



Desde el Herbario CICY

Revista de divulgación científica editada por la Unidad de Recursos Naturales

**Mieles de Colima: un
caleidoscopio de sabores,
flores y paisajes**

**La decisión de Sofie en la
conservación de germoplasma y sus
dilemas éticos y de priorización**

**El banco de germoplasma de
Jatropha curcas y *Moringa
oleifera* del INIFAP**

**Más allá de lo verde:
metabolitos secundarios
en la vida real**

**Compresión costera: una
enemiga silenciosa que impide
la migración de los manglares**

**Dos pájaros de un tiro: el
nitrógeno en la nutrición y
en la defensa de las plantas**

Carlos Luis Leopardi Verde



ISSN: 2395-8790

https://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario

Vol. 17, Núm. 10. Octubre de 2026

Contenido

4 Instrucciones para los autores

5 Desde el comité editorial

6 Celebraciones del mes

6 10 de octubre: Día Nacional de las Cactáceas

7 La especie del mes: La biznaga burra y el acitrón

8 Ensayos del mes

8 Mieles de Colima: un caleidoscopio de sabores, flores y paisajes

13 La decisión de Sofie en la conservación de germoplasma y sus dilemas éticos y de priorización

18 El banco de germoplasma de *Jatropha curcas* y *Moringa oleifera* del INIFAP

21 Más allá de lo verde: metabolitos secundarios en la vida real

26 Compresión costera: una enemiga silenciosa que impide la migración de los manglares

31 Dos pájaros de un tiro: el nitrógeno en la nutrición y en la defensa de las plantas

36 Próximo número

Directorio

COMITÉ EDITORIAL 2026-2027

Editor General

Jaime Martínez Castillo

Editores de producción

Alfredo Dorantes Euan

Ariadna Ibarra Morales

Editores Asociados

Germán Carnevali Fernández-Concha

Ivón M. Ramírez Morillo

Luz María del Carmen Calvo Irbien

Manuel Martínez Estévez

Juan Manuel Dupuy Rada

Luis Alexander Peña Peniche

Pilar Angélica Gómez Ruiz

María Azucena Canto Aguilar

Mariana Chávez Pesqueira

Ivonne Sánchez del Pino

Casandra Reyes García

Rodrigo Duno de Stefano

Javier Orlando Mijangos Cortés

Patricia Rivera Pérez

José Luis Andrade Torres

José Luis Hernández Stefanoni

María Guadalupe Carrillo Galván

José Viccon Esquivel

Virginia Aurora Herrera Valencia

Oscar Alberto Moreno Valenzuela

Jorge Carlos Trejo Torres

Eduardo Cejudo Espinosa

Ramón Mariaca Méndez

Luz Adriana Pérez Solano

Jorge Urdapilleta Carrasco

Diseño Editorial

Norma Marmolejo Quintero

Sitio web

José Fernely Aguilar Cruz

Diseño para redes sociales y difusión

Erika Gabriela Cano León

Desde el Herbario CICY es una publicación mensual editada por la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2018-062011020800-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Desde el Herbario CICY –DHCICY– © 2026 by Editor General DHCICY is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura de los editores. La responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos corresponde a los autores de los ensayos.

Desde el Herbario CICY –DHCICY– es una revista fundada en 2009 por la Dra. Ivón M. Ramírez Morillo y los Dres. Germán Carnevali Fernández-Concha y Rodrigo Duno de Stefano, investigadores de la Línea de Sistemática y Florística de la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, encargados del Herbario CICY.

DHCICY se especializa en la divulgación científica, con énfasis en temas de la biología vegetal en sus diferentes niveles de organización y enfoques de estudio, así como en sus interacciones con otros seres vivos (animales, hongos, microorganismos). También, acepta ensayos de otras áreas científicas que aborden temas relacionados con las plantas u otros organismos. Siendo el objetivo central la divulgación científica, transmitida de forma amena y accesible a la sociedad, se recomienda que los autores dominen el tema a tratar para presentar la información de forma resumida y escribir un ensayo fácilmente entendible por un lector no versado en el tema, manteniendo siempre la calidad científica. Se recomienda que el ensayo tenga una línea narrativa que incluya el planteamiento de una interrogante o hipótesis científica y su resolución o posibles escenarios explicativos. Los ensayos descriptivos son también aceptables, siempre y cuando contengan aspectos novedosos o relevantes del tema abordado. Comentarios sobre eventos científicos (o de la historia de la ciencia), así como reseñas de libros, artículos u otras publicaciones de relevancia para la comunidad científica nacional e internacional son bienvenidos. Por la naturaleza de **DHCICY**, se recomienda ampliamente que el ensayo contenga imágenes de alta calidad, las cuales estén relacionadas con el tema abordado; estas permitirán atraer la atención del público y también le darán al ensayo un mayor realce y difusión en redes sociales. El Comité Editorial de **DHCICY** velará por el mantenimiento de estos valores de calidad científica, literaria y editorial. Los ensayos podrán ser publicados en español o inglés. Para más información visitar el sitio https://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario. En caso de interés de publicar en DHCICY, enviar sus manuscritos o escribir al correo electrónico: desde.el.herbario@cicy.mx.

Instrucciones para los autores

Desde el Herbario CICY es un espacio para compartir ciencia y naturaleza con la sociedad. Invitamos a estudiantes, investigadores y amantes de la biodiversidad a colaborar con artículos de divulgación claros, creativos y accesibles.

Guía corta (Para más información, ir a https://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario).

Título. Breve, conciso y refleje el contenido del manuscrito (máximo 15 palabras). Escribirlo en altas y bajas, centrado; nombres científicos en cursivas, sin la autoría del taxón.

Nombre de los autores, adscripción y correo electrónico. Máximo cuatro autores. Escribir los nombres completos: nombre de pila en altas y bajas, apellidos en altas y bajas, alineados al centro. Incluir nombre de la institución de adscripción, dirección de cada autor y el correo electrónico de dos autores por correspondencia.

Resumen. Resumen breve, máximo 100 palabras.

Palabras clave. Máximo cinco, en orden alfabético, no deben aparecer en el título. Se aceptan palabras compuestas de tres palabras, máximo cuatro (e. g., "Sierra Madre del Sur").

Nombres científicos. En itálicas, género (o niveles inferiores) con su autoría solamente la primera vez que se le cita en el texto; autorías se omiten en el título, resumen y en las leyendas de las figuras.

Texto del ensayo. No exceder tres cuartillas, incluyendo el título, resumen, autores y adscripciones, las referencias y las leyendas de las figuras. Manuscrito a espacio simple y justificado a la izquierda, en Times New Roman 12 pts.

Iconografía. Mínimo dos imágenes, máximo 5. Dar el crédito de las imágenes en las leyendas de las figuras. Imágenes de la web deben ser de uso no restringido y su origen reconocido con la cita de la liga a la imagen en la web. Características: a) **resolución mínima de 300 dpi**, b) formato tiff o jpg, c) bien enfocadas, d) dimensiones de **al menos 10 x 10 cm**, e) no pesar **más de 10 MB**. Se envían como archivos individuales, **no ensambladas/compuestas**. Se aceptan propuestas de imágenes compuestas, pero la decisión final es responsabilidad del comité editorial de DHCICY. Las leyendas de las figuras se ponen al final del ensayo.

Cita de las referencias en el texto. Todas las citas incluidas en el texto deben estar en la sección de **Referencias**. Se recomienda no más de **10 citas**, ordenadas cronológicamente y siguiendo este formato: Ruiz-Sánchez (2011) y Carnevali & Cetzal-Ix (2012). En caso de tres o más autores: Clarke *et al.* (2009). En caso de citarse varios trabajos a la vez, se ordenarán cronológicamente, ejemplo: (Clarke *et al.* 2009, Carnevali & Cetzal-Ix 2012). Si se citan dos o más trabajos de un mismo autor o autores publicados en el mismo año, sus referencias se complementarán con letras junto al año (a, b, c, d, etc.).

Poner el **DOI** cuando este exista. Las **comunicaciones personales** se citarán solo en el texto principal, por ejemplo: (J. Pérez, *com. pers.*).

Referencias. Lista completa de las fuentes de información mencionadas en el texto, en estricto orden alfabético y de acuerdo con los siguientes ejemplos:

Artículos

Clarke H.D., Seigler D.S., Ebinger J.E. 2009. Taxonomic revision of the *Vachellia acuífera* species group (Fabaceae: Mimosoideae) in the Caribbean. *Systematic Botany* 34: 84-101.
<https://doi.org/10.1600/036364409787602285>

Libros

Carnevali G., Tapia-Muñoz J.L., Duno de Stefano R., Ramírez-Morillo I. 2010. *Flora Ilustrada de la Península de Yucatán: Listado Florístico*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Mérida, Yucatán, México. 328 pp.

Cox C.B., Moore P.D. 1996. *Biogeography: An Ecological and Evolutionary Approach*. Blackwell Science, Oxford. 385 pp.

Capítulos en libros

Gentry A.H. 1991. The distribution and evolution of climbing plants. En: Putz F.E. y Money H.A. Eds. *The Biology of Vines*, pp. 1-49. Cambridge University Press, Cambridge.

Tesis

García-Lara S.L. 2013. Sistemática de *Pithecellobium* Mart. Sección *Spitacatae* L. Rico y taxonomía de *P. lanceolatum* (Willd.) Benth. (Leguminosae). Tesis Maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán, México, Yucatán.

Documentos electrónicos

Tropicos. 2014. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org/Name/5501778> (consultado: 6 Octubre 2014).

Cuadros o tablas

Deben entregarse en archivos separados en Word.

Leyendas (de cuadros y figuras)

Colocarse después de las referencias. Cada leyenda no exceda de cuatro líneas.

Agradecimientos. A personas, instituciones financiadoras, comunidades donde se realizan los estudios, árbitros, etc.

Estimada comunidad lectora de Desde el Herbario CICY –DHCICY–

Los saludamos nuevamente, esperando hayan disfrutado de nuestro número anterior. En este número de octubre les traemos seis ensayos que seguro disfrutaran.

Nuestro primer ensayo nos abre el apetito al hablar-nos de las mieles producidas en el estado de Colima. A través de la melisopalinología, el estudio del polen contenido en la miel, los autores nos muestran cómo podemos conocer el origen botánico y geográfico de cada una de las mieles que se producen en Colima, cada una de estas contándonos su propia historia reflejada en sus tonos, desde el ámbar claro de los volcanes hasta el oscuro de la costa, hablándonos de las flores que las abejas visitaron y las estaciones que marcaron su producción.

En nuestro segundo ensayo el autor nos introduce en el concepto de la decisión de Sofie, tomando como referencia la novela del autor William Styron (1979) que nos muestra un dilema sin solución: la persona tiene que elegir entre dos opciones que son igual de valiosas o dolorosas, y las dos opciones traen consecuencias desastrosas. Este ensayo aborda este tema relacionándolo a la conservación de germoplasma y sus dilemas éticos y de priorización.

El tercer ensayo nos muestra el trabajo realizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en la conservación ex situ de *Jatropha curcas* y *Moringa oleífera* en el Sitio Experimental Uxmal, Yucatán. Estas colecciones preservan la diversidad genética regional, proveen material para investigación y facilitan la transferencia de tecnología a productores interesados en la producción de biocombustibles y alimentos.

Nuestro cuarto ensayo nos introduce al mundo de los metabolitos secundarios, mostrándonos como más allá del papel primordial que juegan las plantas en sus ecosistemas, siendo fuentes de alimentos o aportando oxígeno al planeta, también son un reservorio de ingredientes activos, como los metabolitos secundarios que son aprovechados para el beneficio humano. Como los autores bien lo comentan, estos han sido ampliamente distribuidos y usados en diversos

productos de uso común, convirtiéndose en protagonistas de la resolución de problemas de la vida real.

El quinto ensayo nos habla de un gran problema ambiental, la compresión costera. El artículo analiza este problema en la Península de Yucatán, un fenómeno donde el aumento del nivel del mar impulsa la migración de manglares tierra adentro, pero la infraestructura humana bloquea su avance. La compresión costera es particularmente preocupante en Quintana Roo, amenazando servicios ecosistémicos y al turismo; por lo que es necesario la implementación de programas de ordenamiento ecológico y medidas de adaptación para fortalecer la resiliencia de estos ecosistemas.

Nuestro último ensayo nos muestra como la fertilización es importante para el desarrollo de los cultivos agrícolas, pero también nos alerta como su uso exagerado ha generado problemas ambientales y de salud. En particular, en este ensayo se aborda el tema del nitrógeno como elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como en la defensa vegetal contra patógenos. La aplicación de fertilizantes nitrogenados interviene de manera variable en la respuesta de las plantas antes las infecciones por patógenos, lo que nos obliga a comprender mejor las interacciones entre la fertilización, el cultivo y el patógeno.

En nuestra sección, “Celebraciones del mes”, les traemos el “Día Nacional de las Cactáceas”, grupo de plantas característico de nuestros desiertos y que se celebra el 10 de octubre. Por último, en la sección “La Especie del Mes” les traemos a *Echinocactus platycanthus*, tipo de viznaga de la cual se produce el dulce de acitrón.

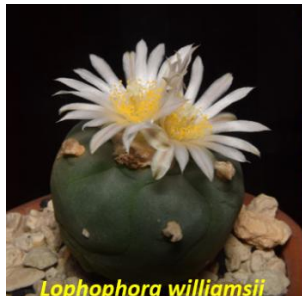
Esperamos disfruten de la lectura de este número de DHCICY.

Editor General

Celebraciones del mes

Cada año, en octubre, celebramos una fecha para reconocer la gran biodiversidad presente en México:

10 de octubre: Día Nacional de las Cactáceas



Lophophora williamsii



Ariocarpus fissuratus



Opuntia fulgida



Nopalea gaumeri

Cada 10 de octubre se celebra en México el Día Nacional de las Cactáceas, efeméride instituida el año 2009 por el congreso de la república para celebrar y reconocer la importancia ecológica, cultural y económica de estas plantas. Esta celebración también sirve para concientizar sobre la problemática de la conservación de estas extraordinarias plantas.

