

# Agro-Divulgación

Año 4 • Volumen 4 • Número 6 •  
noviembre-diciembre, 2024

La nanociencia: Síntesis, aplicación  
agrícola e impacto ambiental **11**

Caracterización fitoquímica de un híbrido  
de chayote (*Sechium H387 07*) y sus  
segregantes **19**

Determinación del origen botánico de  
mieles de Tlaxcala, México **25**

Efecto de la melatonina en el crecimiento  
de plantas de jitomate y maíz **31**

Estimación de la fecundidad en árboles de  
alta montaña con el empleo de vehículos  
aéreos no tripulados o drones **35**

Firmeza, sólidos solubles totales y potencial  
osmótico de hojas de siete especies de  
maguey con riego y sin riego **39**

Hongos fitopatógenos asociados a  
malezas: una fuente para el desarrollo de  
bioherbicidas **49**

y más artículos de interés...

Agenda de  
investigación-innovación  
en la captura de carbono en

**masas  
forestales**

página 127




Colegio de  
Postgraduados


# Contenido

Año 4 • Volumen 4 • Número 6 • noviembre-diciembre, 2024


<b>Editorial</b>	<b>1</b>
Semblanza del Programa de Posgrado en Botánica	3
<b>Casos de éxito</b>	
La nanociencia: Síntesis, aplicación agrícola e impacto ambiental	11
Caracterización fitoquímica de un híbrido de chayote ( <i>Sechium</i> H387 07) y sus segregantes	19
Determinación del origen botánico de mieles de Tlaxcala, México	25
Efecto de la melatonina en el crecimiento de plantas de jitomate y maíz	31
Estimación de la fecundidad en árboles de alta montaña con el empleo de vehículos aéreos no tripulados o drones	35
Firmeza, sólidos solubles totales y potencial osmótico de hojas de siete especies de maguey con riego y sin riego	39
Hongos fitopatógenos asociados a malezas: una fuente para el desarrollo de bioherbicidas	49
Importancia del trabajo taxonómico en el conocimiento y aprovechamiento de plantas con potencial agroalimentario	53
Variación de metabolitos especializados en hojas de <i>Moringa oleifera</i> Lam. por efecto del estrés hídrico	61
Conservación <i>ex situ</i> del recurso genético de achiote ( <i>Bixa orellana</i> L.) en San Juan Comaltepec, Oaxaca	71
Perfil fitoquímico de nopalitos cultivados y silvestres	75
Permeabilidad de las membranas celulares de hojas de maguey ( <i>Agave</i> spp.) y su relación con la especie y humedad del suelo	81
Tolerancia de la progenie de frijol silvestre y domesticado a temperaturas extremas	89
Calidad postcosecha de tuna partenocárpica con pericarpelo comestible	101
Análisis sobre estudios de la vegetación de dunas costeras en la Península de Yucatán	105
Transferencia de tecnología a los productores de <i>Bixa orellana</i> en San Juan Comaltepec, Oaxaca	111
Transición agroecológica del cultivo de maracuyá ( <i>Passiflora edulis flavicarpa</i> ) en el estado de Veracruz	115
Nanasoup, sopa deshidratada a base de hongo seta ( <i>Pleurotus ostreatus</i> ) como alternativa de valor agregado	119
Impregnación de semillas con nanomateriales metálicos de óxido de Zn	123
Agenda de investigación-innovación en la captura de carbono en masas forestales	127

## Comité Científico

Dr. Said Infante Gil  
Colegio de Postgraduados  
México  
 0000-0001-9127-2033

Dr. Juan Francisco Aguirre Medina  
Universidad Autónoma de Chiapas  
México  
 0000-0002-8269-7854

Dr. José Luis Yagüe Blanco  
Universidad Politécnica de Madrid  
España  
 0000-0002-7751-8436

Dr. Pedro Cadena Iñiguez  
INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias)  
México  
 0000-0002-9726-8972

Dra. Libia Iris Trejo Téllez  
Colegio de Postgraduados, México  
México  
 0000-0001-8496-2095

## Comité Editorial

Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza - Editora en Jefe  
Dr. Jorge Cadena Iñiguez - Fundador de la revista  
Dr. Carlos Hugo Avendaño Arrazate - Editor Adjunto  
Lic. BLS. Moisés Quintana Arévalo - Cosechador de metadatos  
M.C. Valeria Abigail Martínez Sias - Diagramador  
M.C. Erika de la Rosa Esquivel - Diseñador  
M.A. Ana Luisa Mejía Sandoval - Asistente



## Agro-Divulgación

Bases de datos de contenido científico






Agro-Divulgación. Revista impresa de la Editorial del Colegio de Postgraduados, Año 4, Volumen 4, Número 6, noviembre-diciembre 2024. Es una publicación bimestral editada por el Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56264. Tel. 5959284427. <https://agrodivulgacion-colpos.org/index.php/lagrodivulgacion1/index>. Editor responsable: Dr. Jorge Cadena Iñiguez. Reservas de derechos al uso exclusivo núm. 04-2022-080811045100-102. ISSN: 2954-4483, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización: M.C. Valeria Abigail Martínez Sias. Fecha de última modificación, 12 de diciembre de 2024. El tiraje consta de 500 ejemplares.




Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Colegio de Postgraduados, de la Editorial del Colegio de Postgraduados, ni del Editor de la publicación.

### Contacto principal

 Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza  
 Guerrero 9, esquina avenida Hidalgo,  
C.P. 56220, San Luis Huexotla, Texcoco,  
Estado de México.  
 [larevalo@colpos.mx](mailto:larevalo@colpos.mx)

### Contacto de soporte

 Soporte  
 5959284703  
 [martinez.valeria@colpos.mx](mailto:martinez.valeria@colpos.mx)

## Directrices para Autoras y Autores

- Naturaleza de los trabajos:** Las contribuciones que se reciban en la revista **Agro-Divulgación** deben ser resultados originales derivados de un trabajo académico de alto nivel sobre los tópicos presentados en la sección de temática y alcance de la revista, la escritura debe ser clara y concisa. Se reciben caso de éxito derivados de la transferencia tecnológica de resultados de investigación ( $I+D+i$ ), desarrollo de nuevas variedades vegetales, desarrollos tecnológicos, patentes, modelos de utilidad, modelos de intervención social (estudios de género, migración, desarrollo rural, psicología social, etc.) de manejo y conservación de recursos naturales, modelos de asociación, organización, comercialización e innovaciones entre otros principales temas que hayan sido adoptados por la sociedad.
- Extensión y formato:** Los artículos deberán estar escritos en archivo editable word.doc o .docx, no se aceptan pdfs ni documentos con candados; con una extensión de 3 a 5 cuartillas máximo para los casos de éxito y de 5 a 10 cuartillas para artículos de divulgación *in extenso*, tamaño carta con márgenes de 2.5 centímetros, Arial de 12 puntos, interlineado doble, sin espacio entre párrafos. Las páginas deberán estar foliadas desde la primera hasta la última en el margen inferior derecho. La extensión total incluye abordaje textual cuadros, figuras, imágenes y todo material adicional. Debe evitarse el uso de sangría al inicio de los párrafos. Las secciones principales del artículo deberán escribirse en mayúsculas, negritas y alineadas a la izquierda. Los subtítulos de las secciones se escribirán con mayúsculas sólo la primera letra, negritas y alineadas a la izquierda.
- Exclusividad:** Los trabajos enviados a **Agro-Divulgación** deberán ser inéditos y sus autores se comprometen a no someterlos simultáneamente a la consideración de otras publicaciones.
- Idiomas de publicación:** Se recibirán textos en español con títulos y contenido en idioma español. Las publicaciones se harán en idioma español.

5. **ID de las y los Autores:** El nombre de los autores se escribirán comenzando con el apellido o apellidos unidos por guion, el primer nombre de pila completo y el segundo (en caso de haberlo) sólo con la inicial mayúscula seguida de punto, separados por comas, con un índice progresivo en su caso. Los nombres de los diferentes autores quedarán separados por puntos y comas (;). Es indispensable que todos y cada uno de los autores proporcionen su número de identificador normalizado ORCID, para mayor información ingresar a [orcid.org](http://orcid.org)
6. **Institución de adscripción:** Es indispensable señalar la institución de adscripción y país de todos y cada uno de los autores, indicando exclusivamente la institución de primer nivel, sin recurrir al uso de siglas o acrónimos. En todo caso, incluir población, municipio, estado y país del lugar de adscripción institucional. Al final del país, seguido de las letras C.P., incluir el código postal.
7. **Estructura:** En el texto principal (separado de la página de presentación), los elementos que se deben incluir son: título, resumen y abstract, problema, solución, evidencias gráficas o tablas de resultados, impactos e indicadores (no incluir bibliografía ni agradecimientos).
8. **Título:** Debe ser breve y reflejar claramente el contenido. Cuando se incluyan nombres científicos deben escribirse en *itálicas*. No deberá contener abreviaturas ni exceder de 15 palabras. Se escribirá en Altas y bajas (mayúsculas y minúsculas) como una oración normal. Deberá estar escrito en negritas, centrado y no llevará punto final.
9. **Problema:** Se escribirá el problema, su importancia y limitaciones que genera hacia la sociedad o determinado sector de ésta. Asentará con claridad el estado actual del problema justificando brevemente la investigación realizada. No deberá ser mayor a media cuartilla.
10. **Solución:** Se especificará como se desarrolló la solución, incluyendo el tipo de investigación (laboratorio, campo, experimental, participativa, etc.).
11. **Impactos e indicadores:** Son de acuerdo con indicadores de políticas públicas. Se presentan en una sola sección en forma de cuadro, presentando la innovación, el impacto que se tuvo, un indicador general y específico. Deben ser puntuales, claras y concisas, y no deben llevar discusión, haciendo hincapié en los aspectos nuevos e importantes de los resultados obtenidos y que establezcan los parámetros finales de lo observado en el estudio (**Véase ejemplo en la siguiente página**).
12. **Cuadros:** Deben ser claros, simples y conciso. Se ubicarán inmediatamente después del primer párrafo en el que se mencionen o al inicio de la siguiente cuartilla. Los cuadros deben numerarse progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Cuadro 1. Título), y se colocarán en la parte superior. Al pie del cuadro se incluirán las aclaraciones a las que se hace mención mediante un índice en el texto incluido en el cuadro. Se recomienda que los cuadros y ecuaciones se preparen con el editor de tablas y ecuaciones del procesador de textos, evitar enviar cuadros como imágenes. En la versión en español, evitar usar la palabra “Tabla” en lugar de “Cuadro”. Los cuadros deberán contener toda información necesaria para explicarse por sí solos, si se les extrae del artículo.
13. **Uso de siglas y acrónimos:** Para el uso de acrónimos y siglas en el texto, la primera vez que se mencionen, se recomienda escribir el nombre completo al que corresponde y enseguida colocar la sigla entre paréntesis. Ejemplo: Petróleos Mexicanos (Pemex); después sólo Pemex.
14. **Nombres científicos:** Al igual que en el caso anterior, la primera vez que se mencione una especie, se recomienda escribir el nombre común seguido del nombre científico y la abreviatura o inicial del clasificador, entre paréntesis. Ejemplo: tomate (*Solanum lycopersicum* L.); después sólo tomate. En todo caso, se deberán apegar a las normas actuales de clasificación taxonómica de especies.
15. **Elementos gráficos:** Corresponden a dibujos, gráficas, diagramas y fotografías. Deben ser claros, simples y concisos. Se ubicarán inmediatamente después del primer párrafo en el que se mencionen o al inicio de la siguiente cuartilla. Las figuras deben numerarse progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Figura 1. Título), y se colocarán en la parte inferior. Las fotografías deben ser de preferencia a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPG, TIF, PNG o RAW. Las gráficas o diagramas serán en formato de vectores (CDR, EPS, AI, WMF o XLS). El autor deberá enviar dos fotografías adicionales para ilustrar la página inicial de su contribución. Las figuras deberán contener toda información necesaria para explicarse por sí solas, si se les extrae del artículo.
16. **Unidades.** Las unidades de pesos y medidas usadas serán las aceptadas en el Sistema Internacional.

## Impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
<b>Incremental</b>	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Asociaciones de Productores	<b>Primario:</b> Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería  <b>Secundario:</b> Actividades económicas que transforman las materias primas en productos elaborados (Agroindustria)  <b>Terciario:</b> Servicios que se prestan a la sociedad: Comercio, Transporte, Educación, Ocio, etc.  <b>Cuaternario:</b> Servicios basados en el conocimiento que prestan industrias de las Tecnologías de Información y comunicación, de consultoría empresarial, de planificación financiera, de informática y de investigación científica.  Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)	Social	Ciencia y Tecnología	Competitividad	Registro solicitado y concedido
<b>Procesos</b>	Implementación de una nueva o significativa mejora de un método de producción o de suministro	Gobierno de los Estados		Económico	Económico	Recursos Humanos	Certificaciones
<b>Servicios</b>	Cambia el concepto de un servicio, canal de interacción con el cliente, sistema de prestación de servicios, o conceptos tecnológicos que, de forma individual, pero muy posiblemente en combinación, conduce a una o más funciones renovadas o totalmente nuevas de servicio	Productores independientes		Ambiental Conocimiento	Educación	Comercio	Patentes solicitadas y concedidas
		Comunidades Agrarias		Uno, o la combinación de dos o más de las opciones anteriores	Responsabilidad Ambiental	Generación de empleos	Numero de tesis
		Poblaciones en particular			Salud Pública	Capacitación	Número de egresados (Lic. M.C., D.C.)
		Zonas turísticas			Uno o la combinación de dos o más de las opciones anteriores	Finanzas Públicas	Número de publicaciones
		Etc.				Uno o combinación de dos o más de las opciones anteriores	Número de familias beneficiadas
<b>Modelo de negocio</b>	Creación o reinención de un negocio						Empresas rurales formadas
<b>Innovación sostenible</b>	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible						Empresas formadas
<b>Innovación frugal</b>	Hacer más con menos. Idear estrategias de bajo costo para sortear las complejidades institucionales o limitaciones de recursos, conseguir innovar, desarrollar y entregar productos y servicios a los usuarios de bajos ingresos con poco poder adquisitivo						Transferencias tecnológicas
<b>Innovación de código abierto</b>	Filosofía o metodología pragmática que promueve la redistribución libre y el acceso al diseño final de un producto y los detalles de su implementación					Desarrollo de productos y servicios para la sociedad	
<b>A través de experiencias</b>	Crean experiencias holísticas a través de la participación emocional de sus consumidores					Exportación incremento (%)	
<b>Innovación disruptiva</b>	Ayuda a crear un nuevo mercado y que es capaz de perturbar de tal forma un mercado existente que en pocos años lo desplaza o desaparece. Ejemplos: telefonía móvil, uso de computadoras, hicieron que desplazara o desaparecer tecnologías anteriores.					Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico	
						Reducción de mortalidad	
						Número de empleos generados	



