mares se retiraron mientras las montañas emergieron.



Fig. 4. Paisaje de la Sierra Gorda, que es parte de la Faja Plegada de la Sierra Madre Oriental. Vista hacia el sureste desde El Doctor, Cadereyta. Foto de G. J. Aguirre-Díaz.

A partir de los 60 Ma esas montañas han estado sometidas al desgaste por erosión, principalmente por ríos, llevando nuevos sedimentos al Golfo de México. Pero a pesar de este desgaste de millones de años, las montañas siguen siendo altas hasta ahora. Esa cadena montañosa formó una barrera natural que ha impedido el paso del viento húmedo que proviene del mar hacia el interior de México; es decir, ha creado una “sombra orogénica” (Figura 5).

Debido a esta barrera, el altiplano del centro de México, que incluye a Querétaro, recibe poca humedad en comparación con la parte de la vertiente oriental de la sierra, conocida popularmente como huasteca, que se queda con la mayor parte de esta humedad. Sólo las partes más elevadas por arriba de los 2400 msnm reciben suficiente humedad para el desarrollo de bosques de pinos y encinos. Por debajo de esta cota, a las latitudes de Querétaro, tenemos un clima semi-árido en lo general, donde se desarrolló una flora dominada por cactáceas y selva baja caducifolia. De esta manera, gracias a los procesos geológicos de 250 Ma al presente, el relieve formado y el clima de esta región, es que ahora disfrutamos de un hermoso paisaje de semidesierto, con la amplia geodiversidad y biodiversidad que contiene.

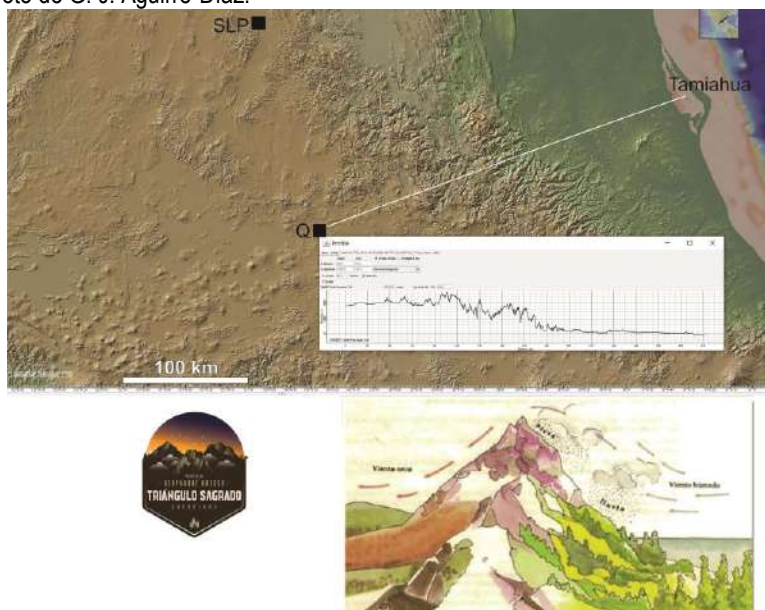


Fig. 5. La sombra orográfica producida por la Sierra Madre Oriental. Mapa de relieve y perfil topográfico entre la Ciudad de Querétaro (Q) y la Laguna de Tamiahua (Golfo de México) elaborados por G.J. Aguirre-Díaz mediante la aplicación GeoMapApp®. Esquema inferior tomado de Internet. SLP: Ciudad San Luis Potosí.

Agradecimientos

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

Referencias bibliográficas

- Aguirre-Díaz G.J., Capra, L., Vázquez-Alarcón, G.V. (2021). *Sacred Triangle Geopark Aspirant, Querétaro, Mexico: In: Geoparks, Sustainable Tourism and Local Development*. Edited by UNESCO-México, Oficina en México de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, MEX/SC/2021/PI/01, pp. 113-137; <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380262.locale=es>
- Geological Society of America. (2022). Geologic Time Scale, v. 6: publicada en <https://www.geosociety.org/GSA/GSA/timescale/home.aspx>.
- Fitz-Díaz, E., Tolson, G., Hudleston, P., Bolaños-Rodríguez, D., Ortega-Flores, B., Vásquez Serrano, A. (2012). The role of folding in the development of the Mexican fold-and-thrust belt: *Geosphere* 8(4):931-949; doi:10.1130/GES00759.1.
- INEGI-Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). Mapa clima del Estado de Querétaro; descargado en julio 2023 del portal web: <https://paratodomexico.com/estados-de-mexico/estado-queretaro/clima-queretaro.html>.
- LibreTextsTM. (2023). Portal de Internet educativo de acceso libre; copyright por Creative Commons Attribution 4.0 International: Consulta hecha el 28 de julio del 2023; [https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Geology/Fundamentals_of_Geology_\(Schulte\)/05%3A_Plate_Tectonics/5.05%3A_Continental_Drift](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Geology/Fundamentals_of_Geology_(Schulte)/05%3A_Plate_Tectonics/5.05%3A_Continental_Drift).
- Wegener, A. (1915). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Sammlang Vieweg*. Braunschweig [El origen de los continentes y océanos. Ediciones Pirámide, S.A. Ciencias del hombre y la naturaleza. 230 págs. Madrid, 1983 ISBN 84-368-0233-0].

Abejas silvestres de un remanente de vegetación nativa de Querétaro

Oliva Segura^{1*}, Juan Fermín Nolasco-Reveles¹, Ismael Hinojosa-Díaz², Mónica Elisa Queijeiro-Bolaños¹, Israel Carrillo-Ángeles¹ y Alejandro Cabrera-Luna¹.

¹Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias s/n, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230. Querétaro, México. ²Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Tercer Circuito Exterior, s/n, Ciudad Universitaria. Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México.

*oliva.segura@uaq.mx

Resumen

Los remanentes de vegetación nativa en los ecosistemas urbanos son sitios importantes para la conservación de las abejas silvestres dado que las proveen de recursos y refugio. El objetivo de este estudio fue conocer la fauna de abejas presente en un remanente de selva baja caducifolia dentro de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro destinado a la conservación, investigación y educación ambiental. El muestreo se hizo a partir de febrero de 2023 durante seis meses, dos veces por mes entre las 09:00 h y las 15:00 h, en tres transectos de 150 m. Para la colecta de individuos se utilizaron trampas y una red entomológica. Las abejas colectadas se determinaron taxonómicamente con ayuda de claves y se elaboró un listado de especies del sitio. Se colectaron 350 individuos, de los cuales se han identificado 15 especies, pertenecientes a 11 géneros, distribuidas en cuatro familias, siendo Apidae la más representada. Entre los géneros más abundantes destacan *Diadasia*, *Lasioglossum* (*Dialictus*) y *Augochlora*. El remanente de vegetación nativa estudiado sostiene una riqueza significativa de abejas silvestres en el paisaje urbano queretano.

Palabras clave: Hymenoptera, Apoidea, ecología urbana, selva baja caducifolia.

Abstract

The remnants of native vegetation in urban ecosystems are essential for conserving wild bees since they provide them with resources and refuge. The objective of this study was to know the bee fauna present in a remnant of tropical deciduous forest within the Faculty of Natural Sciences of the Autonomous University of Queretaro for conservation, research, and environmental education. The sampling was done from February 2023 for six months, twice a month, between 09:00 and 15:00 h in three 150 m transects. Traps and an entomological net were used to collect individuals. The collected bees were determined taxonomically with the help of keys, and a list of species from the site was prepared. We collected 350 individuals, of which 15 species have been identified, belonging to 11 genera, distributed in four families, with Apidae being the most represented. Among the most abundant genera are *Diadasia*, *Lasioglossum* (*Dialictus*), and *Augochlora*. The remnant of native vegetation studied supports a significant richness of wild bees in the urban landscape of Queretaro.

Keywords: Hymenoptera, Apoidea, urban ecology, tropical deciduous forest.

Importancia para la conservación

Las abejas silvestres son especies mutualistas necesarias para la reproducción y mantenimiento de las plantas, el conocimiento sobre su diversidad es básico para conservar la biodiversidad vegetal. Este estudio aporta información sobre la riqueza de abejas silvestres de un remanente de vegetación nativa de la zona metropolitana de Querétaro. Y es el primer acercamiento sistemático para conocer la diversidad de abejas silvestres de Zona Metropolitana de Querétaro.

Introducción

Las abejas son un grupo de himenópteros que pertenecen a la superfamilia Apoidea conformada por 20,000 especies a nivel mundial (Orr et al., 2021) y en México se encuentran cerca de 2000 especies (Ayala et al. 1996). Una de sus características principales es que su dieta depende de los recursos ofrecidos por las plantas con flores como el polen y néctar, lo que las convierte en asiduos visitantes florales. Así, las abejas son el grupo más importante de polinizadores, gracias a ellas se obtienen numerosos frutos y semillas que enriquecen la dieta humana con micronutrientes y por ello son esenciales para la seguridad alimentaria. Y si bien la especie más conocida es *Apis mellifera* o abeja de la miel, una especie domesticada de gran utilidad económica, la mayoría de las abejas son especies silvestres.

Las abejas silvestres son heterogéneas en tamaños, formas y colores. Tienen una estrecha relación ecológica y evolutiva con las plantas nativas, por lo que muchas plantas dependen particularmente de estas abejas para su reproducción. A nivel mundial son más diversas en las zonas áridas que en las tropicales (Orr et al., 2021), y el mismo patrón ocurre en México, donde las zonas áridas y con matorrales son más ricas en especies en comparación con los ecosistemas tropicales húmedos (Ayala et al. 1996). El servicio de polinización que brindan las abejas silvestres facilita la reproducción de las plantas, conecta a sus poblaciones propiciando variabilidad genética, e incide en la composición y estructura de la vegetación y en el resto de los niveles tróficos que dependen de las plantas. Debido a esto, son especies clave en el mantenimiento de los ecosistemas (Winfree et al., 2011). Actualmente enfrentan numerosas amenazas tales como el cambio climático, el desfase temporal con la floración de las plantas, desplazamiento por especies invasoras, patógenos introducidos, la agricultura intensiva, pesticidas, los cambios de uso de suelo como la urbanización, que provocan fragmentación, degradación y desaparición de sus hábitats (González-Varo et al., 2013; Vanbergen, e Insect Pollinators Initiative, 2013).

Los ecosistemas urbanos son sitios altamente fragmentados con hábitats aislados por la infraestructura urbana y con una mezcla de especies

nativas e introducidas (McKinney, 2006). Estas condiciones resultan adversas para algunas especies, que evitan este ecosistema o se extinguen localmente. Sin embargo, los efectos de la urbanización difieren entre grupos biológicos. En el caso de las abejas, se ha observado que las áreas verdes urbanas y fragmentos de vegetación nativa les pueden proveer de recursos y refugio, por lo que son capaces de retener buena parte de su biodiversidad (Williams y Winfree, 2013). Particularmente en México, los estudios sobre abejas en ecosistemas urbanos aún son escasos (Ramírez-Segura y Jones, 2016). La zona metropolitana de Querétaro (ZMQ) presenta un crecimiento acelerado que continúa transformando el paisaje, reduciendo la vegetación nativa como selva baja caducifolia y matorrales, ello ocurre en el marco de una tendencia mundial de crecimiento urbano. Por lo que conservar los fragmentos de flora nativa en el paisaje urbano es prioritario. Dentro de la Facultad de Ciencias Naturales (FCN) de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) en su campus Juriquilla, se encuentran remanentes de vegetación nativa destinados a ser una zona de conservación (ZC), investigación y educación ambiental. La fauna de abejas de la ZC aún no ha sido estudiada, al igual que la de la ZMQ, por lo cual, este trabajo tiene como objetivo conocer la riqueza de abejas silvestres de dicho remanente de vegetación y así comenzar a aportar información sobre la apifauna de la ZMQ.

Método

El trabajo de campo se llevó a cabo en las áreas silvestres de la FCN, campus Juriquilla, UAQ, en la ciudad de Querétaro. Las cuales abarcan 6 ha distribuidas en tres fragmentos de 2 ha cada uno, y se componen de remanentes de selva baja caducifolia, rodeados por jardines y edificaciones de la universidad. Los muestreos se llevaron a cabo a partir de febrero de 2023 durante seis meses, esto es, durante el periodo de secas, dos veces por mes en tres transectos de 150 m, uno por cada polígono. Las colectas se hicieron a través de trampas 87 (amarillas, blancas y azules) y con el uso de una red entomológica entre las 09:00 h y las 15:00 h. Las especies colectadas se determinaron

taxonómicamente con ayuda de claves y se construyó un listado de especies del sitio.

Resultados

Al momento se han colectado 350 individuos, de los cuales se han identificado 15 especies, pertenecientes a 11 géneros (Figura 1), distribuidas en cuatro familias, de las que Apidae es la más representada. Entre los géneros más abundantes destacan *Diadasia*, *Lasioglossum* (*Dialictus*) y *Augochlora*.

Discusión

La ZC de la FCN conserva una riqueza significativa de abejas silvestres las cuales son importantes para el mantenimiento de la vegetación nativa del sitio. Apidae fue la familia más diversa lo que coincide con otros estudios (Martínez-Cervantes, 2017). Los resultados aquí presentados únicamente contemplan el periodo de secas, por lo que es esperado que el inventario apifaunístico crezca al completar el muestreo durante el periodo de lluvias, en el que suelen ser más abundantes las abejas.

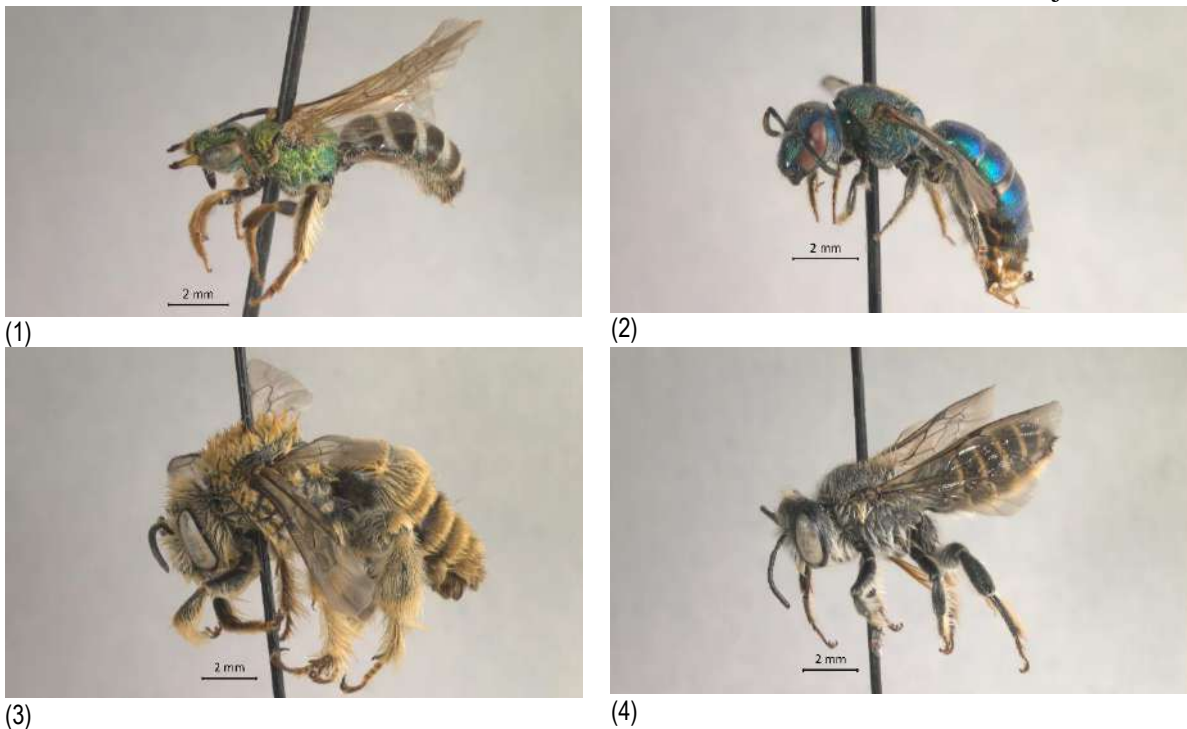


Fig. 1. Algunos de los géneros de abejas colectados. 1. *Agapostemon* (Halictidae), 2. *Augochlora* (Halictidae), 3. *Diadasia* (Apidae), 4. *Lithurgus* (Megachilidae).

Conclusiones

El remanente de vegetación de la FCN sostiene una riqueza significativa de abejas silvestres en el paisaje urbano. Este es el primer estudio sistemático para comenzar a conocer la diversidad de abejas silvestres de la ZMQ.

Agradecimientos

A la Bióloga Susana Guzmán Gómez, del Instituto de Biología de la UNAM, por su valioso apoyo en la obtención de las imágenes de microscopía.

Referencias bibliográficas

- Ayala, R., T.L. Griswold y D. Yanega. (1996). Apoidea (Hymenoptera) En: *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento*. J. Llorente-Bousquets, A.N. García Aldrete y E. González-Soriano (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, pp. 423-462.
- González-Varo, J. P., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Potts, S. G., Schweiger, O., Smith, H. G., Steffan-Dewenter, I., Szentgyörgyi, H., Wojciechowski, M. and M. Vilà. (2013). Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(9):524–530.
- McKinney, M. (2006). Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127(3):247-260.
- Martínez-Cervantes, A. C. (2017). *Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 70p.
- Orr, M. C., Hughes, A. C., Chesters, D., Pickering, J., Zhu, C. D., y Ascher, J. S. (2021). Global patterns and drivers of bee distribution. *Current Biology*, 31(3):451-458.
- Ramírez-Segura, O., y Jones R. (2016). Insectos polinizadores en ambientes urbanos: perspectivas de su estudio en México. *Entomología Mexicana*, 3:183-190.
- Vanbergen, A. J., e Insect Pollinators Initiative. (2013). Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5):251-259.
- Williams, N. M., y Winfree, R. (2013). Local habitat characteristics but not landscape urbanization drive pollinator visitation and native plant pollination in forest remnants. *Biological Conservation*, 160:10-18.
- Winfree, R., Bartomeus, I., y Cariveau, D. P. (2011). Native pollinators in anthropogenic habitats. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 42:1-22.

Etnobotánica para la restauración del matorral crasicaule de Santiago de Querétaro

Aarón Misael Carpio Dávila^{1*}

Planta Broquers Ambiental Querétaro.