Las cactáceas (familia Cactaceae), son un grupo muy diverso de plantas distribuidas, principalmente, en América tropical y subtropical; aunque unas muy pocas llegan casi hasta los círculos polares, con unas 3-4 especies del género *Rhipsalis* Gaertn. que alcanzan África continental tropical, Madagascar y Sri Lanka. El número estimado de cactáceas en el planeta varía entre 1500 y 1900 especies distribuidas en unos 124-150 géneros, dependiendo de los autores consultados. Existen varios centros de diversidad tales como las zonas áridas de México y el sur de los Estados Unidos de América, las zonas secas del NE de Brasil, y muchas zonas secas en los Andes. En México, se estima que hay unas 650-700 especies de cactáceas con muchas variedades y subespecies que lo convierte proporcionalmente en el país con la mayor riqueza de especies. Las cactáceas son parte conspicua y dominante de muchos paisajes mexicanos y son un emblema del país.

Desde su llegada a América, el hombre ha interactuado con las cactáceas por los recursos alimenticios que proveen; por ejemplo, en México, las tunas (*Opuntia* spp.), las pitayas (*Stenocereus* spp.,

Pilosocereus spp., *Myrtillocactus* spp., etc.), las pitahayas (*Selenicereus* spp.), los nopalitos (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) y el acitrón (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto). Otras cactáceas proveen sustancias psicotrópicas, como el peyote (*Lophophora williamsii* J.M. Coult.) en el norte de México. También, muchas cactáceas se usan como ornamentales por sus exóticas formas vegetativas y extravagantemente hermosas flores de llamativos colores. El interés hortícola ha sido una de las razones por las que muchas especies han sido sobre recolectadas para su venta a coleccionistas que frecuentemente pagan precios extravagantes por especímenes de especies raras o recién descubiertas. Pero, el principal enemigo de las poblaciones naturales de las cactáceas es el cambio global, en particular el cambio de uso del suelo y el avance de la frontera agrícola que perturba, muchas veces irreversiblemente, los ambientes donde estas plantas crecen.

Aprovechemos este día Nacional de las Cactáceas para disfrutar de estas maravillosas plantas, ya sea admirando su belleza o consumiendo los deliciosos frutos o platillos que con ellas se preparan. También, tomemos conciencia que debemos velar por su conservación a largo plazo. Esperemos que ambas acciones sean compatibles y factibles, y que haya el conocimiento y el interés político para velar por la continuada existencia de las cactáceas.

Germán Carnevali Fernández-Concha

La especie del mes

La biznaga burra y el acitrón



Para seguir celebrando el día nacional de las cactáceas, en esta sección les platicaremos de la biznaga burra. Empecemos comentando que la palabra biznaga es de origen náhuatl y significa “rodeado de espinas”. Con este término, en México se conoce a un amplio número de cactáceas, alrededor de 250 especies, que en común tienen una forma de crecimiento globosa o globosa deprimida y desde luego rodeadas de espinas de tamaño, color y textura muy diversa, de acuerdo con la especie. Las hay pequeñas como las biznaguitas o biznaguitas de chilitos (*Coryphantha*, *Mammillaria*, *Neolloydia*, etc.), las de tamaño medio que no rebasan los 40 cm de diámetro y altura (*Echinocactus*, *Ferocactus*), hasta las muy grandes como la biznaga burra (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto) que puede rebasar los 40 cm de diámetro y, en ocasiones excepcionales, más de 1 m de altura.

La biznaga burra es endémica de México, nativa de regiones áridas donde crece en suelos derivados de calizas, formando parte de los matorrales. Está presente en al menos 10 estados, que incluyen desde Coahuila y Nuevo León al norte, hasta Puebla y Oaxaca al sur. Los tallos son de un color verde oscuro y su particular arquitectura incluye surcos y costillas ordenados verticalmente que permiten a las plantas adelgazarse en el largo periodo de secas y luego engrosarse en la época de lluvias. Esta re-

levante adaptación implica que el tejido parenquimático que ocupa la mayor parte al interior del cuerpo se encarga de las funciones vitales de la planta como la fotosíntesis, así como el almacenamiento de nutrientes y de agua.

Durante el periodo de la Colonia, pasando por el México independiente y hasta entrado el siglo XX, el tejido parenquimático interno de la biznaga burra se utilizó en comunidades del centro y norte del país para elaborar un dulce a partir del proceso de cristalización conocido como acitrón. Este se convirtió en un dulce tradicional de consumo directo o para complementar algunos platillos de la tradición gastronómica mexicana, como los chiles en nogada o la famosa rosca de reyes.

Desafortunadamente, el uso excesivo llevó a la biznaga burra a una suerte de encrucijada en su supervivencia, porque su tasa de crecimiento es muy lenta (con longevidad superior a los 60 años) y su extracción directa del medio la puso en riesgo de extinción. Por esta razón, el dulce de acitrón producido a partir de la biznaga burra requiere de toda nuestra atención y conciencia ambiental para desestimar su consumo y sustituirlo por otras alternativas viables como el chilacayote, la cáscara de naranja, la jícama, la papaya verde o el xocostle.

Ángel Salvador Arias Montes

Mieles de Colima: un caleidoscopio de sabores, flores y paisajes

María Inés Chávez López, Carlos Luis Leopardi Verde*, Marco Tulio Buenrostro-Nava y
Gilberto Manzo-Sánchez

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima Km. 40, autopista Colima-Manzanillo, cruce de Tecmán, 28930, Tecmán, Colima, México.

*cleopardi@ucol.mx

Resumen

Cada miel cuenta una historia sobre el paisaje y la biodiversidad de Colima. En sus tonos, desde el ámbar claro de los volcanes hasta el oscuro de la costa, se reflejan las flores que las abejas visitaron y las estaciones que marcaron su producción. A través de la melisopalinología, el estudio del polen contenido en la miel, podemos conocer su origen botánico y geográfico, descubriendo una sorprendente diversidad. Así, las mieles colimenses son mucho más que un producto apícola: son una ventana dulce hacia la naturaleza, la cultura y el conocimiento de los apicultores.

Palabras clave: Apicultura, biodiversidad, polen, recambio de especies.

La miel es uno de esos manjares que provee la naturaleza. Quizás has probado la miel de dzidzilché (*Gymnopodium floribundum* Rolfe) o la de tajonal (*Viguiera dentata* (Cav.) Spreng.). Tal vez has notado que son de colores distintos y con diferencias de sabor y dulzura. Esto ocurre porque los recursos botánicos que las abejas utilizaron para elaborarlas no fueron los mismos. Así, la miel contiene en sí misma pistas —más allá de las sensoriales— sobre

las plantas que las abejas aprovecharon en un momento dado.

Una de las maneras de acercarnos a esta historia es la melisopalinología, que es la cuantificación e identificación de los granos de polen contenidos en la miel. A través del estudio del polen, la miel nos revela su origen botánico (¿qué plantas usó la abeja?) y su origen geográfico (¿en dónde se produjo?; Herrera *et al.* 2002). Para realizar un análisis melisopalinológico se toman 10 g de muestra y se diluyen en 30 ml de ácido sulfúrico diluido (0.03 %) para eliminar los azúcares; la mezcla se homogeneiza, se centrifuga y se lava dos veces o más. El sedimento resultante (básicamente el polen) se somete a acetólisis con ácido acético glacial (proceso que disuelve el contenido celular y resalta la pared del grano). Luego se lava con agua destilada, se tiñe con safranina para mejorar el contraste y se guarda en alcohol glicerinado. Con esta mezcla se preparan las láminas en las que se deben contar un mínimo de 300 elementos palinológicos, lo que permite calcular la frecuencia relativa de cada tipo polínico y clasificar la miel (Fig. 1).

Tal vez pienses, “la miel es miel... ¿Qué tanto puede variar de Yucatán a Colima?” La verdad es que po-

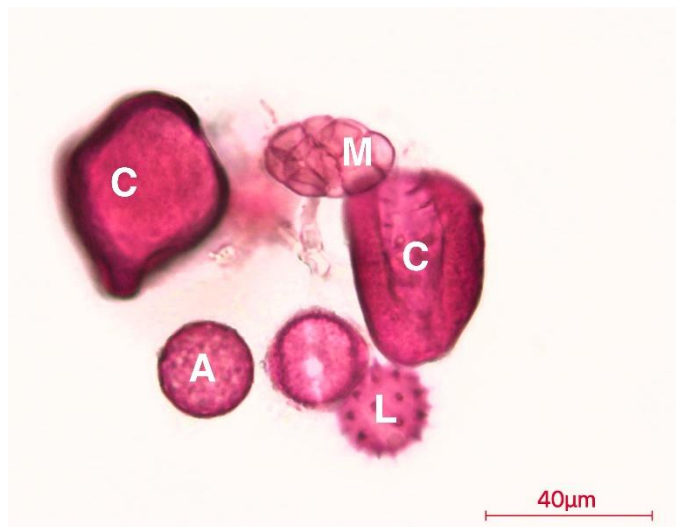


Figura 1. Diversidad de polen en miel de coco, el color del polen se debe a la safranina aplicada como tinción de contraste. Las letras en la imagen indican el origen vegetal de los granos (A: *Amaranthus* (probablemente *A. palmeri*), C: *Cocos nucifera*, L: Asteraceae (posiblemente *Lagascea mollis*), M: Mimosoideae (posiblemente *Albizia*)). (Fotografía: C. L. Leopardi).

drías sorprenderte. Quizás has probado las mieles con notas saladas del mangle; en el Golfo de México —incluido Yucatán— suelen ser claras, pero en Colima, debido a las grandes plantaciones de coco cercanas a las zonas de mangle, son oscuras, ligeras (más líquidas de lo habitual) y con un sabor único. Y eso sin mencionar la enorme variedad de colores y aromas que hay en las mieles del estado. En la región de Tierra Caliente podemos encontrar miel de limón (*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle), de coco (*Cocos nucifera* L.), de flora silvestre (con polen de p. ej., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn., *Tridax* spp., *Bursera* spp., *Mimosa* spp., *Ipomoea* spp.) (Fig. 2); mientras que en la región de montaña tenemos de tacotes (*Montanoa grandiflora* DC), majaguas (*Heliocarpus* spp.), aguacates (*Persea americana* Mill.), entre muchas más (Fig. 3). Como resultado, las mieles de Colima forman un caleidoscopio de sabores y colores que va desde las mieles transparentes como el agua hasta oscuras como un café expreso, pasando por verdes, ámbar y amarillos (Fig. 4). Esto refleja la estacionalidad de los recursos y la diversidad de paisajes (Figs. 2-4).

Y sí, el perfil sensorial lo refleja, pero también lo hace el polen contenido en la miel: ambos cuentan

una historia de esfuerzo de los apicultores y de la biodiversidad del estado. Colima representa el 0.3% del territorio nacional, pero según Morrone (2019) en él confluyen tres áreas biogeográficas (Faja Volcánica Transmexicana, Tierras Bajas del Pacífico, Sierra Madre del Sur). De acuerdo con Villaseñor (2016), alberga alrededor del 20 % de la flora nacional (ca. 4000 de las más de 20 mil especies de plantas que hay en México).

Las 38 mieles recolectadas y analizadas entre 2023-2024 bajo el auspicio de un proyecto financiado por la red de Asociaciones Educativas para la Innovación en las Comunidades (EPIC-N) reflejan esta realidad (Leopardi-Verde *et al.* 2025). Muestran que en distancias tan cortas como 20 km puede haber un recambio superior al 60 % de las especies representadas en el polen contenido en la miel y que en menos de 100 km —en la zona de los volcanes— el contenido polínico es completamente distinto al de la costa. Además, en un mismo sitio, si la muestra fue recolectada en mayo puede ser muy diferente a la

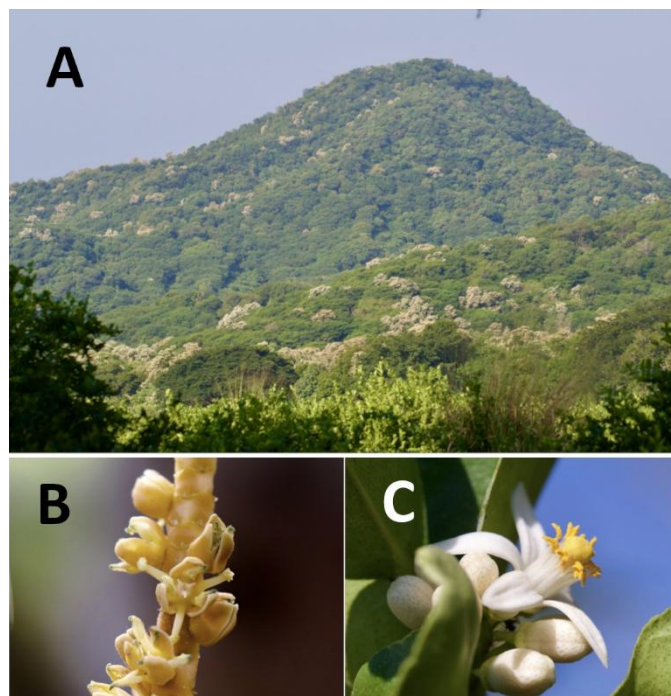


Figura 2. Ejemplos de recursos florales en zona de tierra caliente. A. Paisaje de selva seca desde una huerta de limón en noviembre, note al fondo los árboles de barcino (*Cordia elaeagnoides*) en Flor Mangles. B. Flores de coco (*Cocos nucifera*). C. Flores de limón mexicano (*Citrus aurantiifolia*). (Fotografías: C. L. Leopardi)

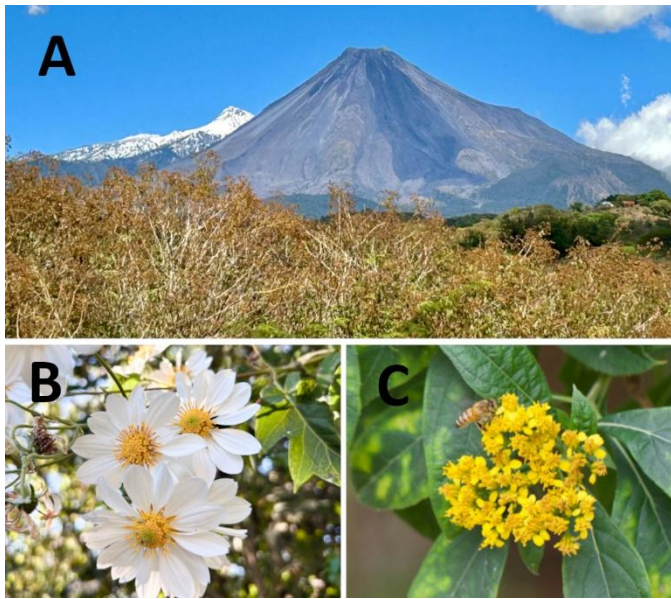


Figura 3. Ejemplo de recurso floral en la zona del volcán. **A.** Paisaje del volcán. **B.** Tacote blanco (*Montanoa grandiflora*). **C.** Flor de tu santo (*Verbesina oligantha*). (Fotografías: C.L. Leopardi)

de noviembre, simplemente porque los recursos florales cambian con la temporada. Muchas de las

mieles analizadas en este estudio son multiflorales (polen de tres o más especies con 10 % o más), aunque también se identificaron mieles oligoflorales (tres o más especies con 16-44 % del polen), biflorales (dos especies con 16-44 % del polen) y monoflorales (más del 45 % del polen es de una sola especie). En esta última categoría, algunas de las más agradables sensorialmente son las de tacote blanco, limón y las de coco; estas dos últimas pueden estar enriquecidas con polen de quelite (*Amaranthus palmeri* S.Watson).