## EDITORIAL

**L**a botánica es una rama de la biología dedicada al estudio de las plantas, incluyendo la estructura, funciones, propiedades, clasificación, distribución, relaciones con el entorno y con otros reinos biológicos. Abarca un amplio espectro de formas de vida, desde árboles de gran tamaño y complejidad, hasta organismos fotosintéticos y sencillos como algas y musgos. Botánica, es una disciplina científica con profundas raíces históricas que se remontan a los orígenes de la civilización del género humano. Desde siempre, *Homo sapiens* L. 1757, ha dependido de las plantas para alimentarse, vestirse, y curarse de alguna enfermedad o malestar. Esta dependencia, impulsó la observación y el conocimiento empírico de las especies desde tiempos ancestrales. Desde las primeras civilizaciones en Egipto y Mesopotamia y más tarde las de Grecia y Roma, los conocimientos de las plantas útiles, se compilaban y transmitían por tradición oral. En Europa, durante la edad media, los saberes botánicos fueron transmitidos y salvaguardados por los eruditos árabes y monjes de la cristiandad. En esa época, los herbarios (*herbals*) fueron importantes recopilaciones de plantas medicinales usadas para la cura de enfermedades y esenciales en la práctica médica. Durante el Renacimiento, floreció el interés por la botánica debido a la revalorización de la ciencia y el conocimiento ancestral. La invención de la imprenta facilitó la difusión de textos botánicos, y se establecieron en Italia los primeros jardines botánicos. En la edad moderna, entre los siglos XVII y XVIII, la botánica se reinventó como disciplina científica debido a la generación del sistema de clasificación de nomenclatura binomial, con los primeros pasos establecidos por Caspar Bahuin (1560-1624) y formalizada por Carlos Linneo en la décima edición de su obra *Systema Naturae* en 1758, vigente a la fecha. En esta época se hicieron expediciones que llevaron al descubrimiento y clasificación de miles de nuevas especies de plantas de todo el orbe. Durante los siglos XIX y XX, la botánica se expandió cimentando la generación de nuevas subdisciplinas como la ecología, la fisiología, la genética y otras. Con el advenimiento de la teoría de la evolución de Charles Darwin en 1859 presentada en su obra, *el origen de las especies*, se formalizó la comprensión de las relaciones evolutivas entre las especies. Fue hasta el siglo XX que, con el desarrollo vertiginoso de la biología molecular, fue posible investigar los procesos celulares y genéticos de las plantas con mucha mayor precisión. La biotecnología y la genética molecular innovaron la investigación botánica, facilitando el desarrollo de nuevas técnicas, como la ingeniería genética y el mejoramiento de plantas cultivadas. La ecología vegetal se fortaleció como disciplina científica con la creciente preocupación por la conservación de la biodiversidad y los embates del cambio climático

global. La botánica contemporánea ha evolucionado desde un conocimiento empírico y descriptivo hasta su transformación en una ciencia interdisciplinaria que aborda desde los aspectos más fundamentales de la biología vegetal hasta las aplicaciones prácticas en agricultura, conservación y sostenibilidad. La botánica actual, integra conocimientos de la biología molecular, la bioquímica, la bioinformática, la biotecnología, la genómica, la evolución, la sistemática, la ecología de la conservación y otras disciplinas para poner a prueba hipótesis y abordar preguntas complejas sobre las plantas y sus relaciones en los ecosistemas. La secuenciación de ADN con técnicas de última generación, combinadas con la bioinformática, facilita la elucidación de filogenias de clados completos de alta resolución, transformando el alcance de las monografías y floras tradicionales. En síntesis, la botánica es una ciencia con profundas raíces históricas que progresa aceleradamente y que trasciende por la ampliación de sus alcances y aplicaciones para afrontar los retos científicos, ecológicos y ambientales del Antropoceno.

**Lauro López-Mata** (*Ph.D.*)

Profesor Investigador Titular en el Posgrado en Botánica

# Semblanza del Programa de Posgrado en Botánica

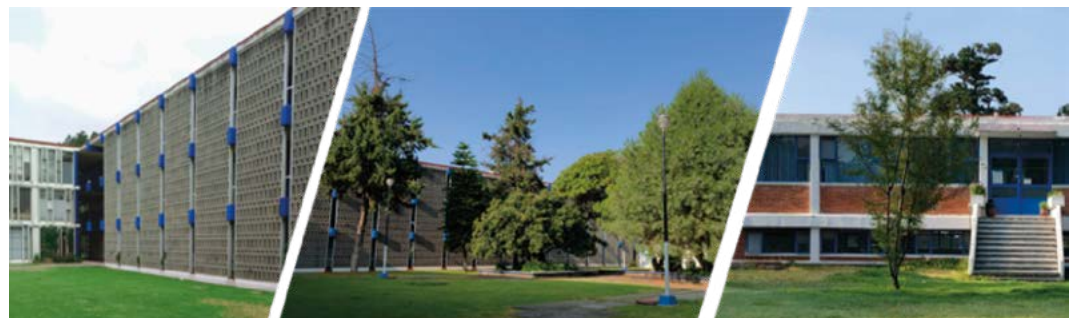
López-Mata, Lauro<sup>1\*</sup> ; Burgos-Hernández, Mireya<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Posgrado en Botánica. Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, México. C.P. 56264.