*carpiodavila.aaronmisael@gmail.com

Resumen

Se determinó una lista de especies bandera a ser empleadas en un programa de restauración ambiental comunitaria en el municipio de Querétaro, a partir de su valor ecológico e importancia cultural. Se realizó un estudio descriptivo en la colonia Los Juncos y el Ejido Mompaní, con un monitoreo dirigido a especies leñosas. Se analizaron 4800 m² en 3 conglomerados, para tomar parámetros dasométricos y muestras de individuos fértiles. Se calculó el Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE), la riqueza de especies con Chao2 (18.66) y la cobertura de muestra de Chao y Shen (0.983). Se aplicaron 30 encuestas del tipo “listas libres” para calcular la importancia cultural mediante el Índice de Saliencia de Smith. Se presenciaron 176 organismos correspondientes a 18 especies, con mayor representatividad en las familias Fabaceae (4), Cactaceae y Burseraceae (2). Se seleccionó a *Lysiloma microphyllum* por poseer el mayor valor de IVIE y además de esto, por estar presentes en la mayoría de los conglomerados se seleccionó: *Forestiera phillyreoides*, *Vachellia* spp. y *Bursera fagaroides*. Por su importancia cultural: *Prosopis laevigata*, *Opuntia* spp., *Myrtillocactus geometrizans*, *Condalia* spp., *Eysenhardtia polystachya*, *Ipomoea murucoides*, *Agave* spp. y *Jatropha dioica*.

Palabras clave: Etnobotánica, importancia cultural, restauración ambiental, valor ecológico.

Abstract

The objective was to determine species with ecological value and cultural importance to use as flag species in the community environmental restoration program in the municipality of Querétaro. A descriptive study was carried out in the Los Juncos neighborhood and the Mompaní Ejido, with monitoring aimed at woody species. Dasometric parameters and samples of fertile individuals were analyzed in 4800 m², divided in three clusters. The Ecological Value and Importance Index, the richness of species with Chao2 (18.66), and the sample coverage of Chao and Shen (.983) were calculated. Thirty “free list” surveys were applied to calculate the cultural importance using the Smith Saliency Index. 176 organisms corresponding to 18 species were witnessed, most of them belonging to the Fabaceae (4), Cactaceae, and Burseraceae (2) botanical families. *Forestiera phillyreoides*, *Vachellia* spp. and *Bursera fagaroides* have the largest IVIE and frequency. *Lysiloma microphyllum* was included as well due to its largest IVIE. *Prosopis laevigata*, *Opuntia* spp., *Myrtillocactus geometrizans*, *Condalia* spp., *Eysenhardtia polystachya*, *Ipomoea murucoides*, *Agave* spp. and *Jatropha dioica* have greater cultural importance.

Keywords: Ethnobotany, environmental restoration, cultural importance.

Impacto sobre la conservación

Para implementar de forma exitosa programas de restauración ambiental comunitaria, deben conciliarse el conocimiento académico con el tradicional. La relevancia de esta aproximación etnobotánica previa con la comunidad nos permitió determinar las especies culturalmente valoradas y con importancia ecológica, para diseñar estrategias efectivas hacia el proyecto. Así, las acciones de restauración serán apreciadas y tendrán más posibilidades de sostenibilidad, mientras se rescatan, preservan y transmiten los saberes tradicionales en torno a la vegetación.

Introducción

El municipio de Querétaro padece un proceso de urbanización acelerado, con los impactos ecológicos que esto conlleva. En el ejido de Mompaní se encuentra el relleno sanitario y crecen nuevos fraccionamientos. La capital queretana y su zona conurbada pertenecen a la Provincia Florística de la Altiplanicie, que se incluye en la Región Xerofítica Mexicana y la vegetación predominante es el matorral xerófito del tipo crasicaule, que conforma el tipo de vegetación presente en el área de estudio. Martínez y Hernández (2017) acotan que las formas de vida dominantes en este tipo de vegetación son arbustos con espinas, hojas pequeñas y tallos carnosos. Los elementos leñosos dominantes son: *Vachellia schaffneri* (huizache), *Mimosa aculeticarpa* (uña de gato) y *Vachellia farnesiana* (huizache). Entre las cactáceas más importantes están *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo), y diversas especies del género *Opuntia*.

La Planta de Broquers Ambiental, está próxima a la zona de estudio, donde convergen la zona urbana y rural. Por tal motivo, se implementa el Programa de Restauración Ambiental Comunitaria (PRAC), considerando como eje rector a la etnobotánica, pues estudia la interacción flora-sociedad y se concibe desde las percepciones, entendimiento y conocimientos de la naturaleza (Bravo et. al., 2022). De esta manera, la restauración del entorno de la comunidad es una acción que considera las necesidades e intereses de la sociedad y la biodiversidad en general, pues éstas son dependientes y coexistentes. Se determinan así las acciones de conservación y restauración con el aprovechamiento, según las tradiciones de la comunidad (Pulido y Cuevas, 2021 y Bravo et. al., 2022). El objetivo de este trabajo fue determinar una lista de especies bandera a ser empleadas en un programa de restauración ambiental comunitaria en el municipio de Querétaro, a partir de su valor ecológico e importancia cultural

Método

Como parte del PRAC, se determinaron las especies con valor ecológico y etnobotánico de la vegetación para su aprovechamiento en la restauración ambiental de la localidad, para los habitantes del lugar a los que va dirigido el programa. Así mismo, se estimó la riqueza de especies, mediante el estimador no paramétrico Chao2, calculando la cobertura de muestra según Chao y Shen. También se caracterizó el tipo de vegetación del área y se identificaron las especies que presentaron estructuras reproductivas.

Se realizó un estudio descriptivo en el área, durante el verano de 2023. La zona presenta signos de impacto antrópico y deterioro ambiental. Para el trabajo biológico, con un monitoreo dirigido a especies leñosas (árboles y arbustos), se establecieron 3 conglomerados (C1, C2 y C3) siguiendo el método descrito por Alanís et al. (2020), cada uno con 4 parcelas circulares de 400 m², dando un total de 4800 m² de superficie de muestreo. Se eligieron sitios con alta densidad de especies y lejanas de los caminos de acceso. Durante el proceso se midieron los siguientes parámetros dasométricos: altura total, diámetro normal $d_{1.3}$ (para organismos cuya altura total fuera mayor a 4 m), diámetro basal $d_{0.10}$ (para individuos con altura menor a 4 m) y diámetro de copa, tomando el diámetro mayor y el menor, para obtener el Índice de Valor de Importancia Ecológico (IVIE).

Para el trabajo etnobotánico, se realizaron 30 encuestas a habitantes de las localidades, mediante la técnica de las “listas libres”, para calcular la importancia cultural mediante el Índice de Saliencia de Smith. Acotando los usos etnobotánicos que se dan a las especies enlistadas (comestible, medicinal, artesanal, ritual, ornamental, combustible y forrajero). De tal forma, se obtuvieron las especies apreciadas por su utilidad para la comunidad. Posteriormente, se compararon las especies con importancia ecológica y valor etnobotánico, para aprovecharlas como especies bandera para el PRAC.

Resultados

Con la plataforma iNEXT Online de Anne Chao, se estimó la cobertura de muestra, que tuvo un valor de 0.983 y la curva de muestreo indica una estabilización cercana a las 20 especies, mientras que Chao₂ se

estimó en 18.66. Se presenciaron 176 organismos leñosos correspondientes a 8 familias, siendo la Fabaceae la mejor representada con 4 especies, seguida de Cactaceae y Burseraceae con 2 especies cada una. En total se avistaron 18 especies, identificando 12 a nivel de género y 9 a especie. Las especies más abundantes fueron: *Forestiera phillyreoides* (36), *Vachellia* spp. (26), *Bursera fagaroides* y *Calliandra eriophylla* (18), *Opuntia* spp. (16) y *Lysiloma microphyllum* (14).

De acuerdo al IVIE, se identificaron las asociaciones de *Forestiera phillyreoides* y *Bursera fagaroides* para C1, al igual que *Lysiloma microphyllum* y *Vachellia* spp. para C2 y *Forestiera phillyreoides* y *Opuntia* spp. para C3. Las especies presentes en los tres conglomerados son: *Bursera fagaroides*, *Forestiera phillyreoides*, *Opuntia* spp., *Vachellia* spp. y *Calliandra eriophylla*. La mayor densidad la presentó C3 con 69 organismos, C2 con 57 y C1 con 50. Las especies con mayor IVIE por conglomerado son: *Forestiera phillyreoides* -presente en los tres conglomerados- y *Vachellia* spp. en conjunto con *Bursera fagaroides* —en dos de los tres conglomerados— (Tabla 1).

Tabla 1. Especies con mayor Índice de Valor de Importancia Ecológica (IVIE) por conglomerado (C) en la zona de estudio. No=Número de individuos, D=Densidad, Dr=Densidad relativa, F=Frecuencia, Fr=Frecuencia relativa, Co=Cobertura, Cr=Cobertura relativa.

C	Especie	No	D	Dr	F	Fr	Co	Cr	IVIE
1	<i>Lysiloma microphyllum</i>	1 3	0.0 08	0.2 6	0. 1	0.0 4	11. 2	0.8 6	1.1 6
1	<i>Vachellia</i> spp.	1 3	0.0 08	0.2 6	0. 4	0.1 5	0.2	0.0 1	0.4 2
1	<i>Forestiera phillyreoides</i>	3	0.0 02	0.0 6	0. 1	0.0 4	1.0	0.0 8	0.1 8
2	<i>Forestiera phillyreoides</i>	1 3	0.0 08	0.2 3	0. 4	0.1 1	0.7	0.4 2	0.7 6
2	<i>Bursera fagaroides</i>	9	0.0 06	0.1 6	0. 4	0.1 1	0.2	0.1 4	0.4 1
2	<i>Vachellia</i> spp.	7	0.0 04	0.1 2	0. 3	0.0 9	0.1	0.0 5	0.2 6
3	<i>Forestiera phillyreoides</i>	1 9	0.0 12	0.2 8	0. 4	0.1 1	0.7	0.3 4	0.7 3
3	<i>Opuntia</i> spp.	1 0	0.0 06	0.1 4	0. 4	0.1 1	0.2	0.1 1	0.3 7
3	<i>Bursera fagaroides</i>	8	0.0 05	0.1 2	0. 4	0.1 1	0.1	0.0 4	0.2 7

De los 30 sabedores (personas entrevistadas), 21 son originarios de Querétaro, 3 de Guanajuato y 6

de otros estados. Enlistaron 38 especies (Tabla 2) delimitados en 7 usos, destacando el medicinal. Algunas especies poseen más de un uso, el mezquite y el huizache tienen 5 usos y el nopal, maguey y granjeno tienen 4 (Tabla 3). La mayoría de las especies enlistadas por las personas migrantes (no originarias del estado de Querétaro) son introducidas, tales como la sábila o el tabachín, probablemente porque conocen otro tipo de flora, aunque, las personas de Guanajuato comparten las especies y usos enlistados, probablemente porque son colindantes próximos a la zona de estudio y la vegetación es similar.

El mezquite (*Prosopis laevigata*) destaca por su importancia cultural, con 79% de menciones entre los sabedores, con un rango promedio del segundo lugar de mención y una saliencia de 0.706, posee cinco de los siete usos descritos y es una especie nativa. De igual forma se enlistan las especies mencionadas con mayor importancia cultural y se destaca que en los primeros lugares se encuentran las plantas con mayor cantidad de usos y que la mayoría se refieren a especies nativas con arraigo cultural de aprovechamiento y manejo (Tabla 3).

Tabla 2. Número de especies por tipo de uso. Número total de especies=38

Uso	No. especies
Medicinal	20
Ornato	17
Comestible	14
Combustible	14
Forraje	5
Artesanal	5
Ritual	1

Discusión

Debido al deterioro de la vegetación, es compatible con el matorral subtropical, que acorde con Martínez y Hernández (2017), es una etapa de disturbio del bosque tropical caducifolio que puede cambiar hacia otros tipos de vegetación dependiendo del tiempo y el manejo. Es destacable que parte de la zona funciona como vertedero de basura y ahí la vegetación se comporta como ruderal (C2). Se infiere que el tipo de vegetación corresponde al matorral crasicauale, tras pasar por un estadio de matorral subtropical, el cual es visible en algunos sitios del área. La estimación de

la riqueza con Chao2 (18.66) prospecta 19 especies. Los resultados del monitoreo concuerdan con los del Inventario Municipal Forestal y de suelos (2015) que registró 18 especies y 13 géneros, mientras que en el presente trabajo se avistaron 18 especies, identificadas 12 a nivel de género. La misma fuente

refiere que los usos son menos conocidos por los locales a comparación de la demanda nacional. Esto se ve reflejado en las bajas menciones de la flora útil en las listas libres y se evidencia el desconocimiento por parte de los jóvenes y migrantes.

Tabla 3. Especies de importancia cultural, su origen y usos en Mompaní y Los Juncos, Qro. Estatus (Nat= Nativa o Exó=Exótica), Frec%=Frecuencia de mención en porcentaje, RanProm =Rango promedio de mención.

Estatus	Especie	Nombre común	Frec (%)	RanProm	Saliencia	Usos
Nat	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	78.6	1.77	0.706	5
Nat	<i>Opuntia spp.</i>	Nopal	82.1	3.00	0.622	4
Nat	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	Garambullo	75.0	3.05	0.576	3
Nat	<i>Vachellia spp.</i>	Huizache	60.7	5.18	0.290	5
Nat	<i>Condalia spp.</i>	Granjeno	50.0	4.86	0.273	4
Nat	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Palo dulce	42.9	4.58	0.230	3
Nat	<i>Ipomoea murucoides</i>	Palo bobo	39.3	7.18	0.145	3
Nat	<i>Agave spp.</i>	Maguey	28.6	6.00	0.122	4
Nat	<i>Lysiloma microphyllum</i>	Tepehuaje	28.6	6.88	0.103	3
Nat	<i>Mammillaria spp.</i>	Chilitos	14.3	5.00	0.078	1
Nat	<i>Jatropha dioica</i>	Sangregrado	17.9	6.20	0.064	1
Nat	<i>Pachycereus marginatus</i>	Organo	14.3	6.25	0.064	2
Nat	<i>Stenocereus spp.</i>	Pitayo	17.9	7.80	0.062	3
Exó	<i>Eucalyptus spp.</i>	Eucalipto	10.7	3.00	0.061	1
Nat	<i>Bursera fagaroides</i>	Palo xixote	10.7	4.00	0.060	3
Nat	<i>Prunus serotina</i>	Capulín	7.1	2.00	0.060	1
Exó	<i>Schinus molle</i>	Pirul	10.7	3.33	0.055	2
Nat	<i>Delonix regia</i>	Tabachín	7.1	2.00	0.055	1
Nat	<i>Heterotheca inuloides</i>	Árnica	10.7	4.00	0.046	1
Exó	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	7.1	3.00	0.043	1
Nat	<i>Zaluzania augusta</i>	Castinguini	10.7	7.33	0.035	2
Nat	<i>Vachellia spp.</i>	Yundaro	10.7	8.00	0.034	3

Los resultados muestran que las especies con mayor abundancia no concuerdan con la mayor saliencia, aunque, la presión antrópica ejercida sobre especies culturalmente importantes puede relacionarse a su baja presencia debido a que son vistos como recursos de uso inmediato, como el caso del mezquite.

Se seleccionaron como especies bandera, a *Lysiloma microphyllum* por poseer el valor más alto de IVIE y a: *Forestiera phillyreoides*, *Vachellia spp.* y *Bursera fagaroides*, por tener altos valores de IVIE y estar presente en la mayoría de los conglomerados.

Tomando en cuenta su importancia cultural se seleccionaron a: *Prosopis laevigata*, *Opuntia spp.*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Condalia spp.*, *Eysenhardtia polystachya*, *Ipomoea murucoides*, *Agave spp.* y *Jatropha dioica*.

Cabe destacar que algunas especies fueron descartadas por su presencia en la NOM-059. Todas las especies con mayor IVIE, señaladas en este estudio concuerdan con las descritas por el Inventario Municipal Forestal y de suelos (2015).

Conclusiones

El Programa de Restauración Ambiental Comunitaria prospecta la propagación y monitoreo de 12 especies seleccionadas —dado que son las que se encuentran bajo mayor presión antrópica, principalmente por la tala para obtener combustible— además de concientizar el aprovechamiento sustentable con otros usos de las demás especies seleccionadas, que además del valor etnobotánico, mejoren la imagen urbana y aporten servicios ambientales.

Referencias bibliográficas

- Alanís Rodríguez, E., Mora Olivo, A., & Marroquín de la Fuente, J. S. (2020). *Muestreo ecológico de la vegetación*. Universidad Autónoma de Nuevo León. https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Rodriguez-65/publication/343137042_Muestreo_Ecologico_de_la_vegetacion/links/5f186f4545851515ef3e6b0f/Muestreo-Ecologico-de-la-vegetacion.pdf
- Bravo Avilez, D., Sánchez Rangel, J. B., Osorno Sánchez, T.G., Landeros Jaime, F., & Cabrera Luna, J. A. (2022). Etnobiología del noreste de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda. *Etnobiología* 20(3), 86–103.
- Chao, A., & Coldwell, R. (2017). Thirty years of progeny from Chao's inequality: Estimating and comparing richness with incidence data and incomplete sampling. *Sort*, (41), 3–54.
- Martínez y Díaz de Salas, M., & Hernández Sandoval, L. (Eds.). (2017). *Guía ilustrada de la flora del valle de Querétaro*. Querétaro, Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Municipio de Querétaro (Ed.). (2015). *Inventario municipal forestal y de suelos. Municipio de Querétaro*. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.
- Pulido-Silva, M. y Cuevas-Cardona, C. (2021). La Etnobiología en México vista a la luz de las instituciones de investigación. *Etnobiología*, 19 (1), 6-28.

Diversidad de especies en las agrosilviculturas del norte árido de México

Araceli del Carmen Andablo-Reyes^{1*} y Ana Isabel Moreno-Calles²

¹Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT). Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03940, Ciudad de México, México. ²Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Campus Morelia. Antigua carretera a Pátzcuaro 8701, Morelia, Michoacán, México.