Un aspecto interesante de la apicultura es cómo los apicultores han aprendido a seguir el ritmo fenológico de las plantas para desplazar sus colmenas conforme a la temporada. No es lo mismo la floración de invierno en la zona de los volcanes que la floración de secas en la costa. Tradicionalmente, se asume —en Colima— que las mieles claras (ámbar) provienen del Volcán (Fig. 3, 4) y las oscuras de la costa (Figs. 2, 4); hoy sabemos que en cada región

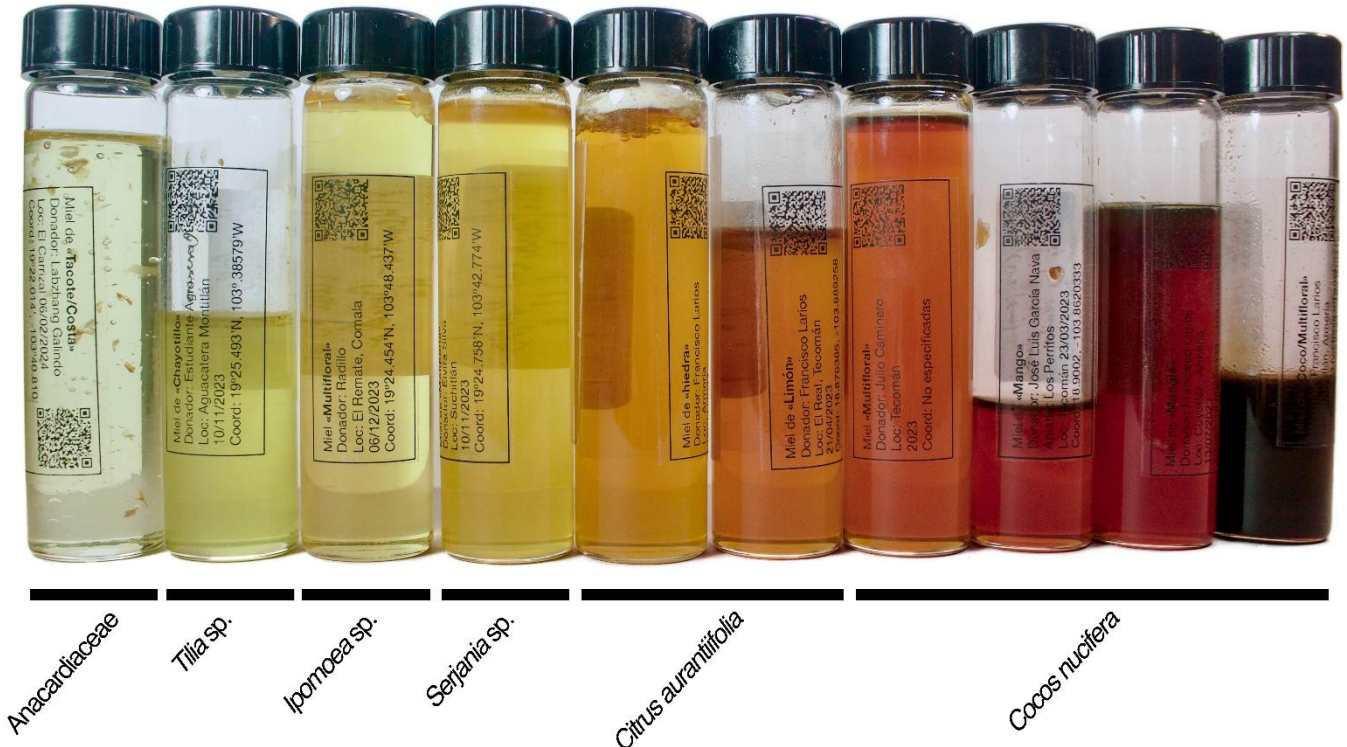


Figura 4: Ejemplo de la variedad de mieles de Colima. En las etiquetas de los frascos se muestra la denominación dada por el apicultor al momento de entregar la miel para el análisis; en la parte inferior de la imagen el resultado del análisis melisopalinológico. (Fotografía: C. L. Leopardi)

pueden presentarse distintos tonos, pues ello depende de los recursos florales disponibles. Aunque la comprensión empírica de los apicultores de los patrones fenológicos es importante para decidir las zonas de establecimiento de las colmenas, durante esta investigación también notamos que el cambio climático puede tener implicaciones serias que pueden requerir el desarrollo de resiliencia y adaptabilidad por parte de los productores.

En Colima, la temperatura promedio ha aumentado alrededor de 1 °C en los últimos 30 años, conforme al registro disponible, y en el 2023 (durante el periodo de estudio), ocurrió una anomalía en la precipitación: aunque el total anual fue similar al promedio histórico, la lluvia se concentró en unos pocos días del mes de octubre. Este patrón — en el que los meses sin lluvia se vuelven más prolongados, intercalados con episodios intensos —, alteró la fenología de las plantas de los volcanes, que dependen para completar su desarrollo de las lluvias de temporal y que además se enfrentan a una temperatura progresivamente más elevada; esto provocó que la producción de miel se desfasara e incluso fuese menor que en años anteriores, según comentaron los mismos apicultores.

Los apicultores conocen a sus abejas y los ritmos de la naturaleza. Conviven con ella, la siguen y generan productos de calidad — miel, polen, propóleo, entre muchos otros—. Ese producto debe ser valorado y remunerado de forma justa, como un reconocimiento a su labor y como una manera de promover el cuidado y aprovechamiento sostenible de los ecosistemas.

Una herramienta útil para ello es, precisamente, la melisopalinología. Certificar el origen botánico y geográfico de la miel permite a los apicultores agregar valor a su producto. No es lo mismo vender “miel” que ofrecer “miel monofloral de limón”. Esta información ayuda a posicionar el producto en mercados especializados, como documenta un estudio reciente de la cadena de valor de la miel de mangle (Huella Delta 2024).

En conclusión, cada miel de Colima cuenta una historia distinta sobre su paisaje, su clima y su flora. Los granos de polen contenidos en ella hablan de selvas secas, palmares y bosques, narran cómo las abejas soportaron o aprovecharon floraciones intensas. Confirman que la miel no solo es un producto apícola, sino también una ventana para comprender la biodiversidad, una herramienta de valorización y, para la sociedad, un recordatorio de que detrás de un sabor dulce se esconde una historia de naturaleza y cultura (Andrade 2007).

Agradecimientos

Agradecemos a la red EPIC-N por el apoyo financiero, a la Universidad de Colima, particularmente a la Coordinación General de Vinculación, por todo el apoyo para el desarrollo de este trabajo, al Sistema Productor Apícola, al Gobierno del Estado de Colima, por ayudarnos a localizar a productores, como Francisco Larios, dispuestos a participar.

Referencias

- Andrade Á. (Ed.). 2007.** *Aplicación del enfoque ecosistémico en Latinoamérica*. CEM - UICN. Bogotá, Colombia. 87 pp.
- Herrero B., Valencia R., San Martín R., Pando V. 2002.** Characterization of honeys by melissopalynology and statistical analysis. *Canadian Journal of Plant Science* 82: 75-82.
<https://doi.org/10.4141/P00-187>
- Huella Delta. 2024.** *Estrategias para la cadena de miel de mangle*. Huella Delta - WWF México. Ciudad de México, México. 57 pp.
- Leopardi-Verde C.L., Solorio-Pérez O.J., Sigler-Chávez Y., Gallegos-Magaña C.C. 2025.** La apicultura en Colima (México): Tradición, ciencia y sostenibilidad en cada gota de miel. En: Chávez-Michaelsen A.B. y Attanasio A. Eds. *De las necesidades a las oportunidades: fomentando conexiones y conocimientos entre la academia y las comunidades*, pp. 35-39. EPIC-Network – Latinoamérica21 Montevideo. <https://www.epicn.org/2025/08/29/new-publication-release-epic-n-releases-compendium-on-epic-lac-initiatives/>

Morrone J.J. 2019. Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: e902448.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980>

Villaseñor J.L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 559-902.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

La decisión de Sofie en la conservación de germoplasma y sus dilemas éticos y de priorización

Manuel Martínez Estévez*

Unidad de Biología Integrativa. Laboratorio Regional para el Estudio y Conservación de Germoplasma. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Calle 43 No. 130 x 32 y 34. Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

*luismanh@cicy.mx

Resumen

Recientemente, una colega muy querida, experta en plantas y amante de la conservación me compartió una nota del periódico La Nación del 8 de diciembre de 2025 de la autoría de Jorge V. Crisci donde se trata el tema de la ciencia y la decisión de Sofie, el tema me pareció relevante y decidí investigar de manera más profunda esta dicotomía entre la ética y lo que sí o no debemos conservar. Este artículo muestra una breve descripción de la dicotomía/disyuntiva, y las posibles consecuencias para la conservación de recursos genéticos.

Palabras clave: Bancos de genes, especies silvestres, germoplasma, jardines botánicos, triaje.

El concepto de la decisión de Sofie (Sophie's Choice) tomado de la novela del autor W. Styron (1979), muestra un dilema sin solución: la persona tiene que elegir entre dos opciones que son igual de valiosas o dolorosas, y las dos opciones traen consecuencias desastrosas (Fig. 1). En el contexto de la conservación

de germoplasma, la preservación de material genético de plantas, animales y microorganismos es la prioridad. Los bancos de germoplasma guardan más de 7 millones de accesiones de origen vegetal en los 1 750 bancos existentes, y el número de las accesiones únicas se estima en cerca de 2 millones; la conservación a largo plazo de un volumen tan grande del germoplasma diverso sigue siendo una tarea difícil (Fu 2017).

La decisión fundamental que enfrenta el personal encargado de organizar, documentar y preservar los recursos fitogenéticos, es inevitable: "¿Qué conservamos y qué dejamos ir ante recursos financieros, humanos y de infraestructura limitados?" Esta es la "*decisión de Sofie*" de la conservación de germoplasma, actividad que es fundamental para el mantenimiento de la biodiversidad agrícola y la seguridad alimentaria mundial (Priyanka *et al.* 2021).

Puesto que los recursos nunca son suficientes para conservar toda la diversidad genética existente, eso obliga a establecer prioridades en los materiales a



Figura 1. La decisión de Sofie forzada a elegir entre dos opciones igualmente valiosas o dolorosas, ambas con consecuencias profundas. (Imagen generada por M. Martínez Estévez con Inteligencia Artificial en Nano Banana)

conservar (Thompson 1976). Desde los inicios de la conservación *ex situ*, Thompson (1976) propuso un conjunto de factores en la selección de recursos vegetales para su conservación en bancos de semillas; su trabajo estableció los criterios de viabilidad de almacenamiento, de representatividad genética y de recursos para la recolección y el mantenimiento. Este autor advirtió que la facilidad con que algunas especies pueden conservarse almacenadas en frío plantea el peligro de que esta técnica se aplique sin criterios claros a poblaciones o taxones menos adecuados. Así, la decisión técnica inicial para establecer un banco de semillas implica una evaluación compleja de costos y beneficios del material vegetal a resguardar.

El "Triaje en la conservación", ¿es una decisión inteligente o una manera de abandono? El "traje" en conservación vegetal es una estrategia de priorización que aplica los principios de la medicina de urgencia a la ecología; ante recursos y fondos limitados, este permite clasificar especies o hábitats según su nivel de amenaza y su probabilidad de recuperación, destinando los esfuerzos donde tengan mayor

impacto positivo. Esta estrategia ha sido objeto de intenso debate. Bottrill *et al.* (2008) argumentaron que el triaje en conservación no es más que la asignación eficiente de recursos limitados para esta actividad, corriéndose el riesgo de desperdiciar recursos escasos si no seguimos sus principios básicos.

Bottrill *et al.* (2009) defendieron que los fondos finitos para la conservación hacen que el triaje sea inevitable, distinguiendo entre la asignación óptima de los recursos disponibles y la cuestión de cuánto debería gastar la sociedad en conservación. Gerber (2016) criticó la forma en que se aplica el triaje en la recuperación de especies en peligro (bajo la Ley de Especies en Peligro de EE. UU), al mostrar que menos del 25% de los \$1, 21 mil millones de dólares asignados al año para los planes de recuperación de 1,125 especies se destinan realmente a la recuperación, demostrando que el triaje por falta de presupuesto puede dar más dinero a más especies, pero también puede perjudicar si no se implementa con decisiones cuidadosas o criterios sólidos para la selección del material a conservar.