\* Autor de correspondencia: lauro@colpos.mx

El origen del actual Posgrado en Botánica se remonta al inicio de los años de 1960. Durante esos años, se gestó la idea de la generación de un posgrado en Botánica debido al reconocimiento e importancia que tiene esta disciplina en las ciencias agronómicas. En febrero de 1963, el Dr. Basilio Rojas Martínez, entonces director general del Colegio de Postgraduados (CP), propuso al Maestro Efraím Hernández Xolocotzi la fundación de la Rama de Botánica. La puesta en marcha de la Rama, se concretó inmediatamente y sin mediar documento oficial alguno, por lo que la fecha exacta de su fundación no se conoce. El primer presidente de la Rama de Botánica fue el Maestro Efraím Hernández Xolocotzi quien permaneció en el cargo de 1963 a 1967. La Rama se integró a los posgrados de maestrías en ciencias en Genética, Edafología, Fitopatología y Entomología dentro del Instituto de Educación Agrícola Superior en las instalaciones de la Escuela Nacional de Agricultura (Figura 1). En 1964, se graduó el primer estudiante de Maestría en Ciencias, el venezolano Alberto Güerere Añez y hasta 1968 se graduó el primer estudiante mexicano: José Aristeo Sarukhán Kermez.

Los primeros profesores de la Rama, fueron: Arturo Gómez-Pompa, Efraím Hernández Xolocotzi, Salvador Miranda Colín, Pedro Mosiño Alemán y Jerzy Rzedowski Rötter, cuyas actividades fueron eventuales para algunos de ellos y precarias para otros. Entre 1967 y 1973, bajo la presidencia del Dr. Josué Kohashi Shibata, se amplió la oferta educativa con profesores invitados de Francia, Inglaterra, Japón y Estados Unidos de América. Así mismo, la Rama de Botánica, se fortaleció con la contratación de profesores de tiempo completo.



**Figura 1.** Sede inicial del Posgrado en Botánica en las instalaciones de la Escuela Nacional de Agricultura (hoy Universidad Autónoma Chapingo).

La Dra. María Luisa Ortega Delgado fue la primera profesora contratada de tiempo completo. En 1970 se contrató al Dr. Emil Mark Engleman, en 1972 al Dr. Edmundo García Moya y un año después, en 1973, al Dr. Stephen Douglas Koch (Figura 2). Inmediatamente después de su incorporación, en octubre de 1973, el Dr. Koch estableció el herbario hortorio CHAPA, con 45 gabinetes donados por el Dr. García Moya y 500 ejemplares botánicos cedidos por el Maestro Hernández X. El Dr. Koch se mantuvo bajo el cuidado curatorial de CHAPA hasta su muerte en 2017 y a partir de 2018 la Dra. Mireya Burgos Hernández asumió esta responsabilidad. Así fue como los primeros años de la Rama de Botánica inició sus actividades de docencia, investigación y servicio, con la misión original de formar recursos humanos especializados en las ciencias vegetales.

### Consolidación de la Rama de Botánica

A finales de 1973, el Dr. Kohashi renunció al cargo y la Rama de Botánica se transformó en Centro de Botánica y su Dirección recayó en el Dr. Edmundo García Moya, cuya responsabilidad se extendió hasta 1985. Durante la gestión del Dr. García Moya, el Centro de Botánica se consolidó y se estructuró en un posgrado pertinente y de importancia nacional, dentro de las disciplinas agronómica y forestal.

En 1976, se incorporó el Dr. Alfonso Larqué Saavedra para robustecer el área funcional del posgrado. Un par de años más tarde, en 1979, se integra el Dr. Thomas L. Wendt para fortalecer el área de taxonomía con énfasis en las selvas tropicales cálido-húmedas del sureste de México. Posteriormente, en 1982, el Dr. Mario González Espinosa fue contratado para reforzar el área de ecología, enfocado en comunidades de ambientes semiáridos del Altiplano de México.



**Figura 2.** De izquierda a derecha: Maestro Efraím Hernández Xolocotzi, Dr. Alfonso Larqué Saavedra, Dra. María Luisa Ortega Delgado, Dr. Thomas Leighton Wendt, Dr. Edmundo García Moya (en cuclillas), Dr. Josue Kohashi Shibata, Dr. Stephen Douglas Koch, Dr. Emil Mark Engleman y Dr. Mario González Espinosa.

La consolidación del posgrado en Botánica fue posible debido a la visión y apoyo decidido de la autoridad en turno y al reconocimiento de la importancia de la botánica en las disciplinas agronómica y forestal. De esta manera, el 10 de marzo de 1980, el H. Consejo Técnico del CP acordó el establecimiento del Centro de Botánica con una estructura conformada por un Director, un Comité Académico, Consejos Particulares, Cuerpo Docente, estudiantes graduados y personal de apoyo técnico y administrativo. Paralelamente a la consolidación del posgrado en botánica, se amplió sustancialmente la infraestructura física y el núcleo académico básico, las líneas de investigación, y la formación de recursos humanos a través del Programa Formación de Profesores (PFP).