*aandabl@r@gmail.com

Resumen

Se presentan los resultados preliminares de una investigación sobre las prácticas agrosilviculturales en el norte árido y semiárido de México, con énfasis en la presencia de especies de plantas nativas manejadas en los diferentes sistemas agrosilviculturales que se han identificado para la región nombrada Aridoamérica en México. La información se generó con base en la última actualización del inventario de Agrosilviculturas realizado por el Laboratorio de Estudios Transdisciplinarios del Ambiente. Los resultados muestran la diversidad de especies manejadas en los sistemas agrosilviculturales de Aridoamérica y el aprovechamiento de especies nativas que realizan los grupos culturales de la región. Se enfatiza la capacidad que tienen estas prácticas de manejo para conservar la biodiversidad nativa.

Palabras clave: Biodiversidad nativa, conservación de especies, Aridoamérica mexicana.

Abstract

This paper presents preliminary research results on agri-silviculture practices in the arid and semi-arid north of Mexico, emphasizing the presence of native plant species managed in different agroforestry systems identified for the region called Arid America in Mexico. The information was generated based on the latest update of the inventory of agroforestry systems carried out by the Laboratory of Transdisciplinary Environmental Studies. The results show the diversity of species managed in the agri-silviculture systems of Arid America. It also presents the use of native species by cultural groups and emphasizes the way in which these practices conserve native biodiversity.

Keywords: Native biodiversity, species conservation, Mexican Arid America.

Importancia para la conservación

Las agrosilviculturas constituyen nichos de conservación de especies nativas de las zonas áridas y semiáridas del norte de México. En esta región diversos estudios de caso documentan el manejo de especies nativas por grupos culturales étnicos y mestizos en sistemas agrosilviculturales. Estas especies son utilizadas principalmente como alimento, medicina, ornato, forraje, artesanía, combustible, cerca viva y en la ritualidad.

Introducción

En México existe una gran diversidad de sistemas de manejo agrosilviculturales. Entre los más representativos están las milpas, los huertos familiares, las terrazas, los agrosilvopastoriles, los agrobosques. Las agrosilviculturas (ASC) son las formas de relación que se establecen entre los humanos y otras biodiversidades silvestres o cultivadas y se practican en todo el país con base en manejos no empresariales, en diversos climas, altitudes, pendientes, y por culturas étnicas o mestizas (Moreno-Calles et al., 2016 y 2021). Sin embargo en el norte árido y semiárido, región que nombraremos Aridoamérica para la porción que ocupa en México en las entidades de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Tamaulipas y Guanajuato (Figura 1), estas prácticas han sido desdibujadas por la forma particular en que se desarrolló la conquista y colonización española de esta región y posteriormente por efecto de las políticas de modernización, desde las liberales hasta las neoliberales, y en especial por haber sido cuna de la Revolución Verde (Andablo-Reyes et al., 2023).

Sin embargo, aunque diezmadas y excluidas bajo este escenario histórico, en el norte también se conservaron y desarrollaron prácticas alternativas a las agriculturas empresariales. En este trabajo nos proponemos presentar algunos resultados preliminares de investigación sobre estos manejos en el norte árido y semiárido de México, enfatizando sobre la presencia de especies de plantas nativas manejadas en los diferentes sistemas agrosilviculturales que se han identificado para la región.

Método

Desde 2012, el equipo del Laboratorio de Estudios Transdisciplinarios del Ambiente (LABETA) coordinado por la Dra. Ana Isabel Moreno-Calles, ha elaborado y actualizado un inventario sobre las publicaciones que documentan la presencia de ASC en el país (Moreno-Calles et al., 2016 y 2021). A través de la búsqueda de diversas fuentes académicas y de divulgación (Google Academic, Web of Science, repositorios de Instituciones académicas, Medios de

divulgación) se han rastreado los trabajos que describen la relación entre grupos culturales, étnicos y mestizos, con las biodiversidades silvestres y cultivadas.

El presente trabajo se elaboró con base en la última actualización de estas búsquedas para la región de Aridoamérica en México. Para realizar la Figura 1 se analizó la información documentada en trabajos académicos que contienen listados de especies de plantas manejadas en la zona de estudio. En algunos listados se identifica si la especie es nativa o introducida y cuando no se disponía de esta información, se realizó una búsqueda en las bases digitales de Naturalista (2023). Se generó un mapa con los resultados preliminares de las especies listadas por entidad y se agregó también el dato de las especies nativas que son manejadas en los sistemas inventariados. El análisis espacial se realizó con el software de código abierto QGIS.

Resultados

En las entidades agrupadas como Aridoamérica sólo habita el 9.2 % de la población indígena de México, en gran medida a consecuencia de la guerra de exterminio que padecieron durante la invasión española. Mucho del conocimiento sobre la forma de relacionarse con la diversidad silvestre en el norte árido se perdió con la extinción de los pueblos originarios de estas tierras, a diferencia de lo ocurrido en Mesoamérica donde estos pueblos siguen siendo los depositarios y practicantes de gran parte de estos saberes ancestrales.

La modernización y la Revolución Verde, consolidaron el proceso de agriculturización forzada del desierto y el semidesierto comenzado por los españoles. El forzamiento de las tierras áridas para integrarse al modelo agroexportador se logró mediante la inversión en grandes obras hidráulicas, el uso de maquinaria agrícola, abuso de plaguicidas y fertilizantes, semillas mejoradas, la introducción de razas europeas de ganado y de pastos invasivos (Cerutti, 2015; Búrquez, 2022). Pero sobre todo a costa de la sobreexplotación de los mantos acuíferos y el acaparamiento de tierras mediante el despojo a las

comunidades indígenas, o bien a través del arrendamiento (Cerutti, 2015).

Como resultado de este proceso histórico, las ASC de la Aridoamérica mexicana fueron desplazadas por una visión agroempresarial centrada en la sobreexplotación de la tierra. Sin embargo, algunas de estas prácticas lograron subsistir bajo la protección de grupos étnicos y mestizos.

El norte es dominado por los climas muy áridos, áridos y semiáridos, con precipitaciones promedio menores a los 700 mm al año, con mayores condiciones de humedad sólo en las incursiones al norte de las Sierras Madre Occidental y Oriental. Entre las prácticas agrosilviculturales desarrolladas en la región se cuentan las tradicionales milpas, huertos familiares y los sistemas agro y silvopastoriles. Pero también manejos ancestrales realizados por grupos étnicos nativos de la región como los Seris en Sonora, quienes se sostienen como grupo recolector y pescador; los Guarijíos en Sonora y los Tarahumaras en Chihuahua, quienes conservan prácticas agrícolas ancestrales como los *Mahuechis*. En Baja California, Baja California Sur y Sonora se registran los Oasis, formas de manejo heredadas de la época misional adaptadas a las condiciones de aridez (Cariño et al., 2016). En Coahuila y Durango se documentan las experiencias de reconexión con la flora nativa a través de manejos silvopastoriles para

aprovechar el mezquite y el huizache como fuente de proteína para el ganado y como especies de pecoreo (Reyes et al., 2014); y en Baja California se recupera el uso de la harina de vaina de mezquite como un superalimento para la elaboración de productos de repostería.

La Figura 1 presenta la distribución de las especies documentadas en ASC por entidad. Sonora destaca por el mayor número de especies registradas y también por el mayor número de especies nativas, entre ellas maíz, frijol, agave, tabaco y cactáceas, cuyo cultivo se practica entre los Guarijíos y los Pápagos (Nabhan et al., 1982). En Zacatecas y San Luis Potosí la diversidad de especies es aportada principalmente por los huertos familiares y las especies nativas por el manejo de los matorrales de mezquite y huizache, que los grupos mestizos aprovechan como forraje y para la extracción de plantas medicinales como *Wereke* (*Ibervillea sonora*), Gobernadora (*Larrea tridentata*), Sangre de Grado (*Jatropha dioica*), entre otras (Díaz, 2019). La diversidad nativa registrada en Nuevo León y Tamaulipas proviene de la riqueza del Matorral Espinoso Tamaulipeco que se aprovecha principalmente para sistemas silvopastoriles (Alanís et al., 2019).

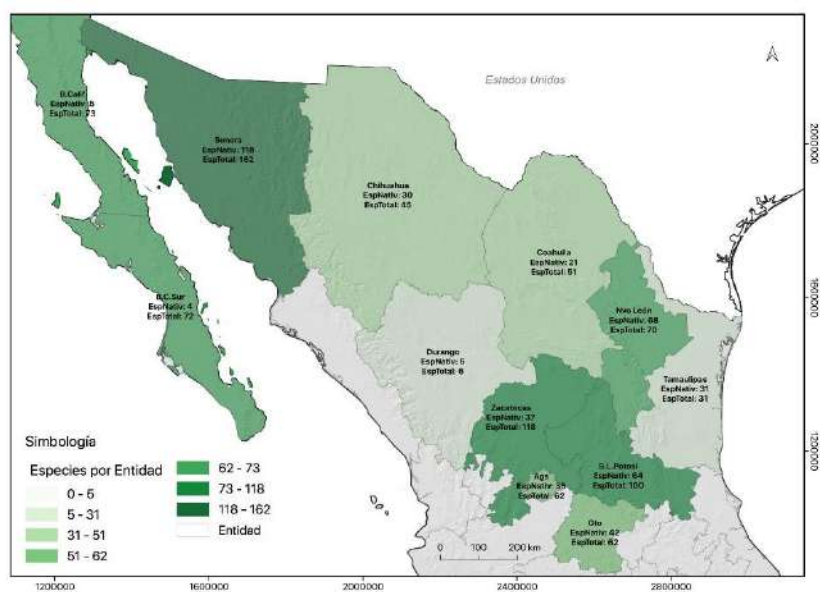


Fig. 1. Inventario de especies totales y nativas en la ASC de Aridoamérica (2022). Fuente: Elaborado con base en la actualización al 2022 del inventario de ASC para Aridoamérica en México. Proyección Cónica Conforme a Lambert, Datum WGS 84, escala 1:12'000,000.

La mayor diversidad de usos documentada se registra en San Luis Potosí (Tabla 1) donde destaca el aprovechamiento de especies nativas como cerca viva: Ocotillo (*Fouqueira splendens*), Órgano (*Pachycereus marginatus*), Palma (*Yucca spp.*), y otras (Díaz, 2019).

Discusión

Para Aridoamérica, donde el modelo empresarial se impuso como la forma dominante para relacionarse con la aridez, es esencial documentar la presencia de las ASC como manejos alternativos y en algunos casos ancestrales. Los límites del modelo de producción dominante se están manifestando en diversos ámbitos. En el norte de México, la imposición de la agricultura intensiva sobre el frágil equilibrio de los ecosistemas áridos se manifiesta en las luchas constantes por el agua entre grupos étnicos y familias rurales, frente a empresarios agrícolas y mineros que acaparan y sobreexplotan mantos acuíferos y/o los contaminan.

La conservación de especies nativas a través de su aprovechamiento diverso es una oportunidad para estos ecosistemas y también para las culturas que las practican.

Conclusiones

Los resultados presentados muestran la diversidad de especies manejadas por las ASC en la Aridoamérica Mexicana. A pesar de que han sido históricamente excluidas y descalificadas desde perspectivas modernizadoras y empresariales, y que las condiciones climáticas han impuesto límites a su desarrollo, estos manejos persisten y están cobrando importancia.

Las ASC constituyen nichos de conservación de biodiversidad silvestre y cultivada a través de su aprovechamiento como alimento, cerca viva, forraje, ornato, medicina e incluso en la ritualidad; y son manejadas en Milpas, Huertos, Oasis y sistemas Agro y Silvopastoriles. También se está recuperando relación con especies representativas de los ambientes áridos como el mezquite, como fuente de forraje, pecoreo, y como alimento nutritivo para los humanos.

Tabla 1. Prácticas agrosilviculturales, porcentaje de especies nativas y usos por entidad en Aridoamérica mexicana.

Entidad	ASC	% Nativas	Usos
Aguascalientes	Milpa, Huerto y Agrosilvopastoril	56.5%	Alimento, Medicinal, Forraje y Ornamental
Baja California	Oasis y Mezquite	6.8%	Alimento y Artesanía
Baja California Sur	Oasis	5.6%	Alimento
Coahuila	Agrosilvopastoril, Mezquite y Huizache, Huerto y Milpa	41.2%	Alimento, Medicinal, Pecoreo y Cercas vivas
Chihuahua	Nativas	66.7%	Alimento, Medicinal y Maderable
Durango	Mezquite y Huizache	83.3%	Pecoreo
Guanajuato	Milpa (Tajos)	67.7%	Alimento, Medicinal, Ornamental, Combustible, Maderable, Sombra
Nuevo León	Silvopastoril	97.1%	Forraje
San Luis Potosí	Huerto, Milpa y Mezquite y Huizache	64.0%	Alimento, Medicinal, Forraje, Cera, Jabón, Combustible, Construcción, Textil, Ritual, Cercas vivas.
Sonora	Nativas, Huerto, Mezquite y Huizache, y Oasis	72.8%	Alimento, Medicinal, Combustible, Forraje, Ritual, Fibra, Sombra
Tamaulipas	Silvopastoril	100.0%	Forraje
Zacatecas	Huerto	31.4%	Alimento, Medicinal, Combustible, Forraje, Ornamental, Cerca viva, Sombra
Total		54.0%	

Fuente: Elaborado con base en la actualización al 2022 del inventario de ASC para Aridoamérica en México.

Finalmente, se plantea la necesidad de seguir documentando las ASC para el norte árido e ir llenando los vacíos de información que persisten en la región.

apicultura en los sistemas agroecológicos de la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(2):215-228.

Referencias bibliográficas

- Alanís-Rodríguez, E., Valdecantos-Dema, A., Canizales-Velázquez, P. A., Chávez-Costa, A. C., Rubio-Camacho, E., Mora-Olivo, A. (2018). Análisis estructural de un área agroforestal en una porción del matorral xerófilo del noreste de México. *Acta Botánica Mexicana*, 125:133-156. doi: 10.21829/abm125.2018.1329.
- Andablo-Reyes, A. d. C., Moreno-Calles, A. I., Cancio-Coyac, B. A., Gutiérrez-Coatecatl, E., Rivero-Romero, A. D., Hernández-Cendejas, G., Casas, A. (2023). Agro-silviculturas of Mexican Arid America. *Journal of Ethnobiology Ethnomedicine*, 19(39):1-21. doi: 10.1186/s13002-023-00612-5.
- Búrquez, A. (2022). A Land of Illusions and Thin Air. En V. Souza, M. C. Mandujano, I. Pisanty, L. E. Eguiarte. (Ed). *Conflicts Between Biodiversity Conservation and Humans. The Case of the Chihuahua Desert and Cuatro Ciénegas*. (pp. 1-7). Ciudad de México, México: Springer.
- Cariño M., Breceda, A., Tenza, A. (2016). Los oasis: sistemas socioambientales tradicionales de la península de Baja California. En A.I. Moreno-Calles, A. Casas, V. M. Toledo, M. Vallejo-Ramos. (Ed). *Etnoagroforestería en México*. (pp.149-170). Ciudad de México, México: UNAM-ENES Morelia, IIES-UNAM.
- Cerutti, M. (2015). La agriculturización del desierto. Estado, riego y agricultura en el norte de México (1925-1970). *Apuntes*, 77, 91-127.
- Díaz Reyes, C. (2019). *Agroforestería en zona árida, cultivo y conservación de la flora medicinal de San Luis Potosí*. (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México, México.
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Rivero, A., Bautista, Y., Rangel, S., Fisher, R., ..., Santos-Fita, D. (2016). Ethnoagroforestry: Integration of biocultural diversity for food sovereignty in México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12(54):2-21. doi: 10.1186/s13002-016-0127-6
- Moreno-Calles, A. I., Rojas, A. M., Romero, Y. A., Organización Sauane Katchu, Reyes, F., Torres-García, I., ..., Del Val, E. (2021). Agrosilviculturas en territorios semiáridos de Puebla, México. *Revista Etnobiología*, 19(3):6-28.
- Nabhan G. P., Rea, A. M., Reichhardt, K. L., Mellink, E., Hutchinson, C. F. (1982). Papago influences on habitat and biotic diversity: Quitovac oasis ethnoecology. *Journal of Ethnobiology*, 2(2):124-143.
- Naturalista. (2023). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. <http://www.naturalista.mx>
- Reyes-Carrillo J. L., Galarza-Mendoza, J. L., Muñoz-Soto, R., Moreno-Reséndez, A. (2014). Diagnóstico territorial y espacial de la

Plantas nativas y medicinales de la región Lerma Bajío: un patrimonio biocultural

Angélica Navidad Morales Figueroa
angelicanavidad.24@gmail.com

Resumen

Este ensayo muestra parte de la riqueza biológica que existe en la región Lerma Bajío, un bioma formado por al menos dos ecosistemas: el matorral y la selva baja caducifolia. A través del trabajo de campo y el reconocimiento del territorio, así como la oralidad de hombres y mujeres en las localidades, podemos distinguir las plantas nativas y endémicas que son la base de saberes tradicionales relacionados a la salud y el buen vivir de su población.

Palabras clave: Región Lerma Bajío, plantas nativas, saberes tradicionales, plantas medicinales, patrimonio biocultural.

Abstract

This essay aims to briefly show the biological wealth in the Lerma Bajío region, a biome formed by at least two ecosystems: the scrub and the low deciduous forest. Through fieldwork, the recognition of the territory, and the orality of men and women in the localities, we can distinguish native and endemic plants that are the basis of traditional knowledge related to health and the good living of their population.

Keywords: Lerma Bajío Region, native plants, traditional knowledge, medicinal plants, biocultural heritage.

Importancia para la conservación:

La riqueza biológica que existe en la región Lerma Bajío incluye plantas nativas y endémicas que son la base de saberes tradicionales y conforman un patrimonio biocultural relacionado a la salud, el uso de plantas medicinales y el buen vivir de las localidades que se ubican al norte de Michoacán, entre los estados de Guanajuato y Jalisco.

Introducción

Hablar de la historia de las plantas nativas como patrimonio biocultural en las localidades de la región Lerma Bajío implica recuperar saberes tradicionales que siguen vivos y se comparten en sus comunidades, como sucede con el amplio patrimonio cultural y oral de México.

El punto de partida para este estudio es la ciudad de La Piedad en Michoacán, territorio donde todavía es posible encontrar árboles propios de la región en estado silvestre, formando parte del paisaje urbano, así como de los cerros, la ribera del río Lerma y sitios donde la mancha urbana aún conserva distancia. Este patrimonio biocultural presenta un potencial etnobiológico manifiesto en los usos que todavía conservan las plantas en las localidades de la región.