Un ejemplo de la decisión de Sofie en la conservación del germoplasma es la selección de los parientes silvestres de los cultivos para conservar. Maxted *et al.* (2012) calcularon que hay más de 58 000 especies que son parientes silvestres de cultivos (PSC) en el mundo.

Los recursos materiales y financieros no son suficientes para la conservación total de este material. Kell *et al.* (2017) desarrollaron un enfoque sistemático para priorizar su conservación basado en tres criterios principales: (i) el valor socioeconómico de los cultivos, (ii) el valor potencial relativo de PSC para la mejora de variedades, y (iii) el estado de amenaza re-

lativo de estos PSC. Este proceso de selección constituye una "decisión de Sofie" a escala global, donde se debe optar entre salvar ciertas especies y potencialmente perder otras (Fig. 2).

Por su parte, Ford-Lloyd *et al.* (2011) destacaron que los PSC están poco valorados, subutilizados y amenazados, a pesar de ser esenciales para la seguridad alimentaria mundial, especialmente en el contexto del cambio climático; la decisión de no conservar un PSC hoy podría significar la pérdida irreversible de rasgos genéticos cruciales para la adaptación futura de los cultivos, comprometiendo seriamente la seguridad alimentaria de las generaciones futuras.



¿A quién salvamos cuando los recursos son limitados? El dilema de priorizar entre la biodiversidad única y los cultivos esenciales.

Figura 2. La decisión de Sofie en la conservación de germoplasma. (Imagen generada por M. Martínez Estévez con Inteligencia Artificial en Nano Banana)

Law *et al.* (2017) exploraron las "disyuntivas de equidad" en la toma de decisiones de conservación, señalando que las decisiones sobre qué conservar inevitablemente benefician a algunos grupos humanos o regiones más que a otros; estas compensaciones de equidad añaden una dimensión ética adicional a la "decisión de Sofie": no solo se trata de qué especies o genes conservar, sino también de qué co-

munidades humanas, sistemas agrícolas tradicionales y conocimientos locales se deben priorizar. Por otra parte, Hodgkin *et al.* (2007) analizaron el uso de los recursos vegetales que se guardan *ex situ*, recalcando que los responsables de los bancos de germoplasma indicaron que el material conservado no se usa mucho. Hay una tensión entre conservar para el futuro y poner a disposición para su uso en el pre-

sente. Esta dicotomía es otra decisión de Sofie: un acceso que limita la utilidad del germoplasma puede impedir que se aproveche, mientras que una distribución geográfica que no se controla bien puede agotar sus existencias o comprometer su disponibilidad.

La conservación de germoplasma puede realizarse *ex situ* (bancos de genes, colecciones *in vitro*, crio preservación) o *in situ* (reservas naturales, parques nacionales, parcelas agrícolas). Ambos enfoques tienen ventajas y desventajas. La conservación *ex situ* protege contra amenazas inmediatas, pero puede congelar la evolución genética, mientras que la conservación *in situ* permite la adaptación continua, pero es más vulnerable a cambios ambientales y antropogénicos. La decisión de qué enfoque priorizar para cada recurso genético constituye otro nivel de "decisión de Sofie".

Es importante mencionar que Biasetti y de Mori (2021) propusieron la "matriz ética" como una herramienta para el proceso de toma de decisiones en conservación. Esta herramienta permite visualizar y evaluar sistemáticamente los valores, intereses y consecuencias de diferentes opciones de conservación, ayudando a los conservacionistas a superar los dilemas éticos inherentes a la "decisión de Sofie" de una manera más transparente y participativa.

De manera similar, un análisis ético y social de los métodos biotecnológicos en el fitomejoramiento, ha destacado la necesidad de considerar no solo la eficiencia en la técnica, sino también las implicaciones sociales, culturales y éticas de las decisiones sobre qué germoplasma conservar y cómo utilizarlo (Louwaars & Jochemsen 2021). Incluso, cuando se toma la decisión de conservar cierto germoplasma, persisten los desafíos, estos que están presentes cuando se decide conservar una u otra especie.

Fu (2017) encontró factores que amenazan la conservación del germoplasma en los bancos de genes. Algunos de estos son: la vulnerabilidad de los bancos, el riesgo de erosión genética dentro del banco que ocurre por la deriva genética y por la selección de viabilidad durante la regeneración. Esto significa

que la "decisión de Sofie" no termina con la inclusión inicial en el banco de genes, sino que continúa con decisiones continuas sobre regeneración, monitoreo y eventual descarte de accesiones.

A nivel global, existen iniciativas como el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, y la Bóveda Global de Semillas de Svalbard, los cuales representan esfuerzos colectivos para abordar la "decisión de Sofie" a escala planetaria. Sin embargo, estas iniciativas también enfrentan dilemas sobre ¿qué depositar? ¿en qué cantidades? y ¿cómo garantizar el acceso equitativo?

La diversidad de criterios para la priorización de la conservación del germoplasma entre diferentes países e instituciones refleja la naturaleza inevitablemente subjetiva y contextual de estas decisiones. Lo que es prioritario para un país puede no serlo para otro, y los recursos genéticos de importancia global pueden quedar desatendidos si no existe una coordinación internacional.

Conclusiones

"La decisión de Sofie" en la conservación de germoplasma es una metáfora poderosa para describir los dilemas fundamentales que enfrentan los curadores de bancos de genes, los conservacionistas y los formuladores de políticas públicas relacionadas a este tema. A diferencia de la novela de Styron, donde la protagonista debe elegir entre sus dos hijos, en la conservación de germoplasma no existe una única decisión trágica, sino una serie continua de decisiones difíciles que suelen tomarse con información incompleta, recursos limitados y consecuencias que pueden extenderse por generaciones.

Por otro lado, la literatura académica sugiere que el triaje es inevitable, pero debe aplicarse de manera transparente y basada en evidencia. La priorización debe basarse en criterios múltiples, incluyendo valor socioeconómico, potencial de mejora genética y estado de amenaza; las decisiones de conservación implican compensaciones de igualdad que deben ser

reconocidas y gestionadas explícitamente. Por último, se necesitan marcos éticos fuertes para guiar estas decisiones difíciles, debido a que la vulnerabilidad de las colecciones existentes exige atención continua, incluso después de la decisión inicial de conservar.

Al final, no podemos guardar todo, pero los investigadores siguen creando las herramientas y los marcos conceptuales para que las decisiones sean tan informadas, justas y sostenibles como sea posible. La “decisión de Sofie” en la conservación del germoplasma nos muestra que esta conservación no es solo un problema técnico, sino también una cuestión ética.

Referencias

- Biasetti P., De Mori B. 2021.** The ethical matrix as a tool for decision-making process in conservation. *Frontiers in Environmental Science* 9: 584636. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.584636>
- Bottrill M.C., Joseph L.N., Carwardine J., Bode M., Cook C., Game E.T., ... Possingham H.P. 2008.** Is conservation triage just smart decision making? *Trends in Ecology & Evolution* 23(12): 649-654. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.07.007>
- Bottrill M.C., Joseph L.N., Carwardine J., Bode M., Cook C., Game E.T., ... Possingham H.P. 2009.** Finite conservation funds mean triage is unavoidable. *Trends in Ecology & Evolution* 24(4): 183-184. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.11.007>
- Ford-Lloyd B.V., Schmidt M., Armstrong S.J., Barazani O.Z., Engels J., Hadas R., ... Maxted N. 2011.** Crop wild relatives—undervalued, underutilized and under threat? *BioScience* 61(7): 559-565. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.7.10>
- Fu Y.-B. 2017.** The vulnerability of plant genetic resources conserved Ex Situ. *Crop Science* 57(5): 2314-28. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.01.0014>
- Gerber L.R. 2016.** Conservation triage or injurious neglect in endangered species recovery. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(13): 3563-66. <https://doi.org/10.1073/pnas.1525085113>
- Hodgkin T., Rao V.R., Cibrian-Jaramillo A., Gaiji S. 2007.** The use of ex situ conserved plant genetic resources. *Plant Genetic Resources* 1(1): 19-29. <https://doi.org/10.1079/pgr200313>
- Kell S.P., Ford-Lloyd B.V., Brehm J.M., Iriondo J.M., Maxted N. 2017.** Broadening the base, narrowing the task: prioritizing crop wild relative taxa for conservation action. *Crop Science* 57(3): 1042-1058. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.10.0873>
- Law E.A., Bennett N.J., Ives C.D., Friedman R., Davis K.J., Archibald C., Wilson K.A. 2017.** Equity trade-offs in conservation decision making. *Conservation Biology* 32(2): 294-303. <https://doi.org/10.1111/cobi.13008>
- Louwaars N., Jochemsen H. 2021.** An ethical and societal analysis for biotechnological methods in plant breeding. *Agronomy* 11(6): 1183. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061183>
- Maxted N., Kell S., Ford-Lloyd B., Dulloo E., Toledo Á. 2012.** Toward the systematic conservation of global crop wild relative diversity. *Crop Science* 52(2): 774-785. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.08.0415>
- Priyanka V., Kumar R., Dhaliwal I., Kaushik P. 2021.** Germplasm conservation: instrumental in agricultural biodiversity—a review. *Sustainability* 13(12): 6743.
- Styron W. 1979.** *Sophie's choice*. New York.
- Thompson P.A. 1976.** Factors involved in the selection of plant resources for conservation as seeds in gene banks. *Biological Conservation* 10(3): 159-67. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(76\)90032-x](https://doi.org/10.1016/0006-3207(76)90032-x)

El banco de germoplasma de *Jatropha curcas* y *Moringa oleifera* del INIFAP

Elizabeth Herrera-Parra^{1*}, Luis M. del Campo-López², Carolina I. Basto-Pool¹ y Jorge R. Canul-Solis^{3**}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental Mocochoá. Km. 25 Carretera Antigua a Mérida-Motul, Mocochoá, 97450, Yucatán, México.

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tizimín. Avenida Cupul Km 2.5, 97700, Tizimín, Yucatán, México.

³Departamento de Ecología Tropical. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil Km 15.5, 97290, Mérida, Yucatán, México

*elian.herrera09@gmail.com **jorge.canul@ittizimin.edu.mx

Resumen

Los bancos de germoplasma son instalaciones que resguardan recursos genéticos para conservar la diversidad vegetal. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) mantiene colecciones *ex situ* de plantas vivas (colectas de campo) correspondientes a 16 accesiones y tres variedades clonales de *Jatropha curcas*, así como 20 materiales de *Moringa oleifera*, conservadas en el Sitio Experimental Uxmal, Yucatán. Estas colecciones preservan la diversidad genética regional, proveen material para investigación y facilitan la transferencia de tecnología a productores interesados en la producción de biocombustibles y alimentos.

Palabras clave: Biocombustibles, conservación *ex situ*, conservación *in situ*, diversidad genética, recursos genéticos.

Los bancos de germoplasma son instalaciones destinadas a la conservación de semillas, tejidos o plantas. Su objetivo es conservar la diversidad genética, constituyendo así una fuente de recursos para realizar investigación asociada con la viabilidad, variabilidad y mejoramiento genético de cultivos y plantas silvestres (Condón & Rossi 2018). Previenen la pérdida de especies vegetales importantes para la agricultura y la alimentación, ocasionada por factores ambientales, físicos, biológicos o por la acción humana (Ruíz & Ernst 2024). Para su funcionamiento, los bancos de germoplasma consideran la implementación de normas y procedimientos que aseguren la viabilidad y acceso continuo de los recursos genéticos, para garantizar que se mantengan intactos a lo largo de todo el proceso de resguardo, desde su colecta, almacenamiento, conservación y distribución (FAO 2014).

¿Cuáles son los métodos de conservación de los recursos genéticos en los bancos de germoplasma?

Las estrategias que implementan los bancos de germoplasma para resguardar y preservar semillas, tejidos o plantas fuera del entorno original o de su hábitat natural son conocidas como conservación *ex situ* (Gutiérrez-Caro & Koch 2015); este enfoque favorece la preservación del germoplasma, su fácil acceso y disminuye los riesgos de pérdida, contaminación física y genética (Condón & Rossi 2018). El otro tipo de conservación es la *in situ*, y consiste en preservar variedades de plantas en sus entornos naturales o en sistemas agrícolas (León *et al.* 2020). Es importante integrar ambas estrategias, combinando la conservación *ex situ*, llevada a cabo por los bancos de germoplasma, con la conservación *in situ* realizada en colaboración con productores (Ruíz & Ernst 2024). Muchas de las especies resguardadas son preferidas por los productores para su consumo directo o por los subproductos que pueden obtenerse de ellas, lo que favorece el interés por su cuidado y conservación.

Bancos de germoplasma del INIFAP

Jatropha curcas L.

J. curcas es una especie arbórea originaria de México y Centroamérica. Se adapta a condiciones tropicales secas y, en zonas rurales, suele utilizarse como cerca viva y con fines medicinales; el aceite de sus semillas presenta potencial como materia prima para la producción de biodiesel (García *et al.* 2023). Por estas características, en 2007, el INIFAP inició la colecta, conservación y caracterización de recursos genéticos de *Jatropha curcas* en el país. A partir de una colección de más de 400 accesiones de diversos orígenes geográficos se realizó la caracterización morfológica, bioquímica y molecular (Zamarripa 2012). Actualmente, el Sitio Experimental Uxmal ubicado en Muna, Yucatán, cuenta con un banco de germoplasma de *Jatropha curcas*, conservado *ex situ* como colección de campo (plantas vivas), que

resguarda 16 colectas y tres variedades clonales denominadas Don Rafael, Gran Victoria y Doña Aurelia (Fig. 1).

Moringa oleifera Lam.