### **Ampliación y Crecimiento del Posgrado**

El Dr. Alfonso Larqué Saavedra fungió como director del Centro de Botánica de 1985 a 1992. Durante ese período, destacó la ampliación y crecimiento del posgrado con el apoyo del PFP a nivel doctoral, al que dio continuidad la Dra. María Luisa Ortega Delgado (1992-1993) y el Dr. Emil Mark Engleman (1993-1996). En este programa participaron, Marcos Soto Hernández, Cecilia Peña Valdivia, Alberto Escalante Estrada, Rafael F. del Castillo, Teresa M. Terrazas Salgado, Lauro López Mata, Carlos Trejo López y Mónica de la Cruz Vargas Mendoza. El propósito central fue proyectar que para 1995, se contara con doctorados jóvenes formados en universidades del extranjero para fortalecer las áreas del posgrado, diversificar la formación de recursos humanos y las líneas de investigación.

Posterior a 1995 e inicio del siglo XXI, el PFP continuó apoyando activamente la formación de doctores en universidades de Canadá, Estados Unidos de América e Inglaterra. Así, al término de sus estudios doctorales, se logró apoyar e incorporar paulatinamente a Adriana Delgado, Ebandro Uscanga Mortera, Florentino Víctor Conde Martínez y Rodolfo García Nava. Así mismo, en 1997 se contrató a la Dra. Lucero del Mar Ruíz Posadas y en 2002 a la Dra. Hilda Araceli Zavaleta Mancera para fortalecer las áreas funcional y estructural del posgrado.

Con el advenimiento del siglo XXI, el Posgrado en Botánica (Figura 3) y en general el CP, participó de cambios que se suscitaron en el entorno académico y administrativo.



**Figura 3.** Sede actual de Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

En 2004, el Presidente de la República, propuso a la 48ava legislatura del Congreso de la Unión, en el proyecto de egresos de la federación, extinguir al CP, fusionarlo a otras instituciones afines o venderlo. Tal iniciativa no tuvo éxito, pero introdujo al CP en la peor crisis que haya tenido desde su fundación en 1959.

El 16 de noviembre de 2004, la junta Directiva del CP generó una iniciativa de reestructuración administrativa, educativa y de investigación para el Colegio. Se propuso transitar a un solo posgrado que estaría integrado por especialidades, en las cuales las coordinaciones desaparecerían de la estructura institucional. Tal propuesta no tuvo el éxito esperado; sin embargo, la reestructuración administrativa se llevó a cabo, parcialmente.

La especialidad de Botánica, al igual que el resto de las especialidades del CP, fue reorganizada en institutos, quedando integrada al Instituto de Recursos Naturales junto con las especialidades de Edafología, Forestal e Hidrociencias. A partir de 2005 y con la reestructuración en marcha, tanto la sede del CP en Montecillo, Texcoco, Estado de México, como las unidades regionales de Puebla, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz fueron transformados en Campus como unidades académicas, de investigación y administrativas, a las cuales se agregaron los de Córdoba y Campeche. El propósito de la transformación de unidades regionales a Campus, fue atender las necesidades de investigación aplicada y la demanda educativa en esas entidades y sus áreas de influencia. Finalmente, el 22 de noviembre de 2012, ocho años después de iniciada la crisis, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, las modificaciones al decreto de creación del Colegio de Postgraduados, para adecuar su organización y funcionamiento, y consolidarlo como Centro Público de Investigación.

El Posgrado en Botánica continuó organizado con autonomía relativa, adecuándose lo mejor posible a los desafíos contemporáneos de la biotecnología y las técnicas de última generación aplicadas a estudios de genómica de especies vegetales, sin descuidar el fortalecimiento de su capital humano. Así, en 2014 bajo la modalidad de Cátedras, el CONACYT comisionó a los Doctores Israel Castillo Juárez y Daniel Padilla Chacón para incorporarse al Posgrado en Botánica y llevar a cabo labores de investigación, docencia y vinculación en fitoquímica y bioquímica molecular respectivamente. En 2017, se incorpora la Dra. Iris Grisela Galván Escobedo bajo la misma modalidad, introduciendo la palinología al posgrado. Un año después, en 2018, se integran a la planta de docencia e investigación las Doctoras Monserrat Vázquez Sánchez y Mireya Burgos Hernández, como Profesoras Investigadoras Asociadas, con la finalidad de fortalecer el área de taxonomía y sistemática vegetal. En 2022, el Dr. Cid Aguilar Carpio y, en 2023, el M.C. David Trujillo García, se incorporan como Investigadores Auxiliares en apoyo a las áreas de ecofisiología de cultivos y fisiología vegetal, respectivamente (Figura 4). Finalmente, en 2024, se contrata a la M.C. Joselyn Montserrat Briseño Téllez como Investigadora Auxiliar Titular en apoyo del área de etnobotánica y a la Dra. Ana Susana Estrada Márquez como Investigadora Asociada, para fortalecer el área de ecología vegetal. Con la incorporación de este capital humano y la puesta en marcha de sus funciones, se proyecta actualizar y rejuvenecer el núcleo académico básico, ampliar y diversificar la oferta educativa y de investigación y robustecer la infraestructura del Posgrado en Botánica.