La herbolaria está ligada a las especies de la región, que continúan siendo importantes en la medicina tradicional y forman parte de la alimentación y cuidado de los animales de pastoreo. Su permanencia también brinda protección natural al suelo. Estas plantas son necesarias para conservar el bienestar del medio ecológico de la región, y el desarrollo de los saberes en la medicina tradicional, rituales, actos festivos y costumbres que estructuran la vida en las comunidades.

Metodología

Se documentaron de forma cualitativa las plantas de la región Lerma Bajío en los alrededores de la ciudad de La Piedad, incluyendo las localidades de Yurécuaro y Numarán (norte de Michoacán), Pénjamo (Guanajuato) y Degollado (Jalisco). En dichas localidades se realizó trabajo de campo para conocer las principales especies de plantas nativas por su papel ecológico y su relación con los usos y saberes tradicionales.

Resultados

La región Lerma Bajío como patrimonio cultural vivo.

La depresión del río Lerma constituye una zona de transición entre el Eje Neovolcánico y la región del Bajío. Esta una zona de altitud orientada hacia el Noroeste y constituida por un largo valle y elevaciones volcánicas que van de los 1900 a los 2500 metros sobre el nivel del mar.

El Valle de La Piedad o Bajío está rodeado de montes escarpados o lomeríos, como el Cerro de Cujuarato, mejor conocido como Cerro Grande que en la parte central alcanza los 2,517 metros sobre el nivel del mar. Los principales valles de esta depresión son los de Zacapu, Zamora, Penjamillo, Ixtlán, Tanhuato y la Piedad (INEGI, 2009).

En el municipio domina el bosque mixto, con pino y encino; la pradera, con huizache, mezquite, nopal, pastizal y matorrales diversos (Figura 1). La fauna está representada por coyote, tejón, conejo, liebre, zorro, zorrillo, tlacuache.

Las poblaciones indígenas diseminadas por la zona incluyen a los purépechas, los nahuas y los matlazincas, cuyos saberes tradicionales también se han enriquecido con las aportaciones de la población mestiza.

La flora de la región Lerma Bajío proporciona a sus habitantes recursos de múltiples usos, como leña para cocinar, plantas medicinales, pastura para el ganado y una variedad de productos para su alimentación (Hernández-Pantoja, 2012). En la Tabla 1 se presentan algunas de las especies de uso medicinal que se encuentran en la zona, y sus usos referidos.

Los saberes tradicionales del Lerma Bajío.

Las localidades del Lerma Bajío comparten tradiciones del Semidesierto. Las comunidades indígenas como los purhépechas o los chichimecas se reflejan, al alimentarse y curarse aprovechando la flora y la fauna de la región.

El conocimiento de las plantas puede considerarse parte del sostén de la vida comunitaria, pues con ellas se atienden como primer recurso las necesidades de los individuos y sus poblaciones. De esta manera continúan dando sentido a la enfermedad

y la salud, ante las circunstancias que complican y dificultan la existencia de la vida y la dificultad para acceder a servicios médicos en las localidades. Su experiencia acumulada, el trabajo y la convivencia revela un gran capital intelectual que enriquece a las familias y apunala el esfuerzo personal para curar.

Conclusiones

Las plantas de la región Lerma Bajío y los saberes tradicionales son un patrimonio biocultural que se complementa para ofrecer a su población una riqueza muy importante de recursos propios de la región y otros que llegan a las comunidades a través de una red que suministra las plantas medicinales como se hacía en el pasado por toda la Aridoamérica.

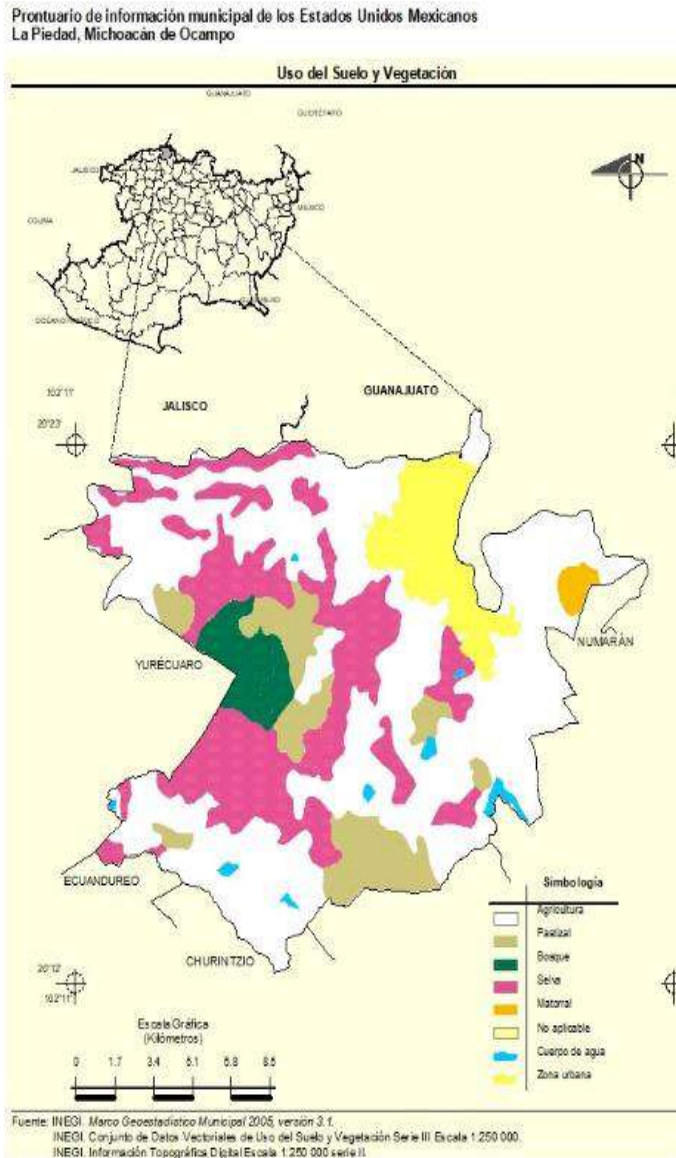


Fig. 1. Uso de suelo y vegetación del municipio de La Piedad de Cabadas, Michoacán (INEGI, 2009).

Tabla 1. Especies vegetales con importancia medicinal, reportadas en la región Lerma-Bajío (Fuente: Durán, 2003; García-Linares, 2012).

Especies vegetales	Usos reportados
Cazahuate, palo bobo (<i>Ipomoea wolcottiana</i> Rose)	Se emplea como tintura artesanal. Es remedio contra piquete de animales ponzoñosos y sus flores son preparadas en infusión para curar los bronquios.
Copal, papelillo [<i>Bursera copallifera</i> (Sessé & Moc.) Bullock]	Infecciones estomacales, gripas y afecciones de los riñones.
Copal chino (<i>Bursera bipinnata</i> Engl.)	La infusión de sus flores cura enfermedades respiratorias. Su resina es ampliamente utilizada de forma ritual en fiestas tradicionales como la Navidad, Día de Muertos o Semana Santa, y para purificar las habitaciones después del fallecimiento de una persona.
Espino prieto [<i>Havardia acatlensis</i> (Benth.) Britton & Rose]	Infecciones estomacales, gripas y afecciones de los riñones.
Fresno [<i>Fraxinus uhdei</i> Lingelsch.]	Se emplean para refrescar el cuerpo en tiempos de calor y bajar las fiebres por medio de baños de asiento, utilizando sus ramas y hojas.
Guajillo, borrego [<i>Mariosousa acatlensis</i> (Benth.) Seigler & Ebinger Syn. <i>Acacia acatlensis</i> Benth.]	Infecciones estomacales, gripas y afecciones de los riñones.
Guamúchil [<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.]	Se conoce al fruto por sus cualidades para limpiar los intestinos. Con las hojas se prepara una infusión para despegar el empacho y parar la diarrea provocada por alguna infección en el estómago. Es también alimento para el ganado y se utiliza en áreas urbanas, como en la ciudad de La Piedad, para embellecer y reforestar.
Pánicua [<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.]	Su tintura se utiliza para pintar el algodón en colores amarillo y naranja. Con su madera se preparan infusiones para curar infecciones de los riñones y la vejiga.
Parotillo [<i>Albizia tomentosa</i> (Micheli.) Standl.]	Infecciones estomacales, gripas y afecciones de los riñones.
Pochote [<i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten & Baker f.]	El aceite de sus semillas es utilizado en la industria. Sus espinas se utilizan como para elaborar artesanías y su fruto o algodón es alimento para animales silvestres de la región como los tlacuaches
Quebracho [<i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J.F.Macbr.]	Infecciones estomacales, gripas y afecciones de los riñones.
Sangregarie, consangre (<i>Apoplanesia paniculata</i> C. Presl.)	Infecciones estomacales, gripas y afecciones de los riñones.
Sauz (<i>Salix bonplandiana</i> Kunth.)	Se emplean para refrescar el cuerpo en tiempos de calor y bajar las fiebres por medio de baños de asiento, utilizando sus ramas y hojas.
Tepemezquite [<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth.]	Infecciones estomacales, gripas y afecciones de los riñones.
Tronadora [<i>Tecoma stans</i> (L.) Kunth.]	Conocida por sus cualidades para curar la diabetes. Su raíz se emplea como diurético.

Referencias bibliográficas

- Biblioteca de la Medicina Tradicional Mexicana. (2009). *Atlas de la Medicina Tradicional Mexicana*, México, UNAM. Disponible en: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=solanum-rostratum>
- Duran, V., Sevilla, F. (2003). *Atlas Geográfico del Estado de Michoacán*, México, Gobierno del Estado. 62-64.
- García, I., Linares, A. (2012). *Árboles y arbustos de la cuenca del río Tepalcatepec (Michoacán y Jalisco) para uso urbano*. México, El Colegio de Michoacán, IPN. 72-220.
- Hernández, L., Pantoja, Y. (2012). "Plantas útiles y distribución potencial de las forrajeras, medicinales y su uso múltiple" en *La Biodiversidad en Guanajuato: Estudio de Estado*. Vol. I, México, CONABIO. Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. 274 – 289.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. La Piedad, Michoacán de Ocampo. Clave geoestadística 16069. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q>

=La+Piedad+Michoac%C3%A1n#tabMCcollapse-Indicadores

Sustentabilidad: una propuesta para hacer tangible el concepto

Israel G. Carrillo-Angeles^{1*}, Francisco Josué López-Martínez F. J.^{1**}, Mónica Elisa Queijeiro-Bolaños^{1***}, Mónica Cervantes-Jiménez^{1****}
y Guadalupe Xóchitl Malda Barrera G. X.^{1*****}

¹Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro campus Juriquilla, Av. De las Ciencias S/N, C. P. 76230, Juriquilla, Querétaro.

*israel.carrillo@uaq.mx

**francisco.josue.lopez@uaq.mx

***monica.queijeiro@uaq.mx

****monica.cervantes@uaq.mx

*****gmalda@uaq.mx

Resumen

A pesar de que la idea de la sustentabilidad nos ha acompañado por poco más de cinco décadas, y de que en la actualidad la encontramos ampliamente difundida, sigue siendo incomprensible para muchas personas y difícil de llevar a la práctica. Además, en ocasiones se utiliza este término para referirse a la idea de sostenibilidad, o quizás se confunde con ella, ya que en el idioma inglés no existen diferencias entre los dos términos usados en el idioma español. Con la intención de proporcionar un recurso accesible a quienes quieren incursionar en la sustentabilidad y llevar a la práctica el concepto, en este ensayo se ofrece un panorama general sobre el tema y se presenta un esquema dinámico sencillo que puede ser de utilidad para implementar estrategias sustentables a escalas tangibles para distintos niveles sociales (p. ej., comunitario, familiar e individual). La utilidad del esquema se ilustra con su aplicación para el desarrollo de un modelo de sustentabilidad en el campus Juriquilla de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Palabras clave: Desarrollo sostenible, desarrollo sustentable, esquema dinámico, modelo de sustentabilidad, sostenibilidad.

Abstract

Despite that the idea of “sustentabilidad” has accompanied us for just over five decades, and that it is nowadays widely spread, remains incomprehensible to many people and challenging to put into practice. Besides, sometimes this term is used to refer to the idea of “sostenibilidad,” or perhaps confused with it, since in the English language, no differences exist between these two terms in Spanish. To provide an accessible resource to those who want to venture into “sustentabilidad” and to put the concept into practice, in this essay, an overview of the topic is introduced, presenting a simple dynamic framework that can be used to implement “sustentables” strategies at scales that are tangible for different social levels (e.g., community, family, and individual). The usefulness of the scheme is demonstrated by the explanation of how we are applying it to develop a “sustentabilidad” model at the Juriquilla campus of the Autonomous University of Querétaro.

Key words: Sustainable development, “sustainable” development, dynamic framework, “sustentabilidad” model, sustainability.

Importancia para la conservación

En el campus UAQ-Juriquilla se implementa un modelo de sustentabilidad como estrategia para concienciar sobre la necesidad de minimizar nuestro impacto ambiental y social. Esta iniciativa se manifiesta en la participación activa de estudiantes, docentes y directivos en la conservación y restauración de más de seis hectáreas de vegetación silvestre en el campus, hogar de diversas especies nativas herbáceas, arbustivas y arborecentes.

Introducción

La idea de la sustentabilidad o sostenibilidad y los esfuerzos por aplicarla a la vida humana, datan de principios de la década de 1970, teniendo como antecedente las primeras iniciativas para la conservación de los recursos naturales en las que participaron varios países y organizaciones civiles. Entre estas iniciativas destacan: la creación en 1948 de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la realización de las primeras discusiones multidisciplinarias sobre el análisis del impacto humano en su entorno (p. ej., el Coloquio “El papel del ser humano en la transformación de la superficie terrestre” celebrado en 1955 en Princeton) y el movimiento ambientalista de los años sesenta, en el que obras como “La primavera silenciosa” (Silent Spring) de la bióloga Rachel Carson y “La bomba poblacional” (The population bomb) del biólogo Paul R. Ehrlich, fueron fundamentales (Capel, 2003; Díaz-López, 2004; Vargas-Hernández, 2006; Calvente, 2007).

A finales de los años sesenta, la creación del Club Roma (The Club of Rome), constituido por algunos científicos, intelectuales y políticos de la época preocupados por los riesgos que conlleva el desarrollo humano basado en el crecimiento ilimitado de la población y en la explotación intensiva y extensiva de recursos naturales, desembocó en el informe “Los Límites del Crecimiento” (The Limits to Growth), el cual impulsó el movimiento de la sostenibilidad a nivel global. Dicho documento contribuyó a poner el tema en la agenda política mundial, reflejándose en eventos como la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano y la creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) a principios de los años setenta (Díaz-López, 2004; Estenssoro, 2015).

Más adelante, en el contexto de una reunión del Consejo Consultivo del PNUMA celebrada en 1973, se propuso el término *Ecodesarrollo* para proponer una forma de desarrollo social y económico que toma en cuenta la complejidad de las interacciones entre estas dos esferas, el uso racional de los recursos naturales y la reducción del impacto negativo que la sociedad tiene en el ambiente

(Clinton, 1976; Díaz-López, 2004; Estenssoro, 2015), pero el término fue eliminado de los documentos del PNUMA a partir de 1974 por exigencia del secretario de estado de los Estados Unidos de América, con el argumento de que tal concepto se contraponía a los intereses de ese país (Díaz-López, 2004).

En 1980, la UICN, en colaboración con el PNUMA y otras organizaciones, emite la Primera Estrategia Mundial para la Conservación, en la que se menciona inicialmente el término *desarrollo sostenido* para referirse a la satisfacción de las necesidades y el mejoramiento de la calidad de vida de los humanos mediante la modificación de la biosfera, tomando en cuenta los factores económicos, sociales y ecológicos, así como la disponibilidad de los recursos bióticos y abióticos (UICN, 1980). Posteriormente, en 1983 se crea la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo, la cual emite en 1987 el que ha sido uno de sus informes más significativos y que lleva por título *Nuestro Futuro Común* (también conocido como Informe Brundtland), en el cual se adopta y desarrolla ampliamente el concepto de *desarrollo sostenible*, definiéndose en forma resumida como “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987).

En la Tabla 1 se presenta información adicional sobre los eventos mencionados en los párrafos anteriores.

Tabla 1. Algunos eventos relevantes que antecedieron a la definición y uso formales del concepto de *desarrollo sostenible*.