M. oleifera es un árbol originario de la India. En la región sureste del país, su cultivo y comercialización se ha incrementado en los últimos 10 años (Ruiz-Hernández *et al.* 2024), ya que las hojas se emplean para consumo humano y medicina tradicional, por



Figura 1. Banco de germoplasma de *Jatropha curcas* conservado *ex situ* (colección de campo) en el Sitio Experimental Uxmal, Muna, Yucatán. Se aprecian las colectas mantenidas en campo. (Fotografía Elizabeth Herrera Parra).

su alto contenido de proteína (27 %) y presencia de aminoácidos esenciales. De las semillas se extrae aceite para consumo humano y puede emplearse para la elaboración de biodiesel (Magaña 2012). Con estos antecedentes, el INIFAP desarrolló, de 2013 a 2016, el proyecto "Investigación y desarrollo de producción de *Moringa* para la obtención de biodiesel en México" (Fig. 2). Se realizaron colectas de materiales en el estado de Yucatán y se establecieron cuatro experimentos, en los cuales se realizó la evaluación agronómica de colectas y de distancias de siembra, niveles de fertilización, altura y frecuencia de podas. Durante el año 2016 se desarrolló el proyecto "Generación de componentes tecnológicos de *Moringa oleifera* para la obtención de biodiesel"; de estos proyectos se obtuvo un banco de germoplasma de *Moringa oleifera*, conservado *ex situ*



Figura 2. Banco de germoplasma de *Moringa oleifera* conservado ex situ (colección de campo) en el Sitio Experimental Uxmal, Muna, Yucatán. **A.** Se observan los 20 materiales establecidos. **B.** Frutos. (Fotografías: Elizabeth Herrera Parra).

como colección de campo, con 20 materiales, en el Sitio Experimental Uxmal (Basulto *et al.* 2016) (Fig. 2).

Conclusiones

Los bancos de germoplasma de *J. curcas* y *M. oleifera* contribuyen a la conservación y mantenimiento ex situ de materiales regionales con potencial productivo, aportan material vegetativo para trabajos de investigación y se emplean en actividades de transferencia de tecnología, como eventos demostrativos y cursos prácticos.

Referencias

- Basulto-Graniel J.A., Rico-Ponce H.R., González-Jiménez A., Díaz-Fuentes V.H., Rueda-Sánchez A., Ortiz-Curiel S., Solís-Bonilla J.L., Reyes-Reyes A.L. 2016. Componentes tecnológicos para la producción de semilla de moringa como insumo para biocombustibles. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. Folleto Técnico Número 42. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 25 pp.
- Condón F., Rossi C. 2018. Banco de germoplasma INIA: conservando la diversidad de nuestras plantas. *INIA* 52: 52–55. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8972/1/Revista-inia-52-12.pdf>

- FAO. 2014. Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Roma. (Consultado: 4 Mayo 2026). <https://www.fao.org/4/i3704s/i3704s.pdf>
- García F., García E., Pérez A., Martínez R., Casanova L. 2023. Caracterización morfológica y productiva de accesiones de *Jatropha curcas* L. no tóxica en la región central de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14(4): 507–518. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3109>
- Gutiérrez-Caro B., Koch Z.L. 2015. Conservación de germoplasma ex situ: protocolos y estrategias para la mantención de un banco *in vitro*. *Ciencia & Investigación Forestal* 21(1): 69–82. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2015.433>
- León G., Rodríguez C., Padilla S. 2020. La conservación in situ del frijol criollo: construyendo soberanía alimentaria en el sureste del Estado de México. *Construyendo la Paz para Latinoamérica* 9: 125–141. <https://doi.org/10.35600/25008870.2020.9.00159>
- Magaña B.W. 2012. Aprovechamiento postcosecha de la moringa (*Moringa oleifera*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 13(2): 171–174.
- Ruiz M.A., Ernst R. 2024. Bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos, reserva de alimentos para futuras generaciones. *SEMIÁRIDA* 34(2): 91–94. [https://doi.org/10.19137/semiarida.2024\(2\).91-94](https://doi.org/10.19137/semiarida.2024(2).91-94)
- Ruiz-Hernández R., Pérez-Vázquez A., García-Pérez E., Morales-Trejo F., Soto-Hernández F. 2024. Caracterización de los cultivos comerciales de *Moringa oleifera* en el sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 15(8):1–12. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.3562>
- Zamarripa C.A. 2012. Informe final del proyecto: Mejoramiento de insumos agropecuarios para la producción de biocombustibles. SAGARPA-INIFAP. 30 pp.

Más allá de lo verde: metabolitos secundarios en la vida real

Blanca Catalina Solis Arias*, José Armando Muñoz Sánchez y Felipe Augusto Vázquez Flota

Unidad de Biología Integrativa. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

*blancacsa14@gmail.com

Resumen

Desde el principio de la humanidad, las plantas han sido una fuente de recursos para nuestra supervivencia. Más allá del papel tan importante que tienen en sus ecosistemas, como fuente de alimentos para diversas especies o aportando gran parte del oxígeno de la tierra, también son un reservorio de ingredientes activos, en su mayoría metabolitos secundarios, que son aprovechados para el beneficio humano, mismos que después de años de investigación han sido ampliamente distribuidos y usados en diversos productos de uso común, siendo más que secundarios, protagonistas de la resolución de problemas de la vida real.

Palabras clave: Aplicación industrial, metabolismo vegetal, química.

Como principio fundamental de cualquier ser vivo, las plantas poseen una maquinaria metabólica donde, mediante diversas reacciones químicas, sus células obtienen o degradan moléculas (metabolismo). Los bioquímicos suelen clasificar esta maquinaria en metabolismo primario y secundario según las funciones que realiza. Primario, porque aquí tienen lugar las reacciones químicas que forman parte de las funciones vitales de la planta, como crecer o

realizar la fotosíntesis. Y secundario porque utiliza como precursoras a las moléculas derivadas del metabolismo primario, y permite así la producción de nuevos compuestos denominados metabolitos secundarios o “productos naturales”. A diferencia de los metabolitos primarios, los secundarios tienen estructuras químicas muy diversas. La adaptación de las plantas a su medio ambiente resulta en modificaciones en las rutas metabólicas principales, funcionando como respuestas específicas a los estímulos externos que afectan a las plantas, de este modo cada planta puede producir gamas diversas de productos naturales, cada uno con una estructura química que resulta en una función o aplicación distinta. Estas funciones en planta son, por ejemplo: la atracción de los polinizadores, la defensa contra insectos y plagas, la adaptación a ambientes desfavorables, la comunicación entre especies para el beneficio de sus ecosistemas, entre otros (Fig. 1). Los seres humanos también hemos aprovechado estas propiedades para beneficio propio, ya sea de forma espontánea, descubriendo sus efectos en otros organismos, así como para resolver problemáticas sociales por medio de la búsqueda de compuestos que alivien enfermedades, entre otros fines. A continuación, abordaremos algunos ejemplos de los diversos

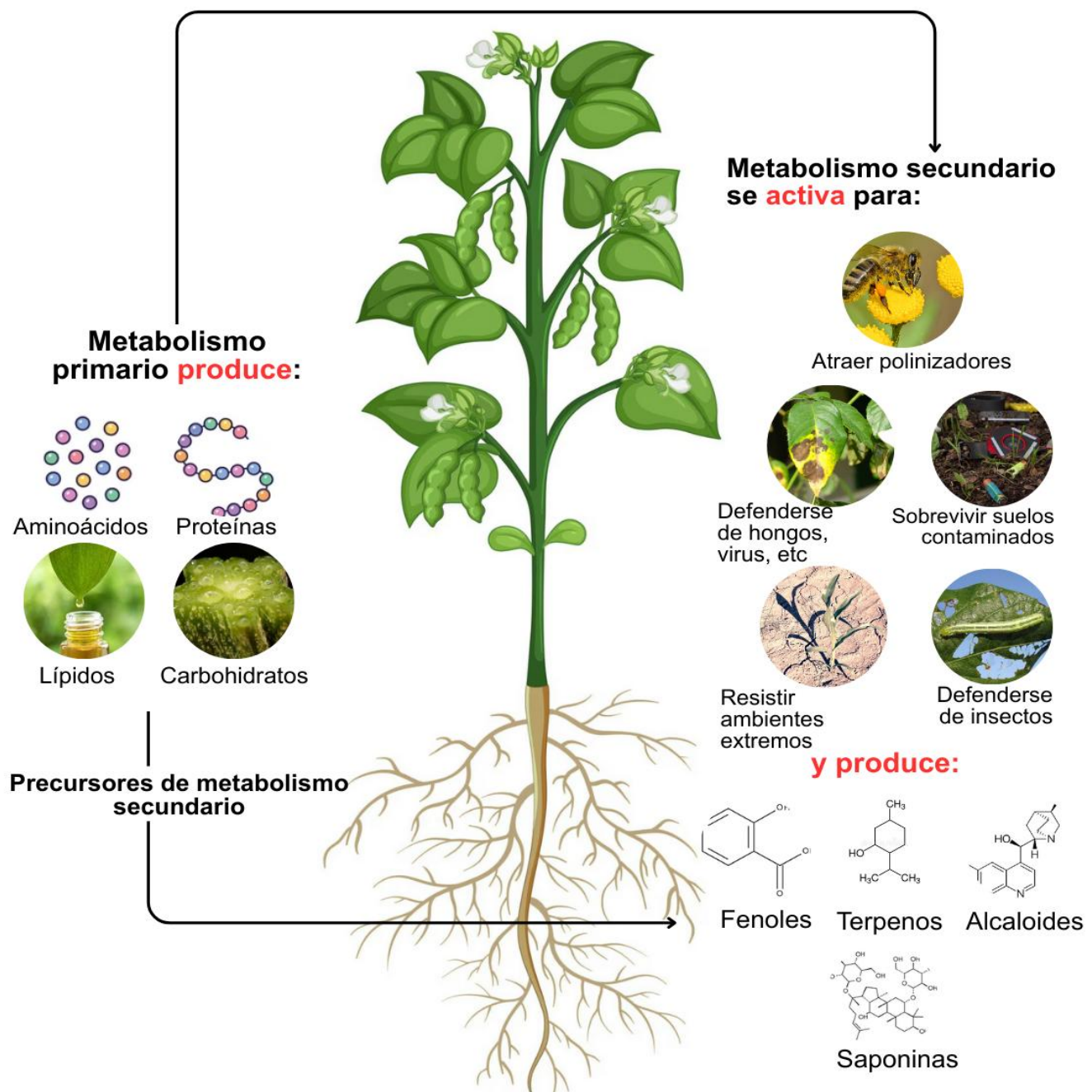


Figura 1. Esquema ilustrativo de los dos tipos de metabolismo en plantas y sus productos. (Imagen elaborada por Blanca Catalina Solís Arias con la plataforma web Canva.com)

grupos de metabolitos secundarios para comprender su importancia en la vida cotidiana.

Chicles, pasta dental y ungüentos: mentol

Usado por todos, el aromático mentol. El mentol es un metabolito secundario tipo terpeno. Los terpenos tienen una estructura química simple y corta

que los hace volátiles y fáciles para atravesar membranas celulares, por lo que es lógico que sean compuestos con aroma. Este compuesto se encuentra en plantas del género *Mentha* L. De las cuales la hierbabuena es una de las más utilizadas en la gastronomía mundial y de las que de seguro existe una planta en los jardines de varios lectores de este artículo. Su uso es múltiple e incluye productos de higiene bucal como pastas dentales, confitería o pas-

tillas refrescantes para el aliento, productos farmacéuticos y medicinales de venta libre, cosméticos, pesticidas y como aromatizante, entre otros. Además, es comúnmente usado en dermatología, formando parte de formulaciones tópicas, antisépticas, analgésicas y refrescantes.

Pero, alguna vez te has preguntado ¿Por qué el mentol nos produce esa característica sensación “refrescante” similar a la que sentimos a bajas temperaturas? Esto se debe a la activación de sensores de temperatura del sistema nervioso. En 2002 se identificó una proteína llamada “TRPM8” que funciona esencialmente como “sensor del frío” en nuestro cuerpo (Peier *et al.* 2002). Este sensor se encuentra en algunas células nerviosas y se activa cuando sentimos temperaturas frías (entre 8 y 28 °C) o al entrar en contacto con sustancias como el mentol (Caterina 2007) que posee una estructura química capaz de interactuar con este y producir esa sensación refrescante.

¿A quién no le duele la cabeza? Ácido salicílico, ácido acetilsalicílico.

Junto con otros medicamentos de venta libre, como el paracetamol, el ácido acetilsalicílico (comúnmente llamado “aspirina”) es un compuesto farmacológico bastante utilizado como auxiliar para el alivio del dolor de cabeza. Este compuesto proviene del ácido salicílico, un metabolito secundario de tipo fenol que se caracteriza por ser un compuesto orgánico de bajo peso molecular, el cual está presente en plantas como el sauce (*Salix* L.). El extracto activo de la corteza interna del *S. alba* L. fue aislado y denominado “salicina” por un químico alemán, Johann Buchner, en 1828. Sin embargo, su uso farmacológico fue limitado debido a sus efectos secundarios. Años más tarde, se pudo sintetizar de forma pura y estable un derivado de este compuesto que se denominó ácido acetilsalicílico, el cual disminuía los efectos adversos de su consumo humano y fue entonces que en 1900 después de la obtención de la patente, se convirtió en el analgésico más popular de todo el mundo (Mishra & Baek 2021). Aunque su

mecanismo de acción es realmente complejo, básicamente actúa como un “bloqueador del dolor” inhibiendo la producción de las prostaglandinas, sustancias generadas por nuestro cuerpo que causan inflamación o fiebre (Fijałkowski *et al.* 2022). Al disminuir la cantidad de estas moléculas el dolor e inflamación disminuyen gradualmente. Por otro lado, el ácido salicílico es posible encontrarlo en varias formulaciones de sueros faciales dermatológicos para el tratamiento del acné, ya que posee propiedades antisépticas y antimicrobianas que ayudan en el ataque contra las bacterias causantes del acné, así como a la mejora de la apariencia facial.