**Figura 4.** Algunos de los actuales académicos del Posgrado en Botánica. De izquierda a derecha: Dra. Heike Vibrans Lindeman, Dr. Florentino Víctor Conde Martínez, Dra. Mireya Burgos Hernández, Dr. Carlos Trejo López, Dr. Lauro López Mata, Dra. Hilda Araceli Zavaleta Mancera, Dra. Monserrat Vázquez Sánchez, Dr. Ramón Marcos Soto Hernández, Dra. Lucero del Mar Ruíz Posadas, Dr. Ebandro Uscanga Mortera, Dr. Daniel Padilla Chacón, M.C. David Trujillo García, M.C. Antonio García Esteva y Dr. Rodolfo García Nava.

### **Pertinencia del Posgrado en Botánica**








México es uno de los cuatro países con mayor diversidad de flora vascular y el segundo en el continente americano. De manera paralela a su gran diversidad, nuestro país cuenta con una importante diversidad cultural. Además, constituye el principal centro de domesticación de plantas en Mesoamérica. Este patrimonio biológico y cultural representa desafíos de gran envergadura tanto para la investigación básica como aplicada. La sobre explotación acelerada de los recursos naturales, la erosión de la biodiversidad en todas sus escalas, la alta demanda de alimentos, el crecimiento poblacional, el actual cambio climático y la crisis en materia de seguridad alimentaria, demandan la generación y aplicación del conocimiento botánico en todos los niveles de organización. La gran potencialidad de uso, manejo sostenido y conservación, tanto de valores biológicos como culturales e intangibles, representan beneficios para comunidades locales y regionales, así como para la sociedad mexicana en general. Por lo que, la necesidad por generar conocimiento básico y aplicado de las especies de plantas en todo el espectro biológico y agronómico, simultáneamente con la promoción de su uso, conservación e integración sostenida a los sistemas productivos del país son parte de los retos contemporáneos a los que se enfrenta el Posgrado en Botánica. Sobre estos desafíos y responsabilidades, se basa la pertinencia del Posgrado en Botánica, con planes de estudio originales, propios y congruentes con las realidades actuales de México y del mundo, que abordan y dan respuesta a los retos arriba planteados.



# *Casos de éxito*



# La nanociencia: Síntesis, aplicación agrícola e impacto ambiental

Zarate-Escobedo, Johana<sup>1</sup>; López-Herrera, Amelia<sup>1</sup>; Villegas-Velázquez, Itzel<sup>1</sup>; Vicencio-Salas-Solís, Columba<sup>1</sup>; Mendieta-Morales, Abigail<sup>1</sup>; Carrillo López, Luis Manuel<sup>1</sup>; Zavaleta-Mancera, Hilda Araceli<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, C.P. 56264.

\* Autor para correspondencia: arazavaleta@colpos.mx

## Problema

El termino nanociencia está relacionado con el estudio de los objetos y fenómenos que ocurren en estructuras de 1 a 100 nm. Un área emergente es el uso de la nanotecnología en la solución de problemas agrícolas, con la finalidad de optimizar los procesos de manera sustentable. Hace más de 10 años nuestro grupo de investigación ha hecho contribuciones importantes relacionadas con la síntesis verde de nanopartículas (NPs), el efecto toxico de estas NPs al ambiente y su aplicación en el sector agrícola. La aplicación de nanoestructurados en la solución de problemas agrícolas ha sido poco explorado y aún menos el efecto nocivo de estas al ambiente. Por ejemplo, el uso desmedido de fertilizantes ha llevado a la contaminación de los mantos freáticos, el uso indiscriminado de plaguicidas ha conducido a la exposición de niveles tóxicos para las personas, animales y el medio ambiente. Por lo anterior la nanotecnología promete soluciones inteligentes y soluciones ambientalmente amigables, que tienen que ser investigadas.

## Solución planteada

El grupo de investigación, perteneciente a las líneas de generación y aplicación del conocimiento (LGAC): “Cambio Climático, estrés en plantas y mitigación” e “Innovación en la Producción Agrícola Sustentable” ha abierto la pauta al estudio de las ventajas y/o riesgo potencial de las NPs metálicas en el sector agrícola, permitiendo aportar información innovadora sobre la síntesis verde de NPs, aplicación como anti-microbianos y en ornamentales, así como la evaluación del impacto ambiental.

## Síntesis de nanopartículas

La síntesis de NPs se refiere a la formación de partículas con tamaños entre 1 y 100 nm. Un nanómetro es la milmillonésima parte de un metro ( $1 \times 10^{-9}$ ), en perspectiva, el ancho promedio de un cabello humano es de 80 mil nm. Estas partículas presentan propiedades

**Cómo citar:** Zarate-Escobedo, J., López-Herrera, A., Villegas-Velázquez, I., Vicencio-Salas - Solís, C., Mendieta-Morales, A., Carrillo López, L.M., & Zavaleta-Mancera, H.A. (2024). La nanociencia: Síntesis, aplicación agrícola e impacto ambiental. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.418>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 11-17.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