Año. Evento. Información adicional.
1948. Fundación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés). Organización a escala mundial con participación gubernamental y de la sociedad civil, que tiene como objetivo crear y promover estrategias para la conservación de la naturaleza. Se fundó en la localidad francesa de Fontainebleau con el nombre de Unión Internacional para la Protección de la Naturaleza (IUPN por sus siglas en inglés) cambiando al actual en 1956 (IUCN, sitio web).
1955. Coloquio “El papel del Ser Humano en la Transformación de la Superficie Terrestre” (Man’s role in Changing the Face of the Earth). Reunión de personas de distintas disciplinas de la Geografía, Biología, y de las Ciencias Sociales, llevada a cabo en la localidad de Princeton, en la cual se discutieron temas sobre la posesión y la transformación de

<p>la tierra, las consecuencias de las actividades humanas en el ambiente y la influencia del crecimiento poblacional, el uso de energía y el consumo de materias primas en las condiciones futuras del planeta (Capel, 2003).</p>	<p>PNUMA ha tenido un papel central en el desarrollo del Derecho Ambiental Internacional (Brusco, 2010).</p>
<p>1962. “La Primavera Silenciosa” (Silent Spring) de Rachel Carson. Libro sobre el impacto de los pesticidas en el ambiente, en el que se destacan las consecuencias del uso del dicloro difenil tricloretano (DDT) en los procesos biológicos y en la salud de las personas. Algunos años después de su publicación, el libro fue importante para comenzar a restringir el uso del DDT, e influyó considerablemente en la creación de la Agencia estadounidense para la Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) en 1970 (Paull, 2013).</p>	<p>1973. El concepto de “Ecodesarrollo”. Fue planteado por el entonces director ejecutivo del PNUMA, Maurice Strong, en la primera reunión del Consejo Consultivo de dicho organismo. El concepto fue desarrollado posteriormente por el economista Ignacy Sachs, considerando aspectos como: 1) el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, 2) la creación de estrategias de satisfacción de necesidades básicas de la población (alimentación, vivienda, salud, educación), de desarrollo tecnológico, de organización social y de desarrollo institucional; que fuesen adecuadas para cada ecorregión, e independientes de los patrones marcados por los países ricos, y 3) la reducción del impacto de las actividades humanas en el ambiente. Aunque el término “ecodesarrollo” fue eliminado del vocabulario oficial por petición de Henry Kissinger, quien figuraba en ese entonces como Secretario de Estado de los Estados Unidos de Norteamérica, varios de sus planteamientos conceptuales fueron retomados para definir tiempo después al “desarrollo sostenible” (Clinton, 1976; Díaz-López, 2004, Estenssoro, 2015).</p>
<p>1968. “La Bomba Poblacional” (The Population Bomb) de Paul Ehrlich. Libro sobre las implicaciones del crecimiento de las poblaciones humanas en un ambiente con recursos limitados, en el que se plantea la disminución de las tasas de natalidad como una necesidad para la viabilidad de la población humana. La idea de controlar el crecimiento poblacional jugó un papel muy importante en la poca aceptación que tuvo el libro cuando fue publicado, siendo rechazado por diversos sectores de la sociedad (Ehrlich y Ehrlich, 2009). Antes de este libro, hubo otras obras sobre el impacto del crecimiento de las poblaciones humanas en la disponibilidad de los recursos naturales, que causaron polémica (Estenssoro, 2015).</p>	<p>1980. Primera Estrategia Mundial para la Conservación (EMC). Fue elaborada por la UICN con la asesoría y financiamiento del PNUMA y la WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza), y con la colaboración de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) y la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura). La EMC proporciona un marco teórico y representa una especie de guía para la implementación de estrategias de conservación a nivel mundial. En el concepto de <i>desarrollo sostenido</i> definido en la EMC, se considera que la conservación de los recursos bióticos es necesaria para mantener los procesos ecológicos, los sistemas vitales esenciales y la diversidad genética, así como para permitir el aprovechamiento sostenido de las especies y los ecosistemas (UICN, 1980).</p>
<p>1972. “Los límites del crecimiento” del Club Roma. En este libro publicado por el Club Roma (creado en 1968) se advertía que la forma de desarrollo que la población humana mostraba en ese entonces (considerando su velocidad de crecimiento, desarrollo de industria, explotación de recursos, producción de contaminantes, etc.), llegaría a su límite en apenas una centena de años. Dos publicaciones del Club Roma posteriores (“Más allá de los límites” publicado en 1992 y “Límites del crecimiento: actualización a 30 años” publicado en 2004) presentan información sobre las consecuencias de no tomar en serio las advertencias del informe de 1972 (Mayor-Zaragoza, 2009).</p>	<p>1983. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU. Su creación fue establecida mediante una resolución de la Asamblea General de la ONU celebrada en diciembre de 1983, con el objetivo de elaborar un informe sobre el panorama a futuro de la problemática ambiental (ONU, 1987).</p>
<p>1972. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano. La relación entre el desarrollo de las poblaciones humanas y la crisis ambiental se consideraron en la agenda política mundial a partir de la Conferencia de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) sobre el Medio Ambiente. La celebración de la conferencia estuvo en riesgo, debido al argumento de que el crecimiento poblacional de los países menos desarrollados implicaba una amenaza para los recursos naturales, originando un descontento de estos hacia los países más desarrollados, cuya posición privilegiada había resultado de la explotación de los recursos naturales en el pasado (Estenssoro, 2015).</p>	<p>1987. Informe “Nuestro futuro común” de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Fue el resultado del trabajo de la comisión para cumplir con el objetivo establecido en la Asamblea General de la ONU de 1983. Se le conoce también como Informe Brundtland en honor a la entonces primera ministra de Noruega y presidenta de la comisión, Gro Harlem Brundtland. El contenido del informe incluye, entre otras cosas, el panorama, hasta ese momento, y la perspectiva de la crisis ambiental; el planteamiento de estrategias a largo plazo para alcanzar un desarrollo sostenido; y recomendaciones para cubrir objetivos de desarrollo económico y social de interés común a nivel internacional, en un contexto de preocupación generalizada por el medio ambiente (ONU, 1987).</p>
<p>1973. Creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Fue fundado en seguimiento de una resolución emitida en la Conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente de 1972, teniendo entre sus objetivos principales, la creación de instrumentos para implementar políticas ambientales a nivel mundial. Desde su fundación, el</p>	

Un concepto difícil de comprender y aplicar

Después de entrar en el escenario político en 1987 a través del informe Brundtland, el *desarrollo sostenible* se convirtió en un actor importante como consecuencia de la amplia difusión que tuvo en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992, en la que alrededor de 170 países miembros de la ONU adoptaron la Agenda 21 para tratar de enfrentar la crisis ambiental global, iniciando así, el planteamiento de numerosas definiciones y propuestas para tratar de aplicar el concepto de *desarrollo sostenible* a diferentes escalas (p. ej., comunitario, institucional, sectorial, etc.) (Díaz-López, 2004).

La definición de *desarrollo sostenible* dada en el informe Brundtland es probablemente la más conocida y utilizada, y aunque resulta comprensible porque engloba la esencia de muchas de las diferentes maneras de conceptualizar el término, ha sido criticada, entre otras cosas, por carecer de procedimientos concretos para llevarla a la práctica y para ser usada en la evaluación de toma de decisiones, y por implicar una contradicción entre el componente de desarrollo económico y el de sostenibilidad (vivir dentro de los límites biofísicos del ambiente) (Marshall y Toffel, 2005; Sagrelles, 2008; Ciegis et al., 2009).

Los aspectos que dificultan el entendimiento y la aplicación del concepto de *desarrollo sostenible* son muy diversos, incluyendo el uso del término en diferentes contextos dentro de distintos campos de estudio (p. ej., Ecología, Economía y Sociología, entre otros), diferentes escalas de aplicación (p. ej., instituciones gubernamentales en materia ambiental, instituciones educativas, sector productivo e instituciones del sector salud, entre otros), un menú amplio de definiciones y diversas formas de evaluación aplicables en contextos particulares.

Adicionalmente, el uso de términos (en la literatura en español) que no aclaran si son lo mismo que *desarrollo sostenible* (*desarrollo sustentable*, *sostenibilidad* y *sustentabilidad*), y de términos que no son lo mismo pero que se usan como sinónimos (p. ej., *crecimiento sostenible* y *consumo sostenible*)

(Heinen, 1994; Marshall y Toffel, 2005; Ciegis et al., 2009).

El uso indistinto en la literatura en español de *desarrollo sostenible* y *desarrollo sustentable* llama la atención por la polémica que ha desatado. En resumen, algunas personas consideran que el término correcto es *desarrollo sostenible*, traducción de *sustainable development* que aparece en el informe Brundtland, y que el término *desarrollo sustentable* no tiene sentido; otras personas consideran que son sinónimos, y otras más que sí existe una diferencia (Cortes-Mura y Peña-Reyes, 2015; Rivera-Hernández, et al., 2017). Entre quienes consideran esto último, una postura interesante por ser incluyente de formas de desarrollo fuera del esquema predominante, es que el *desarrollo sostenible* asocia el desarrollo económico (y las leyes del mercado) con el uso de los recursos naturales, mientras que el *desarrollo sustentable* no, ya que es una forma de producir bienes acorde al potencial de los ecosistemas y a las características culturales de quienes los habitan, independientemente de las leyes del mercado (Leff, 2006; Rivera-Hernández et al., 2017, Mariño-Jiménez et al., 2018).

La sostenibilidad usada como etiqueta

En el esquema de desarrollo predominante (guiado en gran medida por las leyes del mercado) se han hecho propuestas serias para hacer aplicable y medible el concepto de *desarrollo sostenible*, como el trabajo de Constanza y Daly (1992), en el cual se discuten las condiciones que son necesarias para que el *capital natural* (conjunto de recursos, condiciones y procesos de los ecosistemas que resultan en flujo de bienes y servicios) permanezca estable, o se incremente. Sin embargo, la aplicación en la realidad del mercado ha resultado con mucha frecuencia en simples fachadas para desviar la atención de un persistente enriquecimiento de unos cuantos, a costa de la destrucción del ambiente y el empobrecimiento de muchos.

Por ejemplo, actualmente, muchas empresas practican algo que se conoce como *blanqueamiento ambiental*, *eco-blanqueo* o simplemente *lavado verde* (greenwashing), términos que hacen referencia a un conjunto de estrategias de mercadeo (*marketing*) que

promocionan a una empresa (y a sus productos) como sustentable, de tal modo que los consumidores la asocien con términos como *amigable con el ambiente*, *biodegradable*, *orgánico*, *ecológico*, etc., con la principal (si no es que la única) intención de maximizar las ganancias (Andrews-Interiano et al., 2020).

Para llevar a cabo el lavado verde, las empresas pueden valerse de estrategias como la validación de sus acciones “sustentables” o “sostenibles” por parte de especialistas y organizaciones (no gubernamentales, de beneficencia o compañías “certificadoras”), el enmascaramiento de acciones no sustentables promocionando excesivamente una que lo parece (p. ej., cuando una empresa patrocina un evento como la cumbre climática mundial mientras contribuye a llenar el planeta de botellas de plástico y a secar los acuíferos de las comunidades rurales), la injerencia en políticas públicas a través de “lobistas” o grupos de presión (personas que defienden los intereses de una organización influyendo de alguna manera en los tomadores de decisiones de políticas públicas) para evitar el seguimiento de medidas de sostenibilidad que atenten contra los intereses económicos de la empresa, el empleo de discursos y términos engañosos en los productos sin ninguna acción concreta (p. ej., cuando se promociona que un producto es sustentable por utilizar materiales reciclados en su elaboración sin presentar evidencia al respecto, o cuando se le pone la leyenda “100% natural”), entre muchas otras. (Crocker, 2013; de Freitas Netto et al., 2020).

El esquema fundamental de la sostenibilidad

Entre todas las definiciones, términos, conceptos, posturas y demás aspectos que pueden dificultar la comprensión de la sostenibilidad, emerge un esquema básico de tres elementos o componentes que constituyen su esencia: el social, el ambiental y el económico (Purvis et al., 2019; Artaraz, 2002). Sin embargo, este esquema, aunque sencillo, presenta también una serie de complicaciones relacionadas con la dificultad para definir las características de cada componente, y de cómo estas deben interactuar para

hacer comprensible y aplicable la sostenibilidad (Ilić-Krstić et al., 2018; Purvis et al., 2019).

De manera simplificada, el componente económico incluye tanto al crecimiento (aumento sostenido a través del tiempo en la producción de bienes y servicios) como a varios aspectos de la calidad de vida de las personas (educación, salud, vivienda servicios, etc.) (Artaraz, 2002; Calvente, 2007; Ilić et al., 2018). El componente social se refiere a aquellos aspectos que rigen el comportamiento humano para un desarrollo adecuado de la sociedad, por ejemplo, derechos humanos, equidad (intergeneracional, intrageneracional y entre países), respeto a la diversidad cultural, reconocimiento de formas de organización social, etc. (Artaraz, 2002; Calvente, 2007; Sagrelles, 2008). Por último, el componente ambiental está representado por los aspectos relacionados con la reducción de las consecuencias negativas del desarrollo de las poblaciones humanas sobre los elementos y los procesos de los ecosistemas, o, dicho de otro modo, con cómo mantener a través del tiempo el capital natural y los servicios ecosistémicos (beneficios que obtiene la sociedad a partir de los ecosistemas, Fig. 1) (Constanza y Daly, 1992; Artaraz, 2002; WRI, 2003).

Un esquema sencillo y dinámico de sustentabilidad

El esquema de sustentabilidad que se propone puede ser aplicado a distintos niveles de organización (comunidad, institución, familia o individuo), ya que, a pesar de incluir los tres componentes fundamentales de la sostenibilidad, no se interpretan de la misma manera, y en el económico no está implícita la idea del crecimiento. El componente económico se define como una forma simplificada de entender el conjunto de estrategias mediante las que una comunidad, institución, familia o individuo, gestiona y administra eficaz y racionalmente sus recursos (económicos, materiales y humanos).

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

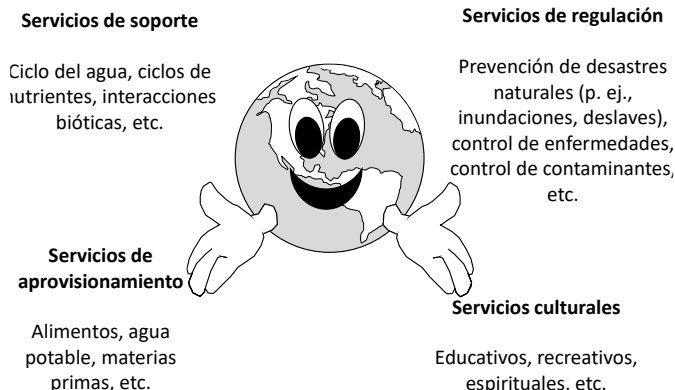


Fig. 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos según la Junta de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (WRI, 2003).

El componente social se refiere al conjunto de estrategias desarrolladas por la comunidad, institución, familia o individuo encaminadas a fomentar y fortalecer una cultura de paz y equidad en la sociedad. Por último, el componente ambiental está conformado por el conjunto de estrategias desarrolladas por la comunidad, institución, familia o individuo para reducir el impacto de su forma de vida sobre el ambiente.

En el esquema dinámico de sustentabilidad que se propone, los tres componentes pueden verse como engranes de una maquinaria en la que el movimiento de cada engrane impulsa el de los otros, generando una especie de movimiento auto sostenido gracias a un cuarto engrane, que representa un proceso de gestión (Fig. 2), y que se encarga del análisis, la planeación y organización del funcionamiento del esquema, de tal modo que este pueda transformarse y permanecer viable a través del tiempo. La posición de los engranes puede cambiar dependiendo de cuál es el componente con el que se quiere o se puede iniciar la dinámica del sistema.

Un ejemplo de aplicación del esquema dinámico de sustentabilidad

En el campus Juriquilla de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), el desarrollo del modelo basado en el esquema dinámico de sustentabilidad parte de la idea de aprovechar los beneficios del esfuerzo individual y cotidiano de los integrantes de la

comunidad (estudiantes, académicos, personal de apoyo y autoridades), encauzándolos a la solución de retos comunes relacionados con el aspecto ambiental (p. ej., conservación y mejoramiento de áreas verdes, disminución de la producción de residuos orgánicos e inorgánicos, y estrategias para su manejo adecuado, uso racional del agua, etc.), y con el aspecto social (p. ej., formación de personas conscientes y colaborativas en la solución de problemas que atañen a toda la sociedad, difusión del conocimiento hacia la población en general, aplicación del conocimiento para generar beneficios para el bien común, etc.).

Para tal fin, se creó un área de sustentabilidad del campus que representa el engrane de gestión (Fig. 2). Dicha área está organizada de tal modo que cada proyecto que se incluye en el modelo de sustentabilidad es dirigido por uno o más líderes, que se encargan de planear estrategias para su desarrollo y viabilidad a largo plazo (Fig. 3). Para aumentar las posibilidades de que un proyecto se mantenga a largo plazo, entre los líderes de proyecto debe haber al menos un integrante que sea miembro permanente de la comunidad universitaria.

SUSTENTABILIDAD

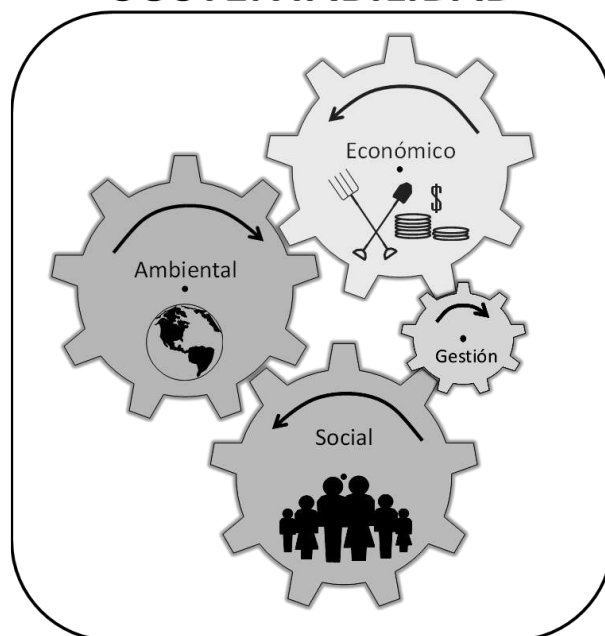


Fig. 2. Componentes del esquema dinámico de sustentabilidad. Para lograr tener un proceso sustentable deben interactuar de tal modo que las estrategias que conforman cada componente, impulsen y fortalezcan las estrategias de los otros componentes.

Los recursos y la infraestructura que se obtienen en cada proyecto asociado al modelo, quedan disponibles para todos los proyectos, al igual que el ingenio y el esfuerzo humanos que se requieren. Esto es fortalecido mediante un esquema de reutilización de materiales que permite hacer un uso más eficiente de los recursos (componente económico del modelo) (Figs. 2 y 3). De este modo, cada proyecto cuenta con una base para iniciar su desarrollo.

El desarrollo organizado y la integración de todos los proyectos se mantienen mediante un puesto de responsable del área de sustentabilidad reconocido por las autoridades del campus (Fig. 3), y la participación de los estudiantes se promueve a través de un programa que les permita validar su servicio social, prácticas profesionales o créditos extracurriculares.