Saponinas: espuma que nace de la tierra

Las saponinas constituyen uno de los grupos más numerosos y diversos de productos naturales vegetales. El nombre “saponina” deriva de las propiedades jabonosas de estos compuestos (“soap” palabra en inglés para referirse al jabón). Funcionan como compuestos antimicrobianos para las plantas que las producen, así como también para evitar que organismos se alimenten de ellas, debido a su característico sabor y toxicidad. Estas actividades biológicas son atribuidas a las propiedades anfipáticas de estas moléculas. En palabras más sencillas, tienen una estructura química que atrae el agua (hidrofílica) y otra que la repele y es más afín a los lípidos (hidrofóbica). Cuando se agregan saponinas al agua y hay grasa presente, la parte hidrofóbica se pega a las grasas y la parte hidrofílica queda orientada hacia el agua, provocando que las moléculas de grasa se fragmenten y formen estructuras llamadas micelas, que son gotitas de grasa rodeadas por las saponinas, evitando que la grasa vuelva a juntarse y así puedan ser desechadas en el agua. Como pueden notar, este es el principio fundamental de los detergentes comunes que usamos para lavarnos las manos o la ropa, motivo por el cual son utilizados para estos fines. Las principales fuentes vegetales de saponinas que se usan actualmente provienen de la corteza de jabón (*Quillaja saponaria* Molina), yuca

de Mojave (*Yucca schidigera* Roez. ex Ortgies), regaliz (especies del género *Glycyrrhiza* Tourn. ex L.), ginseng (especies del género *Panax* L.), fenogreco (*Trigonella foenum-graceum* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), castaño de Indias (*Aesculus hippocastanum* L.), saponaria (*Saponaria officinalis* L.), gypsophila (*Gypsophila paniculata* L.) y zarzaparrilla (especies del género *Smilax* L.) (Moghimpour 2015).

El secreto oculto del agua tónica

Seguramente alguna vez has consumido agua gasificada. Pero ¿sabías que algunas de estas bebidas famosas contienen alcaloides? Por ejemplo, la quinina, un metabolito secundario de tipo alcaloide se

incorpora en la preparación del agua tónica. La quinina es un compuesto que se obtiene de la corteza de árbol de la quina (*Cinchona officinalis* L.) y solía añadirse originalmente al agua destinada al consumo en zonas tropicales del sur de Asia y África como agente profiláctico que prevenía la enfermedad de la malaria, enfermedad endémica de esas zonas. Este metabolito tiene una estructura química compleja, con dos partes claves: un anillo llamado quinolina y su grupo amino (Fig. 2). El primer componente actúa como un neutralizador del parásito de la malaria y el grupo amino permite el transporte de la quinina hacia el compartimento ácido donde se aloja el parásito (Achan *et al.* 2011). Por otro lado, la quinina tiene un sabor amargo caracterís



Figura 2. Ejemplos de metabolitos secundarios extraídos de plantas. (Imagen elabora por Blanca Catalina Solis Arias con la plataforma web Canva.com)

tico, tal como hemos visto en otros casos, los metabolitos nos producen sabores y sensaciones variadas. En este caso se debe a la interacción con receptores nerviosos del sabor amargo (TAS2R). Siendo la causa de su adición a aguas tónicas como saborizante. Las cuales funcionan perfectamente para mezclar con ciertas bebidas alcohólicas para la preparación de cocteles.

Conclusiones

Las plantas, nos han proporcionado de diversos compuestos para la vida moderna que más que llamarlos metabolitos secundarios, son fundamentales y abarcan una aplicación amplia que va más allá de lo alimentario, como su participación en la formulación de medicamentos, aditivos, jabones, pastas dentales, por decir algunos ejemplos. La investigación científica de productos naturales ha sido primordial para resolver muchas de las problemáticas de salud humana que han existido y que siguen apareciendo, por lo que actualmente se siguen realizando esfuerzos para optimizar el uso de estos productos naturales en el mundo moderno. Nos gustaría finalizar este artículo resaltando la importancia de seguir haciendo ciencia con las plantas. Estos productos naturales están en todos lados, esperando ser descubiertos o estudiados. Dichos descubrimientos han tenido su origen en la curiosidad básica que se impulsa al cuestionar, observar y comprender el mundo que nos rodea. Esta virtud es un pilar básico del quehacer científico que como sociedad debemos seguir promoviendo.

Agradecimientos

A la SECITHI por el financiamiento del proyecto CBF2023-2024-1879, así como por la beca otorgada 4025066 para estudios de maestría de BCSA.

Referencias

- Achan J., Talisuna A.O., Erhart A. 2011. Quinine, an old anti-malarial drug in a modern world: role in the treatment of malaria. *Malarian Journal* 10: 144.
<https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-144>
- Caterina M. 2007. Transient receptor potential ion channels as participants in thermosensation and thermoregulation. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 292(1): 64–76.
<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00446.2006>
- Fijałkowski Ł., Skubiszewska M., Grzešek G., Koech F.K., Nowaczyk A. 2022. Acetylsalicylic Acid–Primus inter pares in pharmacology. *Molecules* 27(23): 8412.
<https://doi.org/10.3390/molecules27238412>
- Mishra A.K., Baek K.H. 2021. Salicylic Acid biosynthesis and metabolism: A divergent pathway for plants and bacteria. *Biomolecules* 11(5): 705.
<https://doi.org/10.3390/biom11050705>
- Moghimipour E. 2015. Saponin: Properties, methods of evaluation and applications. *Annual Research & Review in Biology* 5(3): 207-220.
<https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/11674>
- Peier A.M., Moqrich A., Hergarden A.C., Reeve A.J., Andersson D.A., Story G.M., Earley T.J., Dragoni I., McIntyre P., ... Patapoutian A. 2002. A TRP channel that senses cold stimuli and menthol. *Cell* 108(5): 705–715.
[https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(02\)00652-9](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(02)00652-9)

Compresión costera: una enemiga silenciosa que impide la migración de los manglares

Paola Sánchez Juárez¹, Arturo García-Romero², Rodolfo Rioja-Nieto³ y Francisco Guerra Martínez^{2,3,*}

¹Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México.

²Grupo de investigación “Estudios en Geoecología y Ecología del Paisaje”. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, México.

³Laboratorio de Análisis Espacial de Zonas Costeras. UMDI-Sisal, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Tablaje Catastral 34338. Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto km 5.5, 97302, Sierra Papacal, Mérida, Yucatán, México.

*francisco.guerra@enesmerida.unam.mx

Resumen

Este artículo analiza la compresión costera en la península de Yucatán, un fenómeno donde el aumento del nivel del mar impulsa la migración de manglares tierra adentro, pero la infraestructura humana bloquea su avance. El estudio determina que 518 km de costa enfrentan este riesgo, afectando a un tercio de los manglares de la región, siendo Quintana Roo el estado más vulnerable. Esta situación amenaza servicios ecosistémicos y el turismo. Se recomienda implementar programas de ordenamiento ecológico y medidas de adaptación para fortalecer la resiliencia de estos ecosistemas.

Palabras clave: Aumento nivel del mar, cambio climático, desarrollo antropogénico, migración terrestre.

La península de Yucatán se caracteriza por la interacción entre múltiples cosmovisiones y culturas establecidas en un complejo mosaico de ecosistemas que representan la segunda mayor extensión de bosque en Latinoamérica (Durán-García *et al.* 2017). Entre los ecosistemas que destacan por su importancia ecológica y social se encuentran los manglares; del total presente en México, el 60% se distribuye en la península (Velázquez-Salazar *et al.* 2021). Los manglares son bosques caracterizados por especies de árboles y arbustos que se distribuyen en zonas tropicales y subtropicales y están

adaptados a la salinidad y suelos inundados de las zonas intermareales, es decir, el área costera que se encuentra entre los límites de la marea más alta y la marea más baja (Durán-García *et al.* 2017). La presencia de los manglares está regulada por factores como la temperatura, el aporte de materia orgánica e inorgánica, la tasa de acreción de sedimentos —velocidad en la que se acumulan partículas sólidas como suelo—, la fisiografía y el ascenso relativo del nivel del mar (Yáñez-Arancibia *et al.* 2014).

La presencia de manglares modifica el ambiente abiótico mediante su actividad biológica, manteniendo y creando hábitats para múltiples especies de seres vivos que se benefician de su existencia. Por ejemplo, reducen la energía de impacto del oleaje, que en conjunto con la filtración de partícu-

las mejoran la calidad del agua, retienen y favorecen la formación de suelo, permiten la provisión de alimento y proporcionan refugio para larvas de especies de importancia pesquera comercial. Se estima que los servicios que proporcionan los manglares en México equivalen a 202,588,949 dólares anuales (Fernández-Díaz *et al.* 2022). No obstante, los manglares se encuentran afectados por disturbios de origen natural y antropogénico o humano que actúan a distintos niveles espaciales y temporales. Los principales impactos antropogénicos son la agricultura, la acuicultura, la cría de ganado y el desarrollo costero (Osland *et al.* 2018); mientras que los impactos naturales más importantes corresponden a los eventos hidrometeorológicos, como ciclones tropicales (Martínez-Rivero *et al.* 2020).

La compresión costera es un fenómeno donde la infraestructura urbana impide que los ecosistemas migren tierra adentro ante el avance del océano, provocando su extinción local.

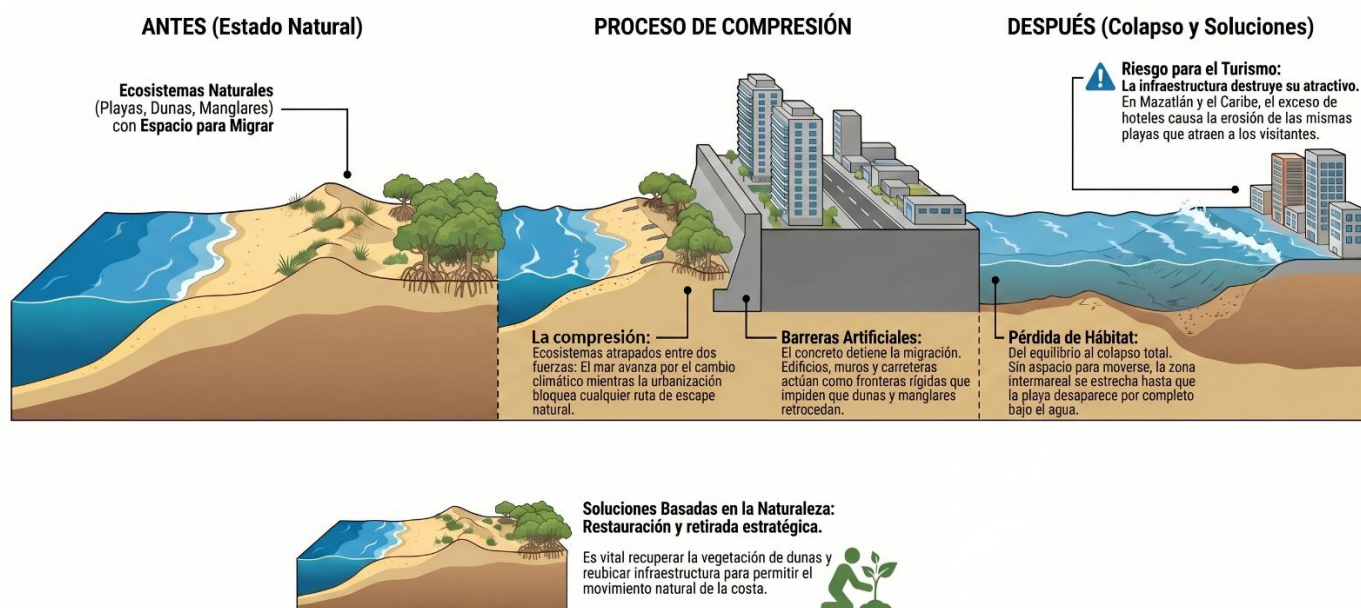


Figura 1. Esquema conceptual de la compresión costera que presentan los manglares en la península de Yucatán. (Imagen elaborada por Francisco Guerra Martínez con ayuda de NotebookLM).

La compresión costera

Un impacto gradual poco estudiado que ocurre cuando los ecosistemas costeros se ven afectados por un doble disturbio que actúa desde dos frentes contrarios (el mar y la tierra) se denomina compresión costera. Por un lado, el aumento en el nivel

del mar mantiene una presión que propicia la migración de los manglares tierra adentro (Guerra-Martínez & Rioja-Nieto 2026) y, por otro lado, la presencia de infraestructura humana en el interior del continente imposibilita su migración terrestre (Fig. 1) (Cortés López 2017). La compresión costera

ha sido estudiada por las afectaciones que ocasiona al turismo, debido a que la degradación de los ecosistemas provoca una pérdida de espacios recreativos y atractivos escénicos. En un estudio realizado por Lithgow *et al.* (2019) se encontró que un 62% de los destinos turísticos ubicados entre el Golfo de México y la península de Yucatán se ven afectados por este fenómeno, principalmente en la Riviera Maya. La realidad es que prácticamente no

existe información sobre la migración terrestre y la compresión costera que enfrentan los manglares en México. Además, en el caso de la península, la combinación de factores naturales y antropogénicos juegan un papel importante que incrementa la vulnerabilidad de los manglares ante el aumento del nivel del mar (Fig. 2) (Martínez-Rivera *et al.* 2020).



Figura 2. Sabanas de K'oxol-ak (*Spartina spartinae* (Trin.) Merr.) y mangle botoncillo peninsular (*Conocarpus erectus* var. *sericeus* DC.) al norte de Chicxulub Pueblo, Yucatán. El área corresponde a una zona de migración terrestre de manglares, una región susceptible a las actividades de aprovechamiento. (Fotografía: Francisco Guerra Martínez).