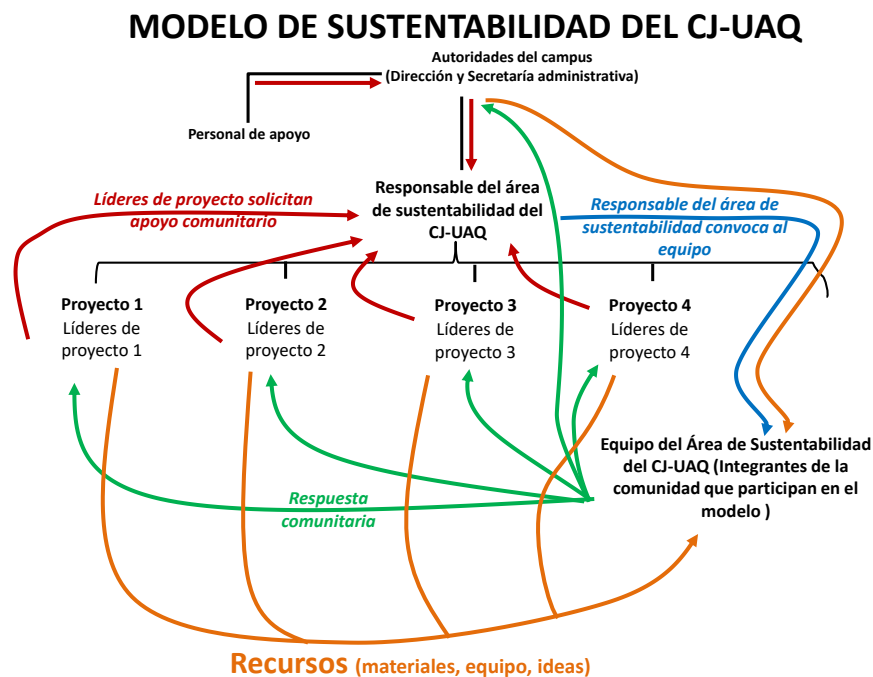


Fig. 3. Esquema operativo que representa el engrane de gestión del modelo implementado en el Campus Juriquilla de la Universidad Autónoma de Querétaro (CJ-UAQ) basado en el esquema dinámico de sustentabilidad.

Los componentes ambiental y social del modelo se cubren con los objetivos de cada proyecto (Fig. 2). Por ejemplo, un proyecto del componente ambiental que se está desarrollando actualmente, implica el procesamiento de los residuos orgánicos que se generan en las cafeterías, laboratorios de procesamiento de alimentos y jardines para convertirlos en composta. A este, se planea unir otro proyecto del componente social que conlleva la impartición de cursos, dirigidos al público en general, sobre cómo elaborar composta en casa para ser utilizada en pequeños huertos urbanos. En otro proyecto del componente ambiental se están restaurando tres áreas con vegetación silvestre dentro del campus, con el

propósito de mantener su funcionalidad para el desarrollo de actividades de investigación y docencia, y se vincularán con el componente social para promover la educación ambiental y la divulgación de la ciencia.

Conclusiones

El desarrollo de las poblaciones humanas se ha basado principalmente en modos de utilización de los recursos, de patrones de consumo y de crecimiento económico incompatibles con la preservación de la integridad y funcionalidad de los ecosistemas naturales, y con la posibilidad de que todos gocemos de condiciones de vida adecuadas, llevándonos a la necesidad de enfrentar

retos titánicos para que la existencia de las generaciones actuales y las futuras sea posible. En tal escenario, el desarrollo de las ideas de la sostenibilidad y de la sustentabilidad ofrecen una posibilidad para transitar en el camino de la búsqueda de soluciones. Sin embargo, en el desarrollo de la idea misma y sobre todo en su aplicación, existe aún mucho trabajo por hacer. Los esfuerzos para transformarnos en una sociedad sostenible, han implicado mayormente intentos para adaptarnos a un esquema de sostenibilidad que surgió en el seno de las discusiones político-económicas internacionales, sin poner atención en el verdadero problema, que es la inconsciencia sobre el impacto de nuestra forma de vida en los ecosistemas. Ante tal situación, el desarrollo de estrategias aplicables en escalas de organización social, y tangibles para la población en general, puede resultar más efectivo para comenzar a resolver el problema ambiental y social al que nos enfrentamos, ya que la modificación de los hábitos de la población puede ejercer la presión que transforme las políticas empresariales y públicas.

Agradecimientos

Este trabajo fue elaborado con apoyo del proyecto SUV-DVS-2020_001 (FONDEC UAQ 2019).

Referencias bibliográficas

- Andrews-Interiano, N. O., F. G., Arredondo-Trapero y J. C., Vázquez-Parra. (2020). Sustentabilidad en perspectiva: procesos de cambio y desarrollo organizacional ante el *slacktivism* y el *greenwashing*. En *Gestión del Conocimiento, Perspectiva Multidisciplinaria*, vol. 20, Merino-Córdoba, V. Coordinador-editor, Fondo Editorial Universitario de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago Jesús María Semprúm, Santa Bárbara del Zulia.
- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas* 11(2).
- Brusco, A. (2010). "El PNUMA y el derecho ambiental". Quinto Programa Regional de Capacitación en Derecho y Políticas Ambientales. PNUMA.
- Calvente, A.M. (2007). *El concepto moderno de sustentabilidad*. Universidad Abierta Interamericana, Centro de Altos Estudios Globales (UAIS-SDS-100-002), Buenos Aires.
- Capel, H. (2003). La geografía y los dos coloquios sobre la incidencia del hombre en la faz de la Tierra. *Biblio 3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales* VIII, (459).
- Ciegis, R., J., Ramanauskiene y B., Martinkus. (2009). The concept of sustainable development and its use for sustainability scenarios. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 62 (2): 28-37.
- Clinton, R. L. (1976). Hacia una teoría del ecodesarrollo: concepto clave para ubicar el rol de políticas de población dentro del proceso de desarrollo. *Comercio Exterior*, 26(1): 64-71.
- Constanza, R. y H. E., Daly. (1992). Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology*, 6(1):37-46.
- Cortés Mura, H. G. y Peña Reyes, J. I. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Revista EAN*, 78: 40-55.
- Crocker, R. (2013). 'Ethicalization' and Greenwashing: Business, Sustainability and Design. *Research conference, AGLDEAS International Design Forum*. Melbourne, Australia.
- de Freitas-Netto, S. V., M. F., Falcão-Sobral, A. R., Bezerra-Ribeiro y G. R., da Luz-Soares. (2020). Concepts and forms of greenwashing: a systematic review. *Environmental Sciences Europe*, 32:19.
- Díaz-López, A. M. (2004). Desarrollo sustentable: pasado, presente y futuro. *Biblio 3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales* VII, (25): 17-23.
- Ehrlich, P. R. y A. H., Ehrlich. (2009). The population bomb revisited. *The Electronic Journal of Sustainable Development*, 1(3).
- Estenssoro, F. (2015). El *ecodesarrollo* como concepto precursor del desarrollo sustentable y su influencia en América Latina. *UNIVERSUM*, 30(1): 81-99.
- Heinen, J. T. (1994). Emerging, diverging and converging paradigms on sustainable development. *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 1:22-33.
- Ilić-Krstić, I., A. Ilić y D., Avramović. (2018). The basic dimensions of sustainable development: environment, economy and society. *Conference paper in Proceedings of the 18th International Conference of the series Man and Working Environment* (pp. 197-202).
- Leff, E. (2006). Ética por la vida. Elogio de la voluntad de poder. *POLIS*, 13:1-18.
- Mariño-Jiménez, J. P., S., Flores-Gamboa y J., Bonilla. (2018). Sostenibilidad versus sustentabilidad. Una propuesta integradora que desvirtúa su uso homólogo. *Opción* 34, (87):1391-1422.
- Marshall, J. D. y M. W., Toffel. (2006). Framing the elusive concept of sustainability: A sustainability hierarchy. *Environmental Science & Technology*, 39(3):673-682.
- Mayor-Zaragoza, F. (2009). Los límites del crecimiento. *Temas para el debate*, 181:10-16.
- ONU. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*.
- Paull, J. (2013). The Rachel Carson letters and the making of *Silent Spring*. *SAGE open*, 3(3).

- Rivera-Hernández, J. E., G., Alcántara-Salinas, N. V., Blanco-Orozco, E., Pascal y J. A., Pérez-Sato. (2017). ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto. *Posgrado y Sociedad*, 15(1):57-67.
- Purvis, B., Y., Mao y D., Robinson. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14:681-695.
- Sagrelles, J. A. (2008). La ecología y el desarrollo sostenible frente al capitalismo: una contradicción insuperable. *Revista NERA*, 11(13):128-143.
- UICN. (1980). *Estrategia Mundial para la Conservación. La conservación de los recursos vivos para el logro de un desarrollo sostenido*. UICN, PNUMA, WWF. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/WCS-004-Es.pdf>
- Vargas-Hernández, J. G. (2006). Nuevos movimientos sociales ambientales en México. *Revista Venezolana de Ciencias Sociales*, 10(1):37-54.
- World Resources Institute (2003). *Ecosystems and Human Well-being, a framework for assessment*. Washington D. C.

Inspiración STEAM para complementar el Programa de Educación Ambiental del Jardín Botánico Regional de Cadereyta

Beatriz Maruri Aguilar^{1*}, Yazmin Hailen Ugalde de la Cruz¹, María Magdalena Hernández Martínez¹ y Emiliano Sánchez Martínez¹.

¹Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío", Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Camino a Antigua Hacienda Tovares SN, Ejido "Las Fuentes y Pueblo Nuevo", Cadereyta de Montes, Querétaro, México

*bmaruri@concyteq.edu.mx

Resumen

La alfabetización científica es esencial para las sociedades modernas, que están cimentadas cada vez más profundamente en la ciencia y la tecnología. En México, algunos indicadores de desempeño escolar en ciencias, como la prueba PISA, reflejan la necesidad de mejorar las capacidades nacionales para comprenderlas y aplicarlas. Entre los modelos educativos interdisciplinarios que promueven el desarrollo de talentos en ciencias, el STEAM se presenta como una herramienta que puede ser implementada en espacios de educación no formal como los jardines botánicos. El Jardín Botánico Regional de Cadereyta propone, dentro de su Programa de Educación Ambiental, una narrativa de cápsulas STEAM tomando como modelos las especies de plantas de la colección viva, para integrar, en su mensaje en favor de la conservación, otras disciplinas científicas; y ejemplificar la manera en que los principios de la naturaleza se aplican en la vida diaria. La institución pretende contribuir, de esta manera, a la mejoría de las capacidades estudiantiles, al surgimiento de vocaciones científicas y al acercamiento entre ciencia y sociedad, para que ésta comprenda el mundo en el cual vive, pueda interpretarlo, conducirlo, predecirlo, y, sobre todo, respetar sus patrones y procesos, siempre en favor de la perpetuación armónica de la vida.

Palabras Clave: Alfabetización científica, educación no formal, educación STEAM, jardín botánico, Nueva Biología.

Abstract

Scientific literacy is essential for modern societies increasingly grounded in science and technology. In Mexico, some school performance indicators in science, such as the PISA test, reflect the need to improve national capacities to understand and apply them. Among the interdisciplinary educational models that promote the development of talents in science, STEAM is presented as a tool that can be implemented in non-formal education spaces, as botanical gardens. The Cadereyta Regional Botanical Garden proposes a narrative of STEAM capsules taking as models the plant species of the living collection to integrate, in its message in favor of conservation, other scientific disciplines and exemplify how the principles of nature are applied in daily life. Capsules are to be part of the Environmental Education Program of the institution. The botanic garden aims to contribute, in this way, to the improvement of student capabilities, the emergence of scientific vocations, and the rapprochement between science and society; so that society understands the world in which it lives, can interpret it, conduct it, predict it, and, above all, respect its patterns and processes, always in favor of the harmonious perpetuation of life.

Keywords: Botanical garden, New Biology, non-formal education, science literacy, STEAM education.

Importancia para la conservación

La educación ambiental es uno de los tres objetivos esenciales de los jardines botánicos, junto con la conservación y la investigación. La práctica educativa, además de fomentar el conocimiento sobre la naturaleza y divulgar la importancia de su conservación, acerca a las ciencias a usuarios y visitantes, expande su intelecto y fomenta una actitud positiva más consciente hacia la diversidad biológica.

Introducción

La diversidad biológica y los servicios y funciones de los ecosistemas, cuyas contribuciones son vitales para la humanidad, se deterioran en todo el mundo (IPBES, 2019). Los problemas sociales están estrechamente vinculados con los procesos de la naturaleza, que se estudian y comprenden con el método científico. Estas circunstancias requieren que los esquemas educativos permitan, a quienes son los futuros investigadores y tomadores de decisiones, comprender y abordar los problemas sociales desde una perspectiva científica.

La falta de capacidades para comprender la actividad científica, aún de manera elemental, es perjudicial ante la realidad de la sociedad contemporánea, cimentada en la ciencia y la tecnología. Desde finales del siglo pasado, se ha reconocido que esta falta de comprensión debería ser subsanada mediante la alfabetización científica (UNESCO, 1994, en Orozco et al., 2018). La formación de niños y adolescentes debería motivarlos a resolver problemas concretos y capacitarlos para atender las necesidades de la sociedad, empleando la ciencia y la tecnología (Orozco et al., 2018).

El modelo educativo STEAM (de *Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*) ha venido a sumarse a una larga lista de enfoques y planteamientos didácticos alternativos al arquetipo de enseñanza tradicional para las áreas curriculares del ámbito científico—tecnológico (García-Carmona, 2020). STEAM se presenta como un modelo que integra disciplinas científicas y artísticas para mejorar la competitividad de los educandos (Sanders, 2009). También es considerado un buen enfoque pedagógico para la consolidación de disciplinas profesionales inéditas, como la “Nueva Biología”, que persigue la formación de investigadores que propongan soluciones integrales a los problemas sociales, partiendo de conocimiento biológico (Labov et al. 2010, NRC, 2009).

El Jardín Botánico Regional de Cadereyta (JBRC) es una institución educativa no formal que divulga el conocimiento de la flora y la importancia de su conservación. Cuenta con un programa educativo, conceptual y metodológico, estructurado con actividades y contenidos diseñados de acuerdo al

perfil y edades de usuarios y visitantes (Sánchez y Galindo, 2011).

Ante la necesidad de generar vocaciones científicas y mejorar la comprensión y valoración de la ciencia en la población mexicana, —cuyos niveles de desempeño escolar en la materia están por debajo del promedio mundial (IMCO, 2023), y cuya población adulta manifiesta una relación contradictoria y ambivalente con la ciencia (ENPECYT, 2017)—, el JBRC busca construir, dentro de su programa educativo, una práctica de inspiración STEAM, a través de cápsulas que toman como ejemplo varias especies de plantas de la colección viva. Las cápsulas integran disciplinas como física y matemáticas a la narrativa principal, presentan ejemplos de aplicación práctica de los principios y modelos encontrados en la naturaleza, y tienen un toque lúdico. De esta manera, la institución contribuirá a incrementar la comprensión y valoración de la ciencia en los usuarios y estudiantes que reciban estos contenidos, y apuntalará su mensaje, siempre encaminado a la construcción de la conciencia social responsable hacia la naturaleza.

México requiere mejorar su desempeño y comprensión de la ciencia

Un parámetro internacional que estima la capacidad de los alumnos de 15 años para utilizar sus conocimientos y habilidades de lectura, matemáticas y ciencias para afrontar los retos de la vida es el *Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes* (PISA, por sus siglas en inglés) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Esta evaluación se aplica cada tres años (Salinas et al., 2019) y sus resultados se presentan en puntajes promedio y niveles de desempeño. Los niveles muestran el grado de dominio de cada competencia y de los procesos cognitivos que se emplean en la resolución de las tareas. El nivel seis revela la capacidad de resolver tareas de amplia complejidad cognitiva aplicando conocimiento científico mediante un razonamiento avanzado, mientras que el nivel uno se interpreta como un conocimiento científico tan limitado que solo se puede aplicar a situaciones conocidas, y proporciona un desempeño insuficiente para

desarrollar las actividades que exige la vida en la sociedad del conocimiento (Tabla 1).

Nivel	Descripción	Tarea
6	Alto desempeño. Se resuelven tareas de amplia complejidad cognitiva.	+
5		
4	Buen desempeño, se resuelven tareas de cierta complejidad cognitiva.	COMPLEJIDAD
3		
2		
1	Bajo desempeño, insuficiente para un desarrollo próspero.	-

Tabla 1. Síntesis de los seis niveles de desempeño para la Evaluación PISA de la OCDE. Fuente: OCDE, s. f.

Los puntajes que nuestro país ha alcanzado, durante los años en los que ha participado en la prueba PISA, presentan una cierta estabilidad. En la edición 2022, México se posicionó en el lugar 35 de los 37 países miembros de la OCDE evaluados, con resultados que muestran un desempeño de nivel medio—bajo (nivel 2). El puntaje promedio de México es de 407 puntos, 71 por debajo del promedio de la OCDE (478). La diferencia se mantiene cercana en las tres competencias evaluadas (Lectura: 415; Matemáticas: 395; Ciencias: 410), siendo matemáticas el área con mayor diferencia (77 puntos) respecto del promedio OCDE (472). Históricamente, el puntaje de Matemáticas se acerca a los valores obtenidos en el 2000 y 2003 (387 y 385, respectivamente). La comprensión lectora alcanza 61 puntos menos que el promedio OCDE (476) (IMCO, 2023) (Figura 1).

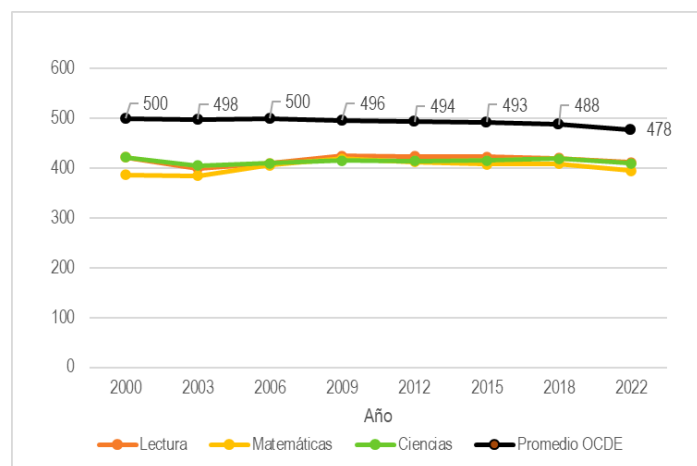


Figura 1. Comparación de puntajes promedio de jóvenes mexicanos en la prueba PISA, 2003-2022 vs. el promedio OCDE. Fuente: elaboración propia con datos de PISA.

Antes de ingresar a la educación básica, los estudiantes tienen un interés espontáneo y curioso en la ciencia (Ambrojo, 2015). Esto se modifica al término de dicha etapa. Es entonces cuando su visión sobre las ciencias se modifica, consideran que son difíciles de aprender y pierden el interés. Esta tendencia refuerza el declive de las actitudes hacia la ciencia y las carreras científicas (OCDE, 2018).

En términos generales, el pensamiento de los ciudadanos mexicanos de 18 años y más respecto de los temas de Ciencia, Tecnología e Innovación es ambivalente y contradictorio. Esto fue documentado por la *Encuesta sobre la Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología* del 2017 (ENPECYT 2017), aplicada a una muestra de la población. Por una parte, cerca del 75% de los encuestados tiene algún interés por la ciencia y la tecnología, 43.1% está muy de acuerdo con la necesidad de mayor inversión en investigación científica, 36% señaló tener interés en los nuevos inventos, descubrimientos científicos y desarrollo tecnológico, y 49% declaró tener interés en temas ambientales. Por otra, más del 70% declararon confiar más en la fe y creencias, y muy poco en la ciencia, 75% coincidieron en que el avance científico provoca cambios abruptos en su forma de vida, y más del 50% consideró al desarrollo tecnológico como algo negativo que “deshumaniza” (DOF, 2021; ENDUTIH, 2018; Galache, 2019; Ortiz, 2020).

Estas cifras ponen en evidencia que México tiene una gran tarea por delante en términos de alfabetización científica, promoción de las vocaciones científico—tecnológicas, y diálogo entre la ciencia y la población (Aldana, 2012). Para esto, además del aula escolar —paradigma hegemónico de la formación académica—, pueden intervenir otros espacios, instituciones y modelos de educación no formal.

STEAM y “Nueva Biología”: educación científica multidisciplinaria

Desde finales de la década de 1990, el Consejo Nacional de la Investigación de los Estados Unidos (National Research Council, NRC) y diversos autores alertaron sobre la necesidad de replantear y reestructurar el modelo de educación en ciencias de la vida, a niveles medio y superior. La mayoría de las

propuestas coincidía en la aplicación de enfoques interdisciplinarios e interconectados (Labov et al., 2010). Al mismo tiempo, la Fundación Nacional para la Ciencia (National Science Foundation, NSF) trabajaba junto a grupos de educadores que proponían agrupar varias disciplinas —Ciencias, Matemáticas, Ingeniería y Tecnología— en una sola: SMET, acrónimo en inglés de Science, Mathematics, Engineering, Technology, que después evolucionaría a STEM (Sanders, 2009) y que se presentó como una estrategia para atender el rezago del capital humano y generar nuevas soluciones de capital laboral, ante el creciente y competitivo desarrollo científico—tecnológico de potencias mundiales emergentes, como China (García Carmona, 2020).

En 2007, la mesa redonda Americans for the Arts-National Policy, propuso la educación STEAM, para combinar las artes con materias STEM y mejorar la creatividad, innovación y participación de los estudiantes (Perignat y Katz-Buonincontro, 2019). Yakman (2008) se adhirió a la integración de las artes liberales al modelo, con lo que el acrónimo transitó de “STEM” a “STEAM”. También propuso convertir el proceso de enseñanza-aprendizaje en un modelo que integre de manera interdisciplinar el conocimiento científico, abordando de manera coordinada e integral las disciplinas enunciadas (Figura 2) (García-Fuentes et al., 2021; Yakman 2008) e incorporando con las artes elementos como estética, ergonómica, sociología, psicología, filosofía (Yakman y Lee, 2012). Si bien diversos autores señalan que no existe una definición universal para el acrónimo STEAM (Sanders, 2009), Yakman lo explicó como “*la ciencia y la tecnología, interpretadas a través de la ingeniería y las artes, todas ellas basadas en elementos matemáticos*”, es decir: la conexión de las ciencias y la tecnología por medio de las matemáticas y explicadas por medio de las artes y la ingeniería (Rojas-Montemayor y Segura, 2019; Yakman, 2008). Los componentes del acrónimo se comprenden de la siguiente manera (Yakman y Lee, 2012):

- **Ciencia:** “Lo que existe naturalmente y la manera en que se ve afectado”.
- **Tecnología:** Lo que es manufacturado por el hombre, o “la innovación, cambio o modificación del entorno para satisfacer las necesidades y

deseos humanos”. “Cualquier modificación del mundo natural llevada a cabo para satisfacer las necesidades o deseos humanos”.

- **Ingeniería:** “Enfoque sistemático y comúnmente iterativo para diseñar objetos, procesos y sistemas que satisfagan necesidades y deseos humanos”.
- **Matemáticas:** El estudio de los números, las relaciones simbólicas, los patrones, las formas, la incertidumbre y el razonamiento.
- **Artes:** Bellas artes, lenguaje, artes liberales, estética, deporte, historia, política, sociología.

De las diversas virtudes que se adjudican a la educación basada en el enfoque STEAM, quizás la principal es la integración sinérgica de las materias curriculares que componen el acrónimo (Dare et al., 2018, en García Carmona, 2020). También se reporta el acercamiento a nuevas audiencias, la construcción de conexiones entre educadores de arte y ciencia, el fomento al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, el enlace de prácticas artísticas con colecciones científicas, la promoción de la salud mental y la conexión comunitaria (Adamo, 2022). Algunos estudios señalan que los estudiantes inmersos en la filosofía STEAM desarrollan pensamiento crítico en un amplio espectro de temas, comprenden las conexiones entre las disciplinas científicas y adquieren herramientas para la toma activa de decisiones acerca de problemas locales y globales que requieren participación colectiva (Adamo, 2022; Furman, 2016). Por esto, el modelo STEAM se presenta como la innovación educativa capaz de fomentar en los estudiantes habilidades para enfrentar desafíos ambientales, económicos y sociales (Ávila-Ruiz 2019).

STEAM no es el único enfoque educativo de integración curricular que haya fusionado varias materias del ámbito científico—tecnológico (García Carmona, 2020). Autores de diversos países se han pronunciado a favor de modelos de aprendizaje interdisciplinario que impulsen la curiosidad, creatividad y capacidad de análisis de los jóvenes aprendices, desarrollen pensamiento crítico, e incluso se conecten emocionalmente con las ciencias (Furman, 2016; García Carmona, 2020; Müller y Murtagh, 2004).

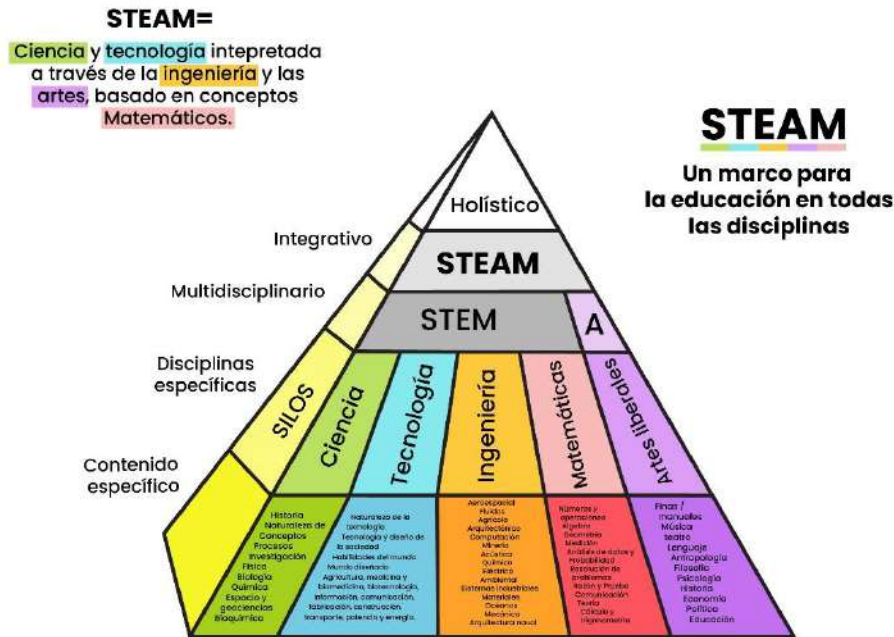


Figura 2. Pirámide STEAM (Tomado de Yakman, 2008). El término “SILOS” se comprende como “agrupación”.

En la misma época del surgimiento y consolidación de los modelos STEM y STEAM, el National Research Council (NRC) (Consejo Nacional de Ciencias) de los Estados Unidos, también planteó la integración e interacción entre las disciplinas científicas y tecnológicas en modelos educativos inéditos, con miras a crear nuevas generaciones de científicos de visión renovada. En este contexto, propuso la definición de la “Nueva Biología”, como una manera renovada de aproximación de la investigación biológica, contando con una colaboración muy cercana de estudiosos de variadas disciplinas (Labov et al., 2010).

Los argumentos del NRC para proponer esta evolución conceptual y de términos incluyen el reconocimiento de que la investigación biológica se encuentra en medio de un cambio revolucionario debido a la integración de potentes tecnologías junto con conceptos novedosos y métodos derivados de la inclusión de ciencias físicas, matemáticas, ciencias computacionales e ingeniería, lo cual es prometedor

para superar muchos desafíos (Labov et al. 2010, NRC, 2009).

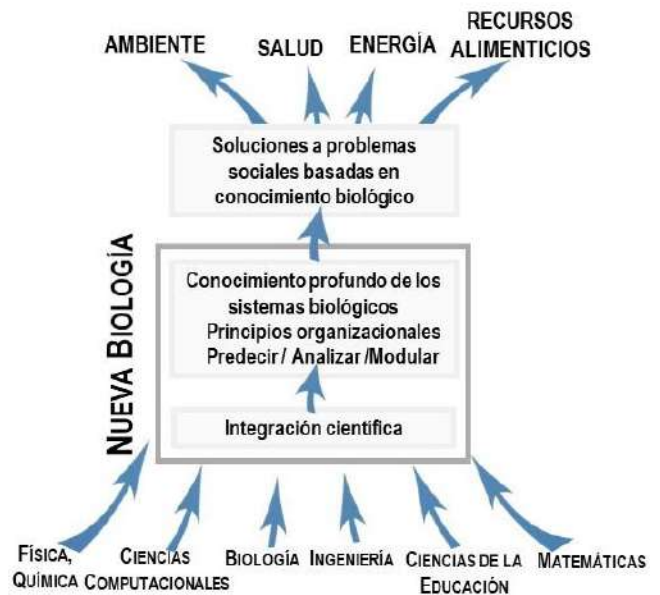


Figura 3. Modelo conceptual de la “Nueva Biología” (Fuente: NCR, 2009).

La “Nueva Biología” deberá integrar—reintegrar muchas sub—disciplinas de la biología, e incorporar la participación de físicos, químicos, informáticos, ingenieros, y matemáticos para crear una comunidad de investigación con la capacidad de abordar problemas científicos y sociales (Figura 3). Con este enfoque, la investigación básica promueve el entendimiento fundamental, congregando investigadores con diferentes experiencias, desarrollando la tecnología requerida para sus tareas y coordinando esfuerzos para asegurarse de que se resuelvan los problemas en el momento adecuado (Labov et al. 2010, NRC, 2009).

La “Nueva Biología” se presenta como un ciclo de cuatro fases. En la primera, las disciplinas integradas analizan y estudian los sistemas y

fenómenos biológicos. La segunda contempla la construcción modelos para predecir el comportamiento de sistemas y fenómenos. La tercera ofrece soluciones, principalmente biológicas, a problemas que están interconectados e inciden en el bienestar de la sociedad. En la cuarta fase, el aprendizaje adquirido durante las tres primeras retroalimentará las disciplinas constituyentes de la “Nueva Biología”, definirá rumbos y prioridades educativas y reforzará modelos interconectados, como STEAM (Figura 4).

Es en la última fase del ciclo de la “Nueva Biología” que la base interdisciplinaria del modelo STEAM se integra como una herramienta (Labov et al., 2010) a ser aplicada específicamente en la formación de “nuevos biólogos”.

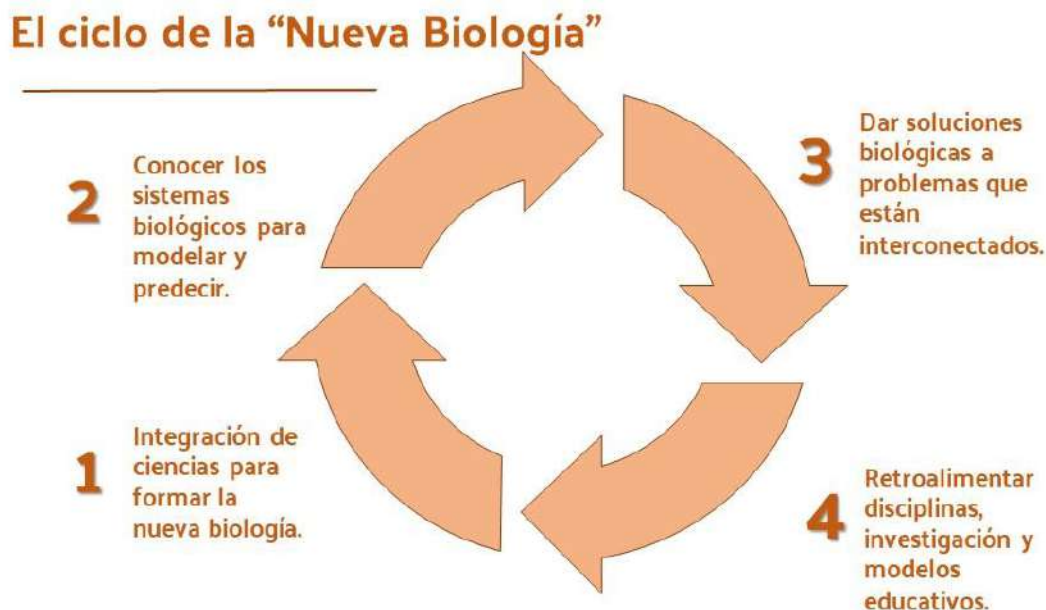


Figura 4. Ciclo de 4 etapas de la “Nueva Biología” (Labov, 2010).

Jardines botánicos, escenarios para la educación no formal

Una de las características de la educación STEAM es su adaptabilidad a distintos niveles, tipos y estilos de enseñanza. Puede aplicarse en diferentes ambientes: áulico, virtual y real. Este último incluye sitios e instituciones como bibliotecas, museos, parques zoológicos y jardines botánicos. Estos ambientes tienen una posición privilegiada al promover el

aprendizaje científico informal mediante prácticas integrales que conectan a audiencias diversas, interesadas en invertir tiempo en nuevas experiencias y aprendizaje, con la ciencia y las colecciones científicas (Adamo, 2022). Aquí, es posible aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos, y poner en práctica actitudes y valores (Rodríguez, 2014). La práctica, incluso, puede motivar a talleristas e

instructores por su carácter lúdico y pragmático (Ávila-Ruiz, 2019).

Dentro de los ambientes no formales, destacan los jardines botánicos. La *Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos* promueve el papel angular que estos juegan en la educación para el desarrollo sustentable, y el desarrollo de la nueva conciencia en torno a la relación plantas y gente (Wyse-Jackson y Sutherland, 2000). Alrededor del mundo, estas instituciones promueven la educación esmerada en materia ambiental, ciñéndose a los objetivos y metas de los instrumentos vinculantes de conservación, como el *Convenio sobre Diversidad Biológica* (CBD, 1992) y la *Estrategia Global para la Conservación de Plantas 2011-2020* (GSPC, por sus siglas en inglés) (CBD, 2012). Cabe mencionar que los objetivos de la GSPC han sido revisados y actualizados para ser implementados en una fase posterior a 2020, a través de una serie de acciones complementarias. La educación se mantiene como una herramienta fundamental que debe continuar y fortalecerse, para incrementar la conciencia social sobre el valor de la diversidad vegetal y los servicios eco sistémicos que provee (CBD, 2023).

En México, los jardines botánicos también se han adherido a la *Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal* (EMCV 2012-2030) (CONABIO, 2012), con especial atención a su objetivo estratégico 6 “educación y cultura ambiental hacia una conciencia social responsable”. Tras un intenso ejercicio participativo, en 2012 la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos publicó su *Plan de Acción de Educación Ambiental para los Jardines Botánicos de México*, cuyo objetivo es fortalecer institucionalmente su ámbito educativo, dotarles de visibilidad y pertinencia social y contribuir al cumplimiento del objetivo estratégico 6 de la EMCV (Martínez et al., 2012).

Con frecuencia, los jardines botánicos son confundidos con parques recreativos, o malentendidos como lugares solamente accesibles a especialistas. Sin embargo, estos espacios, que llevan a cabo actividades esenciales como la investigación científica y la conservación, son también centros de educación no formal y reconocidos instrumentos de sensibilización (Smith y Harvey-Brown, 2017) y tienen amplias posibilidades para implementar

modelos educativos que expongan a usuarios y visitantes a experiencias sensoriales novedosas.

Cabe recordar que la “educación no formal” no carece de método, sino que incluye toda actividad formativa organizada y sistemática que se realiza fuera del marco del sistema oficial, y facilita determinados tipos de aprendizaje a subgrupos particulares de la población, tanto en edad escolar como adulta (Cabalé y Rodríguez Pérez de Argueda, 2017). En los jardines botánicos, la educación no formal ofrece beneficios como la oferta de temas e implementación de actividades que la enseñanza oficial no alcanza desde sus propias estrategias metodológicas y contenidos programados. En este sentido, los jardines botánicos son lugares coherentes para la materialización de la educación STEAM (Acevedo Zapata, 2020) y ofrecen un ambiente de aprendizaje que estimula la imaginación y la creatividad: son un escenario natural para vincular las ciencias con las artes, integrar disciplinas científicas y alimentar las vocaciones científicas, sean de nuevos biólogos, o de otro tipo.

La educación en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta

El JBRC está comprometido con la función social que tiene con la comunidad al ser un espacio abierto al público que educa, promueve la conciencia y cultura ambiental transformadora y fomenta el conocimiento, valoración, respeto y uso adecuado de la biodiversidad, atendiendo las peticiones y expectativas de una sociedad que enfrenta retos sociales, económicos y ambientales. Junto a sus pares de la comunidad mexicana de jardines botánicos, la institución traza sus metas y mide sus avances tomando como referencia los instrumentos globales y nacionales de conservación de la biodiversidad: CBD, GSPC y EMCV.

Sus tareas educativas están cimentadas en un *Proyecto Metodológico, Conceptual y de Prácticas de Educación Ambiental* (Sánchez y Galindo, 2011), que establece bases teóricas como la concepción psicológica del ambiente, la ética y filosofía de la educación ambiental, y expone el marco teórico de aprendizaje seleccionado, que es el constructivismo. De acuerdo con la teoría constructivista, el individuo

aprende con base en sus interacciones con el ambiente que le rodea, y la organización de estas experiencias se convierte en un fenómeno único y personal para una estructura mental en continua remodelación (Ertmer y Newby, 1993). Este proyecto metodológico constructivista está encausado para que la sociedad se vincule y reconcilie con la naturaleza, a través del acercamiento y conocimiento de la diversidad biológica queretana, mediante experiencias y actividades significativas con sustento científico (Sánchez y Galindo, 2011). Cabe mencionar que diversos autores señalan al enfoque constructivista como soporte adecuado para la implementación del modelo STEAM, sea con énfasis en las ciencias biológicas o en las ciencias exactas (Allen et al., 2016, Coello Pisco et al., 2018).