El caso de compresión en la península de Yucatán

Para evaluar el impacto que tiene la compresión costera sobre los manglares en la Península de Yucatán, realizamos un análisis espacial en el que se utilizó la siguiente información geográfica: 1) el Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares 2020 (CONABIO 2021), 2) la Red Nacional de Caminos (INEGI 2018) y 3) el Continuo de Elevaciones Mexicano (INEGI 2015). En primer lugar, se delimitó el área de estudio en la península a partir del área de distribución

de manglares del mapa de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); después se extrajeron las redes de caminos y las áreas urbanas; y a partir del Continuo de elevaciones mexicano —modelo usado para analizar el relieve terrestre de México— se generó un área de elevaciones de hasta 1 metro sobre el nivel del mar (msnm). Se sobrepusieron los tres mapas obtenidos: 1) el área de distribución de manglares, 2) buffer —área de influencia— de 5 km de proximidad entre la red de caminos, y 3) las áreas con una elevación de hasta 1 msnm. En las

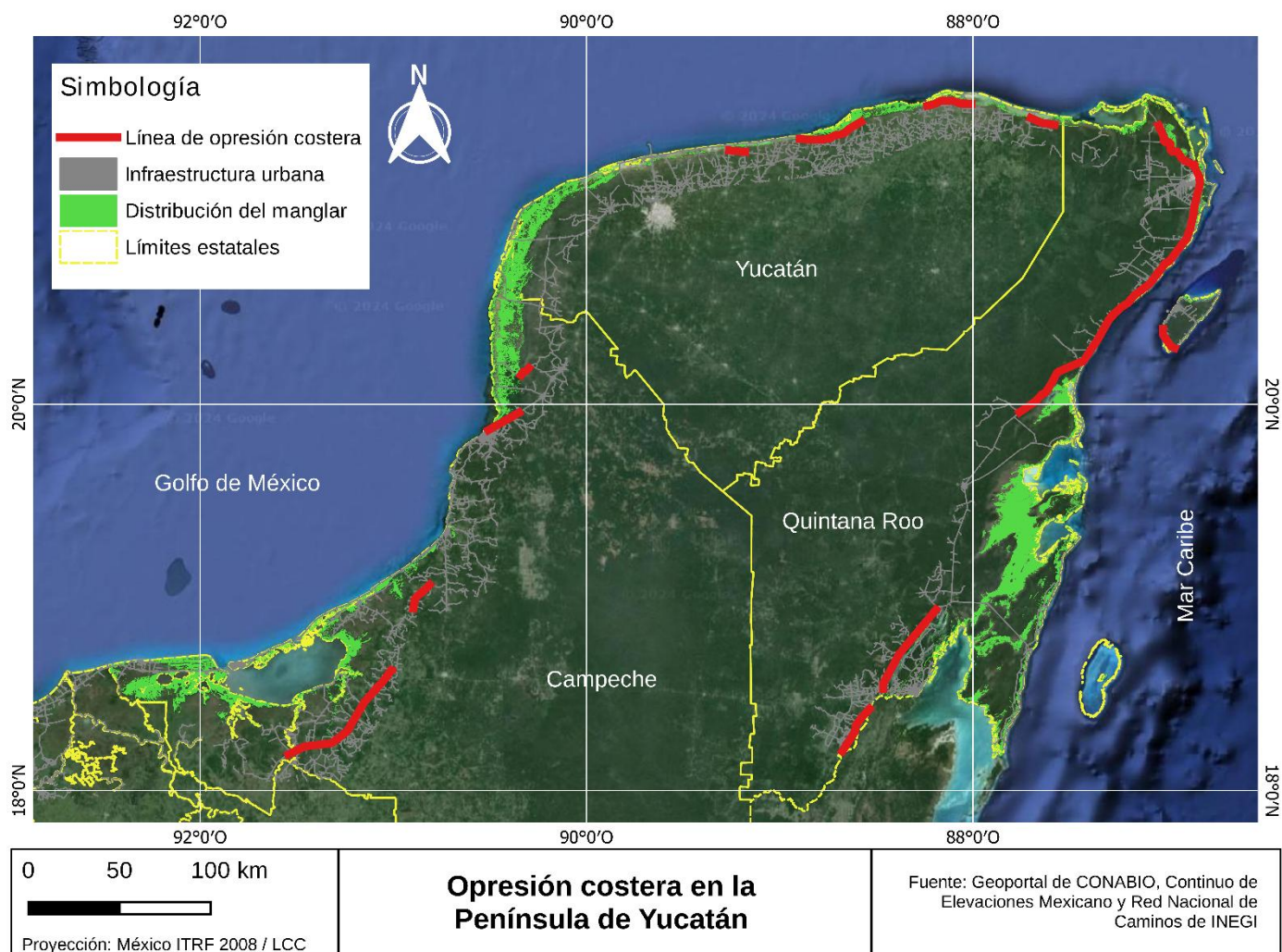


Figura 3. Mapa de compresión costera de los manglares en la península de Yucatán. Destacan las líneas de compresión donde confluyen la distribución de manglares y la infraestructura humana. (Imagen elaborada por Paola Sánchez y Francisco Guerra)

áreas donde existió una sobreposición de estas variables se generó una línea de compresión costera.

Como resultado se observó que la línea de compresión costera es de 518 km, esta área representa el potencial de impedimento para la migración terrestre de los manglares en la península (Guerra-Martínez & Rioja-Nieto 2026). El estado de Quintana Roo es el más afectado, seguido de Campeche y por último Yucatán (Fig. 3). Considerando que, aproximadamente 1,400 km de línea de costa en la península tienen presencia de manglares, prácticamente una tercera parte de los manglares podría ver limitada su migración natural a causa de la compresión costera. Esto en el escenario de mayor impacto de aumento en el nivel del mar (1 metro)

por el cambio climático para el año 2100 considerado por el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

Conclusiones

Las actividades humanas como el crecimiento urbano acelerado por la actividad turística, así como la construcción de carreteras que modifican el flujo hidrológico requerido por los manglares se consideran los principales factores que promueven la compresión costera. Para reducir la compresión costera es necesario que se realicen y apliquen correctamente programas de ordenamiento ecológico donde se incluyan los posibles escenarios del cambio ambiental y las áreas proyectadas para la

migración de los manglares. Es necesario generar medidas de mitigación y adaptación como la restauración y rehabilitación ecosistemas costeros, así como la adaptación y reubicación de infraestructura humana, condiciones que aumenten la resiliencia ecológica de los manglares y mantengan los servicios ecosistémicos que proporcionan.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación UNAM-DGAPA-PAPIME PE303822.

Referencias

- CONABIO 2021.** Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Región Península de Yucatán (2020), escala: 1:50000. edición: 1. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM). http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/mx_oc2020gw.html
- Cortés López L. 2017.** Desarrollo de un índice de riesgo sobre compresión costera en el centro-norte del estado de Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/85024>
- Durán-García R., Méndez-González M., Larqué-Saavedra A. 2017.** The biodiversity of the Yucatan Peninsula: a natural laboratory. *Progress in Botany* 78: 237-258. https://doi.org/10.1007/124_2016_8
- Fernández-Díaz V.Z., Canul Turrisa R.A., Kuc Castilla A., Hinojosa-Huerta O. 2022.** Loss of coastal ecosystem services in Mexico: An approach to economic valuation in the face of sea level rise. *Frontiers in Marine Science* 9: 898904. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.898904>
- Guerra-Martínez F., Rioja-Nieto R. 2026.** Mangrove landward migration in the Yucatan Peninsula between 1984 and 2024. *Regional Environmental Change* 26(2): 113. <https://doi.org/10.1007/s10113-026-02598-8>
- INEGI 2015.** Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (Consultado 15 Agosto 2023). <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI 2018.** Red Vial. Red Nacional de Caminos (RNC) escala: 1:50000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (Consultado 15 Agosto 2023). <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463674641>
- Lithgow D., Martínez M.L., Gallego-Fernández J.B., Silva R., Ramírez-Vargas D.L. 2019.** Exploring the co-occurrence between coastal squeeze and coastal tourism in a changing climate and its consequences. *Tourism Management* 74: 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.02.005>
- Martínez-Rivera W., Ordaz-Hernández A., Garatachia-Ramírez J.C. 2020.** Evolución de la línea de costa de la península de Yucatán entre 1980 y 2019: potencial fuente de riesgo socionatural. *Minería y Geología* 36(4): 404-427. <https://www.redalyc.org/journal/2235/223564388004/223564388004.pdf>
- Osland MJ, Feher LC, López-Portillo J, Day RH, Suman DO, Guzmán Menéndez JM, Rivera-Monroy VH. 2018.** Mangrove forests in a rapidly changing world: global change impacts and conservation opportunities along the Gulf of Mexico coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 214: 120-140. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.09.006>
- Velázquez-Salazar S., Rodríguez-Zúñiga M.T., Alcántara-Maya J.A., Villeda-Chávez E., Valderrama-Landeros L., Troche-Souza C., Vázquez Balderas B., Pérez Espinosa I., Cruz López M.I., ... Muñoa Coutiño J.H. 2021.** *Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México, México. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/15638.pdf>
- Yáñez-Arancibia A., Day J.W., Twilley R.R., Day R.H. 2014.** Manglares: ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. *Madera y bosques* 20(SPE): 39-75. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000500003

Dos pájaros de un tiro: el nitrógeno en la nutrición y en la defensa de las plantas

Adriana Chacón-López, Oscar Alberto Moreno-Valenzuela* e Ileana Echevarría-Machado

Unidad de Biología Integrativa, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34. Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

*oamv@cicy.mx

Resumen

La fertilización (nutrición mineral o comida para las plantas) es importante para el desarrollo de los cultivos agrícolas, pero su uso exagerado ha generado problemas ambientales y de salud. La nutrición nitrogenada es importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas y también en la defensa vegetal contra patógenos. La aplicación de fertilizantes nitrogenados interviene de manera variable en la respuesta de las plantas antes las infecciones por patógenos, por lo que es importante comprender las interacciones entre la fertilización, el cultivo y el patógeno para poder determinar una fertilización óptima que mejore el rendimiento agrícola sustentable y, a la vez, establezca inmunidad en las plantas.

Palabras clave: Contaminación, fertilizantes, nutrientes, patógenos, sustentabilidad.

Si hablamos de nutrición nitrogenada en las plantas y la defensa contra enfermedades, primero preguntémonos ¿por qué es importante el Nitrógeno (N) para las plantas? Además de ser uno de los elementos más abundantes en la Tierra, el N es uno de los elementos esenciales para el creci-

miento, desarrollo y funcionamiento de los organismos vivos; está involucrado en procesos importantes como la formación de proteínas y aminoácidos, moléculas clave para la vida de todo ser vivo. En la industria agrícola, el N es muy utilizado como fertilizante para mejorar la producción de los cultivos y satisfacer las necesidades alimentarias de la población. El uso de los fertilizantes nitrogenados puede ser eficiente para alimentar a las plantas, pero también puede ser malo para el medio ambiente cuando se emplean de manera exagerada, lo que puede provocar problemas de contaminación ambiental (contaminación atmosférica, en suelos y en sistemas hídricos) y de salud (McGrath *et al.* 2014, Martínez-Dalmau *et al.* 2021).

¿Qué sucede con el Nitrógeno en el ambiente y en las plantas?

Durante el ciclo del N (i.e., la forma como circula este elemento en el ambiente) se llevan a cabo diferentes procesos (Fig. 1), en dónde intervienen varias enzimas (i.e., proteínas que transforman diferentes productos) y microorganismos del suelo, que lo vuelven disponible para las plantas. De esa manera se mantiene un flujo de este nutriente en

CICLO DEL NITRÓGENO

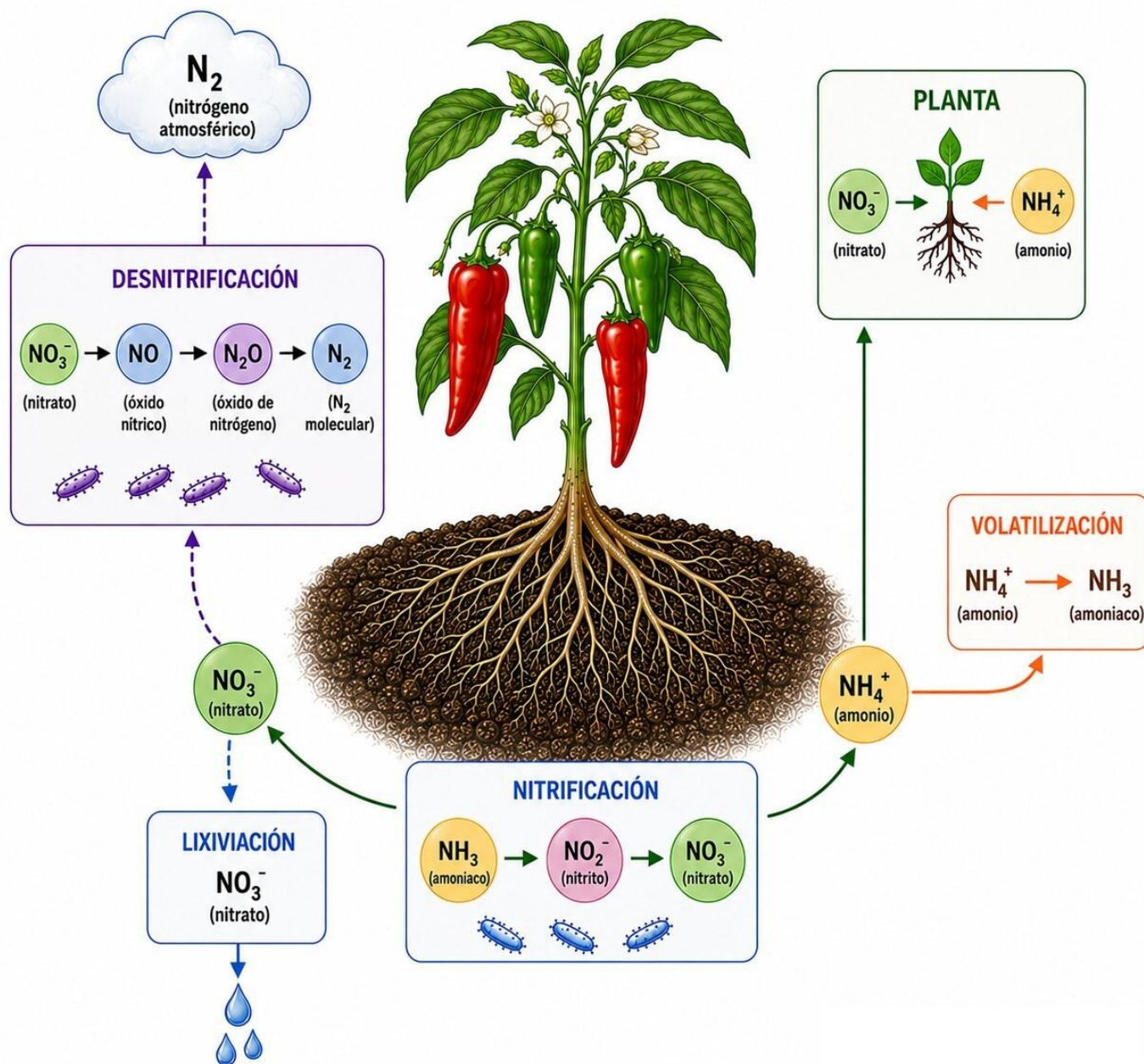


Figura 1. Ciclo del nitrógeno. (Ilustración: Adriana Chacón López utilizando OpenAI, ChatGPT Plus).

tre las plantas, la atmósfera y los suelos. En el proceso de nitrificación se convierte el amoníaco (NH_3) a nitrato (NO_3^-) por medio de enzimas presentes en los microorganismos del suelo. Otros microorganismos llevan a cabo el proceso enzimático de forma inversa, lo que se llama desnitrificación, en donde se convierte el nitrato a óxido nítrico

(NO), óxido de N (N_2O) y N molecular (N_2). O sea, que el N se puede convertir en amonio y nitrato para ser tomado por las plantas, pero también el amonio y el nitrato pueden convertirse de nuevo en N. Otro proceso en el que se ve envuelto el N es la volatilización, la cual ocurre cuando el amonio (NH_4^+) pierde parte de sus átomos (los protones). Por otro lado, el nitrato se pierde del suelo

al infiltrarse en el suelo, hasta llegar al manto freático (agua subterránea) (Coskun *et al.* 2017). De esta manera, el N regresa nuevamente a la atmósfera y al manto freático, respectivamente. El nitrato y el amonio son las formas inorgánicas del N más disponibles para las plantas y son absorbidas por las raíces a través de proteínas transportadoras específicas presentes en ellas. Cuando el nitrato entra en las raíces puede ser asimilado, movido hacia la parte aérea de la planta, almacenado en las vacuolas de raíces y hojas o puede regresar de nuevo al suelo; mientras que el único destino del amonio es ser asimilado en las raíces y ya dentro de las células se convierte en aminoácidos.