Por otra parte, el *Programa de Educación Ambiental* (PEA) del JBRC ya promueve el enlace de conceptos y temas multidisciplinarios. Un ejemplo de las herramientas empleadas para este fin son los “37 conceptos para alinear a la gente con la naturaleza”. Este conjunto de 37 conceptos interrelacionados está orientado a desarrollar, asimilar e integrar el conocimiento sobre el papel clave de las plantas como sistema de soporte de vida en el planeta, sin dejar de lado aspectos que favorecen la conciencia social. Los conceptos están agrupados en grandes categorías, como el origen de la vida, la evolución biológica, el

uso racional de recursos, la relación del hombre con su entorno, y la economía del ambiente (Sánchez et al., 2012) (Figura 5) que proveen un esquema unificador de aprendizaje para interpretar a la naturaleza y sus fenómenos, así como para crear conciencia sobre la importancia de su conservación y uso sustentable.

Con esta base conceptual el PEA del JBRC enseña y difunde la importancia ecológica y económica de los recursos vegetales del estado. (Figura 6).

Por todo lo anterior, el JBRC está en un punto de inflexión para hacer avanzar su quehacer educativo mediante la aplicación de nuevos modelos que sienten las bases para impulsar la alfabetización científica y la construcción de una visión crítica y analítica del mundo actual a través del conocimiento multidisciplinario y holístico. Si bien el STEAM fue inicialmente concebido como una solución para robustecer las competencias que llevan a un mejor desempeño en el mercado laboral de desarrollo científico—tecnológico (Sanders, 2009), para el JBRC su naturaleza interdisciplinaria justifica su adaptación como herramienta para modelar nuevos instrumentos de transmisión del conocimiento y el mensaje sobre la naturaleza y su conservación, y estimular la inteligencia de todos quienes los reciban.

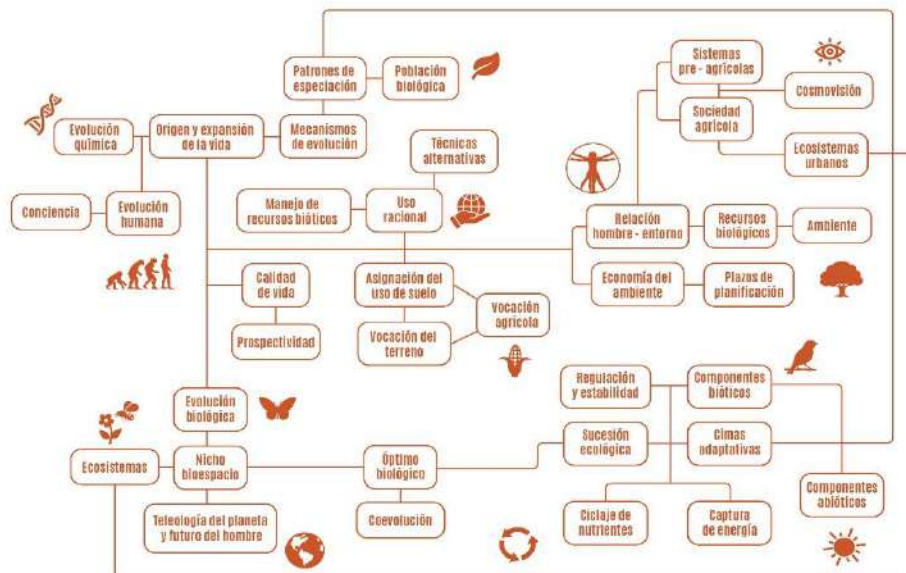


Figura 5. Esquema de los 37 conceptos clave del Programa de Educación Ambiental del JBRC (Sánchez et al., 2012).



Figura 6. El JBRC tutela a sus visitantes con recorridos guiados y talleres educativos.

Cápsulas STEAM inspiradas en plantas

La colección viva de plantas del JBRC es uno de sus principales activos. Sus 320 *taxa* de 30 familias botánicas, organizados en secciones definidas bajo criterios científicos, geográficos, taxonómicos y pedagógicos son el elemento central del mensaje ofrecido a los visitantes. La disposición de las jardineras, el paisaje circundante y las notables geometrías naturales de las plantas, convierten a la colección viva en una extraordinaria aula al aire libre para integrar estas nuevas narrativas —inspiradas en el modelo STEAM— a la experiencia educativa y vivencial de los usuarios.

Las “cápsulas STEAM”, agrupadas bajo el título “Recorridos de gran tallo”, emplean varias especies de la colección viva como modelos de la naturaleza donde es posible identificar y comprender principios matemáticos universales. La narrativa es breve y los destinatarios principales del ejercicio son alumnos de educación media, aunque pueden ofrecerse a visitantes en general (Tabla 2).

Dos ejemplos de especies de la familia Cactaceae incluidas en la narrativa STEAM del JBRC, y los principios matemáticos asociados son los siguientes: i. *Kroenleinia grusonii* (Hildm.) Lodé (“Barril de oro”), como todas las cactáceas, puede almacenar agua en su tallo en temporada de lluvias e ir disponiendo de ella a lo largo del año. El principio matemático subyacente es la relación entre superficie y volumen de la esfera, forma aproximada de su

estructura, que la especie puede modificar gracias a su disposición en costillas. ii. *Coryphantha erecta* (Lem. ex Pfeiff.) Lem., “Vinitos”, es una especie de pequeño o mediano tamaño, de forma semiesférica o brevemente columnar, estructurada en tubérculos con cuyas series se ejemplifica el ángulo áureo [número ϕ (ϕ)] y la Serie de Fibonacci. Con esta especie, se representa la importancia de este arreglo natural para dar estabilidad a las estructuras vegetales y favorecer la captación de la luz solar (Figura 7).



Figura 7. Izquierda: Modelo esférico sobrepuesto a *Kroenleinia grusonii* (Hildm.) Lodé, “Barril de oro”. Derecha: *Coryphantha erecta* (Lem. ex Pfeiff.) Lem., “Vinitos”. En amarillo, las líneas que trazan las series de tubérculos del tallo.

Los “Recorridos de gran tallo” estimularán el razonamiento cuantitativo y la curiosidad de los usuarios, y los llevan a comprender y explicar fenómenos del mundo natural. El entorno y ambiente del jardín, diferente del de un aula escolar, fomenta la confianza en los visitantes para probar nuevas experiencias y desarrollar destrezas mediante la experimentación y el adiestramiento de sus funciones cognitivas (Figura 8).

Título de la cápsula	Temas abordados
<i>Agua que no has de beber, ponla en el almacén</i>	Volúmenes de la esfera y el cilindro
<i>La espiral de Leonardo</i>	Serie de Fibonacci, número áureo
<i>Hablemos de una figura que abstraigamos, entendimos y exprimimos</i>	Geometría del triángulo
<i>La secuencia de Fibonacci en la naturaleza</i>	Filotaxia
<i>Simetría en la naturaleza</i>	Los tipos de simetría en las flores

Tabla 2. Títulos y temas de algunas de las “capsulas STEAM” o “Recorridos de gran tallo”, en desarrollo en el JBRC.



Figura 8. La naturaleza es un lienzo vivo para reconocer principios matemáticos universales. Aprenderlos en un ambiente ameno, como el jardín botánico, facilitará su comprensión y estimulará el interés por la ciencia. Bajo esta premisa se diseñan y ponen en marcha las cápsulas STEAM en el JBRC. En la imagen, la sección “El Semidesierto Queretano Hidalguense”.

Corolario

Mejorar las capacidades de la población para comprender la actividad científica y desempeñarse satisfactoriamente en sus materias, son tareas necesarias en este momento de la historia mexicana. Instituciones de educación no formal, como los jardines botánicos, pueden contribuir decisivamente a acercar la ciencia a la población y desmitificar su carácter dificultoso a través de actividades educativas ofrecidas en un entorno diferente al del aula.

Tomando como inspiración el modelo educativo STEAM, el JBRC propone una narrativa de cápsulas cimentadas en ejemplos de plantas de su colección viva, para combinar el conocimiento sobre la naturaleza y su importancia, con los principios matemáticos que en ella se aprecian, y ejemplificar la

manera en que estos principios se aplican en nuestra vida diaria.

Se espera que estas herramientas despierten el interés de los niños y jóvenes en particular, y adultos en general, por aprender y disfrutar las matemáticas, y fomenten su confianza para enfrentarse a retos que estimulen su agilidad mental, refuercen sus capacidades lógicas y desarrollen una nueva perspectiva integral para contemplar a la naturaleza. La esperanza también está puesta en que este ejercicio multidisciplinario, combinado con la cercanía al lugar donde contemplan y experimentan el medio natural, derivará en futuros científicos que aborden los problemas que aquejan a la sociedad, con una base biológica.

Referencias bibliográficas

- Acevedo Zapata, S. (2020). *Un estado del arte sobre la educación STEM/STEAM no formal en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas: el caso de Iberoamérica*. Tesis para optar al título de Licenciado en Matemáticas y Física. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Adamo, D. (2022). *Patterns in Nature: a toolkit to assist art & science integration in adult programming*. University of Washington, Museology Thesis. 28 pp.
- Aldana, M. (2012). ¿Qué le falta a la ciencia en México? *Temas*, 69: 26-30.
- Allen, M., Webb, A. W., & Matthews, C. E. (2016). Adaptive Teaching in STEM: Characteristics for Effectiveness, *Theory Into Practice*, 55:3, 217-224, DOI: [10.1080/00405841.2016.1173994](https://doi.org/10.1080/00405841.2016.1173994)
- Ambrojo, J. C. (2015) Fomentar las vocaciones científicas e ingenieriles desde el parvulario. *Revista Técnica Industrial*, 310:90-93.
- Ávila-Ruiz, C. A. (2019). Educación STEM en ambientes formales o no formales de aprendizaje: buenas prácticas y estrategias de éxito. *Revista Electrónica TicALS*. 1(5): 24-43.
- Cabalé Miranda, E. & Rodríguez Pérez de Argueda, M. (2017). Educación no formal: potencialidades y valor social. *Revista Cubana de Educación Superior*, 1:69-83.
- Coello Pisco, S. M. & Crespo Vaca, T., Hidalgo Crespo J., & Díaz Jiménez, D. (2018). El modelo STEM como recurso metodológico didáctico para construir el conocimiento científico crítico de estudiantes de Física *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 12(2):1-8.
- CONABIO. (2012). *Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal, 2012-2030*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Convention on Biological Diversity. (2012). *Global Strategy for Plant Conservation*. Botanic Gardens Conservation International, Richmond, UK.
- Dare, E. A., Ellis, J. A., & Roehrig, G. H. (2018). Understanding science teachers' implementations of integrated STEM curricular units through a phenomenological multiple case study. *International Journal of STEM Education*, 5(4), 1–19. En: García Carmona, A. (2020). STEAM, ¿una nueva distracción para la enseñanza de la ciencia? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(2) DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.2.6533>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2021). Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2024. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Programa Especial Derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639501&fecha=28/12/2021#gsc.tab=0.
- Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de Información en los Hogares (ENDUTIH). (2018). INEGI. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2021/#:~:text=L,a%20Encuesta%20Nacional%20sobre%20Disponibilidad,a%20C3%B1os%20o%20m%20C3%A1s%20en%20M%20C3%A9xico%2C>.
- Encuesta sobre la Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología en México. (ENPECYT) (2017). INEGI. disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/enpecyt/2017/>
- Ertmer, P. A. & Newby, T. J. 1993 Conductismo, cognitivismo y constructivismo: una comparación de los aspectos críticos desde la perspectiva del diseño de instrucción. *Performance Improvement Quarterly*, 6(4):50-72.
- Furman, M. (2016). *Educación de mentes curiosas: la formación del pensamiento científico y tecnológico en la infancia*. IX Foro Latinoamericano de Educación. Fundación Santillana. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 88 p.
- Galache, K. (2019). ¡Qué interesante es la ciencia! Lástima que mi horóscopo dice que no seré científico. *Revista Avance y Perspectiva*, 4(9). Disponible en <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/que-interesante-es-la-ciencia-lastima-que-mi-horoscopo-dice-que-no-sere-cientifico/?print-posts=word&print-posts=word&print-posts=word>
- García Carmona, A. (2020). STEAM, ¿una nueva distracción para la enseñanza de la ciencia? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(2) DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.2.6533>
- García-Fuentes, O., Raposo-Rivas, M., & Martínez-Figueira, M. E. (2022). El enfoque educativo STEAM: una revisión de la literatura. *Revista Complutense de Educación*, 34(1): 191-202. DOI: <https://dx.doi.org/10.5209/rced.77261>
- IMCO. (2023). *PISA 2022: dos de cada tres estudiantes en México no alcanzan el nivel básico de aprendizajes en matemáticas*. Centro de Investigación en Política Pública. Instituto Mexicano para la competitividad. Disponible en: <https://imco.org.mx/pisa-2022-dos-de-cada-tres-estudiantes-en-mexico-no-alcanzan-el-nivel-basico-de-aprendizajes-en-matematicas/>
- IPBES (2019): *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, & C. N. Zayas (eds.). IPBES Secretariat, Bonn, Germany.
- Labov, J., Reid, A. H. & Yamamoto, K. R. (2010). Integrated biology and undergraduate science education: a new biology

- education for the twenty-first century? *The American Society for Cell Biology*, 9: 10-16.
- Martínez González, L., Franco Toriz, V., & Balcázar Sol, T. (2012). *Plan de Acción de Educación Ambiental para los Jardines Botánicos de México*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos. México.
- Müller, A., & T. Murtagh. (2004). ¿La educación de ciencias, en peligro? *Boletín del Sector Educación de la UNESCO. Educación es Hoy*. 12 p.
- NRC (2009). *A New Biology for the 21st Century: Ensuring the United States Leads the Coming Biology Revolution*. National Academies Press. Washington, DC: www.nap.edu/catalog.php?record_id_12764
- OCDE. (2018). *Nota País. Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA)*. PISA 2018-Resultados. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico Disponible en https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_ME_X_Spanish.pdf
- OCDE. S. f. *El programa PISA de la OCDE: qué es y para qué sirve*. Disponible en: <https://www.oecd.org/pisa/39730818.pdf>
- Orozco, M. L., Bogdan Toma, R., & Ortiz-Revilla, J. (2018). *Promoción de vocaciones científico-tecnológicas a través de programas de enriquecimiento curricular*. Serie "Asire Educación. Metodologías y experiencias innovadoras en educación". España.
- Ortiz Espinoza, A. (2020). Percepción pública sobre ciencia y tecnología en México: una aproximación. *Investigación Científica*, 14(2): 230-235
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019) STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31:31-43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- PISA. (2004). *Informe PISA 2003. Aprender para el mundo del mañana*. Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). México. 480 p.
- PISA. (2007). *México en PISA 2006*. Instituto Mexicano para la Evaluación de la Educación (INEE), México. 344 p.
- PISA. (2009). *México en PISA 2009*. Resumen Ejecutivo. Instituto Mexicano para la Evaluación de la Educación (INEE), México. 298 p.
- PISA. (2012). *México en PISA 2012*. Resumen Ejecutivo. Instituto Mexicano para la Evaluación de la Educación (INEE), México. 14 p.
- PISA. (2016). *Nota País. Resultados de PISA 2015*. México. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). México. 14 p.
- Rodríguez V. H. (2014). Ambientes de Aprendizaje. *Boletín Científico Ciencia Huasteca*, 4(2). Disponible en <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/huejutla/n4/e1.html>
- Rojas-Montemayor, G., & Segura Guzmán, L. (2019). *Visión STEM para México*. Alianza para la Promoción de STEM. Disponible en: <https://www.movimientostem.org/wp-content/uploads/2021/01/Vision-STEM-para-Mexico.pdf>
- Salinas, D., De Morales, C., & Schwabe, M. (2019). *Nota País. Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA), PISA 2018-Resultados*. Dirección de Educación y Competencias. OCDE. Volumen I-III, 12 pp. Recuperado 13 junio, 2023.
- Sánchez Martínez, E., & Galindo Sotelo, G. (2011). *Plan Integral para la Educación Ambiental en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío"*. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ).
- Sánchez Martínez, E., Galindo Sotelo, G., Hernández Martínez M. M., & Maruri Aguilar, B. (2012). *37 key concepts to line up people with Nature*. BGCI's 8th International Congress on Education in Botanic Gardens. México City.
- Sanders, M. (2009). Integrative STEM education: primer. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (1992). *Convention on Biological Diversity*.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2023). *Updated Global Strategy for Plant Conservation: Proposed complementary actions related to plant conservation to support the implementation of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework*
- Smith, P., & Harvey-Brown, Y. (2017). *BGCI: Revisión técnica. Definición de un jardín Botánico y cómo medir el funcionamiento y la gestión*. Botanic Gardens Conservation International (BGCI). Kew Road, Richmond, Reino Unido. 26p. Disponible en: <https://www.bgci.org/wp/wp-content/uploads/2019/04/BGCI%20Technical%20Review-Defining%20the%20botanic%20garden.%20and%20how%20to%20measure%20performance%20and%20success-Spanish.pdf>
- UNESCO. (1994). Project 2000+ Declaration. París: UNESCO. En: Orozco Gómez, M. L., Bogdan Toma, R., Ortiz Revilla, J. *Promoción de vocaciones científico-tecnológicas a través de programas de enriquecimiento curricular*. Serie "Asire Educación. Metodologías y experiencias innovadoras en educación". España.
- Wyse-Jackson P. S., & Sutherland, L. A. (2000). *Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos* Organización Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos (BGCI). Reino Unido. 94 p.
- Yakman, G. (2008). *STΣ@M Education: an overview of creating a model of integrative education. Pupils Attitudes Towards Technology*. 2008 Annual Proceedings. Netherlands.
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the Exemplary STEAM Education in the U.S. As a Practical Educational Framework for Korea. *J. Korea. Assoc. Sci. Edu.*, 32(6):1072-1086.