En nuestro equipo de trabajo realizamos un experimento con chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq. var. Jaguar) cultivando las plantas en hidroponía. Las sometimos a dos concentraciones de N total (1.25 mM y 5 mM) en diferentes proporciones de nitrato: amonio (100:0 %, 80:20% y 50:50%, respectivamente) y observamos que, en los tratamientos con mayor concentración de N (5 mM), las plantas presentaron los valores más elevados de peso aéreo (peso del tallo y hojas), peso radical (peso de raíces) y altura del tallo. En cuanto a los porcentajes de nitrato:amonio, los valores menores se observaron en los tratamientos que contenían 50% de nitrato y 50 % de amonio. Las plantas que crecieron en los porcentajes de nitrato:amonio al 100% y 80:20%, no presentaron diferencia y concluimos que para el caso de chile habanero en nuestro sistema de estudio fue mejor la nutrición combinada en 80:20% de nitrato:amonio (Fig. 2).

Nuestra siguiente pregunta es ¿Qué papel juega el Nitrógeno en la defensa de las plantas?

Además de contribuir al crecimiento y al desarrollo de las plantas, la nutrición nitrogenada también ayuda a la defensa contra el ataque de organismos



Figura 2. Nutrición nitrogenada en chile habanero. Plantas de chile habanero cultivadas en hidroponía con diferentes concentraciones totales de nitrógeno y diferentes relaciones de nitrato amonio. **A.** Plantas de chile habanero con una relación de 100:00 de nitrato:amonio. **B.** Plantas de chile habanero con una relación de 80:20 de nitrato:amonio. **C.** Plantas de chile habanero con una relación de 50:50 de nitrato:amonio. (Fotografías: Adriana Chacón López).

malos para las plantas, como insectos, plagas y patógenos como hongos, bacterias y virus, que causan enfermedades. El sistema de defensa de las plantas provoca una respuesta contra los organismos invasores y desencadena una serie de reacciones activadas por hormonas vegetales, como el ácido salicílico (AS), el ácido jasmónico (AJ) o el etileno (ET). Cuando la defensa es activada por el AS, se conoce como Resistencia Sistémica Adquirida (SAR) y cuando la defensa es activada por las hormonas AJ y ET se denomina Resistencia Sistémica Inducida (ISR). La respuesta de la planta para defenderse depende de varios factores, entre ellos, el tipo de organismo que dañe o enferme la planta, la acumulación de hormonas vegetales, la condición ambiental (disponibilidad de agua, luz, suelo), la nutrición mineral (nutriente, concentración y forma del nutriente, etc.) y el tipo de cultivo (Spann *et al.* 2010, Verly *et al.* 2020).

Se ha observado que no existe una regla absoluta en la respuesta de defensa inducida por N y que influyen factores como la forma y cantidad de administrarlo (solo nitrato, solo amonio o juntos), el tipo de patógeno, el tipo de cultivo y el ambiente.

Por ejemplo, en la Tabla 1 podemos observar algunos estudios relacionados con la nutrición nitrogenada en la defensa de tomate contra hongos y bacterias; para un caso fue mejor el nitrato y en otro

estudio fue mejor el amonio. En cuanto a la nutrición nitrogenada en la defensa de las plantas, los procesos aún no son claros y del todo comprendidos.

Tabla 1. La nutrición nitrogenada en la defensa contra patógenos.

PATÓGENO	HOSPEDERO	FORMA NITROGENADA	RESPUESTA	REFERENCIA
<i>Pseudomonas syringae</i> (bacteria)	Tomate	Amonio	Reduce la enfermedad	Fernández-Crespo <i>et al.</i> 2015
<i>Ralstonia solanacearum</i> (bacteria)	Tomate	Nitrato	Reduce la enfermedad y el crecimiento bacteriano	Ding <i>et al.</i> 2021
<i>Botrytis cinerea</i> (hongo)	Tomate	Nitrato	Reduce el número de esporas en hojas y tallos	Ali <i>et al.</i> 2013

En esta revisión abordamos la importancia de comprender y estudiar estos fenómenos desde dos perspectivas:

1. El uso de los fertilizantes nitrogenados para una mayor y eficiente producción agrícola sustentable.
2. La nutrición nitrogenada en la defensa de las plantas ante el ataque de los organismos patógenos.

En ambos puntos, la meta es mejorar la producción de los cultivos y que sea ambientalmente sustentable, así como evitar las pérdidas en la producción debido a las enfermedades y plagas. Por eso, es necesario establecer una fertilización óptima que cumpla con los requerimientos nutrimentales de las plantas, que sea eficiente, que no se desperdicie ni que su exceso genere problemas ambientales y que logre activar el sistema de defensa de las plantas ante algún organismo dañino. Muchas veces pensamos que “mientras más, mejor” pero ¿será realmente cierto? Después de esta revisión

pensarás que al fertilizar con Nitrógeno ¿se pueden matar dos pájaros de un tiro?

Referencias

Ali S., Ganai B.A., Kamili A.N., Bhat A.A., Mir Z.A., Bhat J.A., Myr Z.A., Bhat J.A., Tyagi A., Mushtaq M., ... Grover A. 2018. Pathogenesis-related proteins and peptides as promising tools for engineering plants with multiple stress tolerance. *Microbiological Research* 212–213 (April): 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.04.008>

Coskun D., Britto D.T., Shi W., Kronzucker H.J. 2017. Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition. *Nature Plants* 3(6): 17074. <https://doi.org/10.1038/nplants.2017.74>

Ding S., Shao X., Li J., Ahammed G.J., Yao Y., Ding J., Hu Z., Yu J., Shi K. 2021. Nitrogen forms and metabolism affect plant defence to foliar and root pathogens in tomato. *Plant, Cell & Environment* 44(5): 1596–1610. <https://doi.org/10.1111/pce.14019>

Fernández-Crespo E., Scalschi L., Llorens E., García-Agustín P., Camañes G. 2015. NH₄⁺ protects tomato plants against *Pseudomonas syringae* by activation of systemic acquired acclimation. *Journal of Experimental Botany* 66(21): 6777–6790.

<https://doi.org/10.1093/jxb/erv382>

Martínez-Dalmau J., Berbel J., Ordóñez-Fernández R. 2021. Nitrogen fertilization. A review of the risks associated with the inefficiency of its use and policy responses. *Sustainability* 13(10): 5625.

<https://doi.org/10.3390/su13105625>

McGrath J.M., Spargo J., Penn C.J. 2014. Soil fertility and plant nutrition. En: N. Van Alfen (Ed.), *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Elsevier (Vol. 5, pp. 166–184).

<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-525123.00249-7>

Spann T.M., Schumann A.W. 2010. Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance: HS1181/HS1181. *EDIS* 2010 (4): 7/2010

<https://doi.org/10.32473/edis-hs1181-2010>

Verly C., Djoman A.C.R., Rigault M., Giraud F., Rajjou L., Saint-Macary M.-E., Dellagi A. 2020. Plant defense stimulator mediated defense activation is affected by nitrate fertilization and developmental stage in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science* 11: 583.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00583>

Próximo número

Aquí les damos un adelanto de los ensayos que aparecerán en nuestro número de noviembre.

Raíces nuevas para un fruto viajero: el kiwi en México

Emiliano Rodríguez González, Erika Segundo De Jesús y Elizabeth Chávez-García

Resumen. El kiwi (*Actinidia deliciosa*) es una planta nativa de las montañas en torno al río Yang-Tse-Kiang en China. En 1845 se documentó por primera vez la presencia de esta especie en Europa, y a principios del siglo XX se introdujeron las primeras plantas en Nueva Zelanda, donde se inició su domesticación y cultivo extensivo. A partir de los años 80 la superficie plantada y la producción de kiwi a nivel mundial experimentó un aumento significativo por primera vez, llegando a lugares inesperados como México.

Evolución de la sociabilidad y la cooperación en las abejas

Alejandro Pérez Morfi y José Carlos Tapia Rivera

Resumen. Las abejas comprenden un grupo de insectos con una notable diversidad en tamaño, coloración, hábitats y estructuras sociales. Su espectro de sociabilidad abarca desde especies completamente solitarias hasta sociedades complejas o eusociales, y todas estas formas derivan del cuidado parental y de la cooperación entre hembras. En la mayoría de los casos, las abejas organizan su vida en torno a vínculos de colaboración entre hermanas o compañeras de nido, mientras que los machos suelen desempeñar únicamente funciones reproductivas. Más que un rasgo fijo, la sociabilidad en las abejas constituye un continuo evolutivo que va desde especies completamente solitarias hasta sistemas altamente cooperativos. A lo largo de este recorrido, el presente artículo explora las distintas formas de cooperación presentes en las abejas, destacando que estas interacciones no surgen de decisiones conscientes ni de posicionamientos éticos, sino de procesos evolutivos que han favorecido la cooperación entre individuos a lo largo del tiempo.

El tepozán (*Buddleja cordata*): el valor de una especie ignorada

Alexis Josué Sánchez-Lara, Carmen Zepeda-Gómez, Hugo López-Camarillo y Armando Sunny

Resumen. El tepozán (*Buddleja cordata*) es un arbusto o árbol nativo ampliamente distribuido en México, con una larga tradición de uso en la medicina tradicional y potencial farmacológico y ecológico aún subutilizado. Este ensayo sintetiza evidencia etnobotánica, biotecnológica y ecológica que documentan su uso tradicional para tratar diferentes afecciones, su potencial como productor de compuestos bioactivos y sus atributos como especie para restaurar ecosistemas degradados. Esta revisión demuestra que se trata de una especie con alto potencial medicinal, biotecnológico y ecológico que ha sido insuficientemente estudiado y poco aprovechado en programas de manejo ambiental.

Agroecología: cultivar alimentos cuidando la vida

Mariana Chávez Pesqueira y Luz María Calvo Irabien

Resumen. En un contexto de cambio climático y pérdida de biodiversidad, la agroecología propone transformar la manera en que producimos los alimentos. Este enfoque integra conocimientos ecológicos y sociales para diseñar sistemas agrícolas sostenibles, entendiendo los cultivos como sistemas vivos en interacción con su entorno. Aunque el término se difundió en los años 80 como respuesta a la agricultura industrial, sus raíces provienen de prácticas tradicionales de comunidades campesinas e indígenas, como la milpa. Hoy, la agroecología es ciencia, práctica y movimiento social, pues promueve la soberanía alimentaria, la equidad y el fortalecimiento de los sistemas alimentarios locales. La agroecología representa una alternativa para producir alimentos de manera ecológicamente sostenible y socialmente justa.

Las puertas del nitrógeno en las plantas: mucho más que simples vías de nutrición vegetal

Federico García Laynes, Fabiola G. León García, Ruth Márquez López, Manuel Martínez Estevez e Ileana Echevarría Machado

Resumen: El crecimiento y desarrollo de las plantas dependen de un suministro constante de nutrientes minerales, entre los cuales el nitrógeno destaca por su impacto en la productividad agrícola. Debido a su baja disponibilidad en la mayoría de los suelos, este nutriente es uno de los principales factores limitantes. Su incorporación en las plantas ocurre mediante proteínas especializadas llamadas transportadores de nitrato, que actúan como puertas de entrada y regulan su absorción, transporte y redistribución. Más allá de la nutrición, estos transportadores participan en procesos fisiológicos clave, como el rendimiento y la maduración de frutos, que son importantes para la agricultura.

¿Qué comemos cuando comemos?

Manuel J. Cach-Pérez, María G. Carrillo-Galván, Nadia A. Pelallo Martínez e Itandehui Castro Quezada

Resumen. Comer representa identidad y cultura, pero algunos alimentos industrializados están desplazando la dieta tradicional en México. Estos productos, pobres en nutrientes, pueden incrementar el riesgo de enfermedades como obesidad, hipertensión y diabetes. Para recuperar el bienestar, es esencial retomar patrones de alimentación como la dieta de la milpa, donde el frijol provee proteína, el maíz nixtamalizado aporta carbohidratos, fibra y calcio, y la calabaza brinda grasas y antioxidantes clave. Revalorizar estos ingredientes ancestrales protege nuestra salud y ayuda a conservar nuestro patrimonio biocultural.