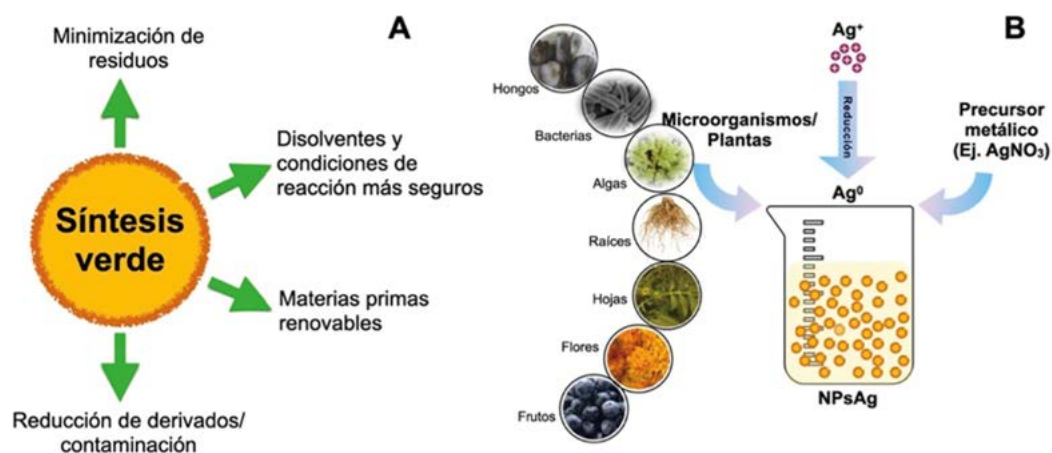
sorprendentes, debido a su alta relación superficie/volumen, lo que les confiere propiedades únicas. Existen tres métodos fundamentales para la síntesis de NPs metálicas: métodos físicos, químicos y biológicos. Los métodos físicos y químicos suelen ser más costosos y tóxicos. Por ello, la síntesis verde ha demostrado ser un método biológico sostenible que utiliza extractos naturales de plantas (como tallos, raíces, hojas, semillas, frutos y flores) y/o microorganismos (como bacterias, hongos y algas) (Figura 1).

### Beneficio de las NPsAg en la eliminación de agentes microbianos

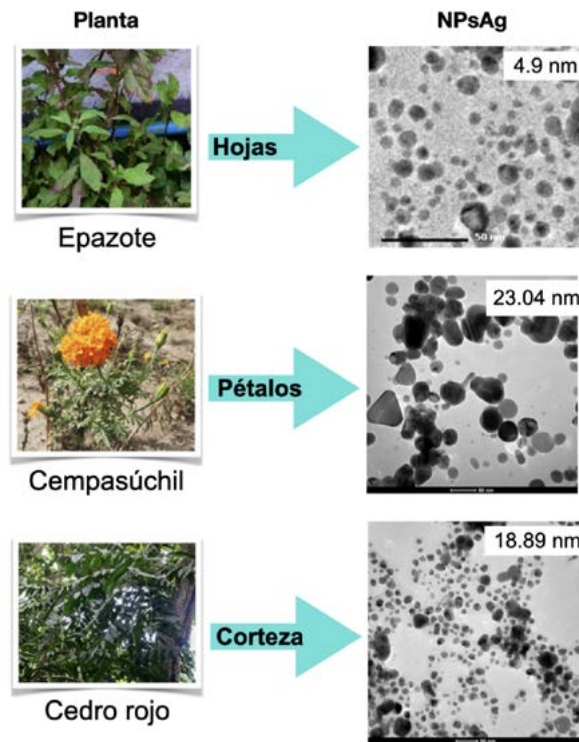
Existe evidencia científica de la actividad fungicida y bactericida de las NPsAg, las cuales, se adhieren a la superficie de la membrana celular fúngica o bacteriana, alterando procesos moleculares y fisiológicos que inhiben el crecimiento o inducen la muerte celular. Es importante destacar que el tamaño y la forma de las NPsAg influyen en su eficacia. El hongo *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell, causa la enfermedad de secadera y pudrición de raíz en pinos (*Pinus* spp.) y ocasiona pérdidas mayores a 40% de la producción de planta. Nuestro equipo de trabajo detectó que la concentración de 10 mg NPsAg L<sup>-1</sup> presenta actividad inhibitoria contra *Fusarium circinatum* en condiciones *in vitro* (Figura 3A, B). Además encontramos actividad antibacteriana, a partir de 50 mg de NPsAg L<sup>-1</sup> *in vitro* contra la bacteria *Erwinia amylovora*, conocida como “fuego bacteriano”, un patógeno con resistencia a antibióticos, devastador para la producción de peras y manzanas (Figura 3C).

### Aplicación de NPsAg en plantas ornamentales

La calidad de las plantas ornamentales, como tallos florales o follajes sin raíz, depende de la longevidad que alcancen en su vida postcosecha antes de marchitarse. Con la finalidad de retrasar su senescencia o envejecimiento y alargar su vida comercial, se han empleado soluciones preservantes. En las flores de corte se generan heridas susceptibles a infección por microorganismos, los cuales provocan en la planta el bloqueo de los vasos de xilema y reducen el transporte de agua. En postcosecha se pueden utilizar soluciones con la finalidad de alargar la vida en florero; soluciones pulso (altas concentraciones por

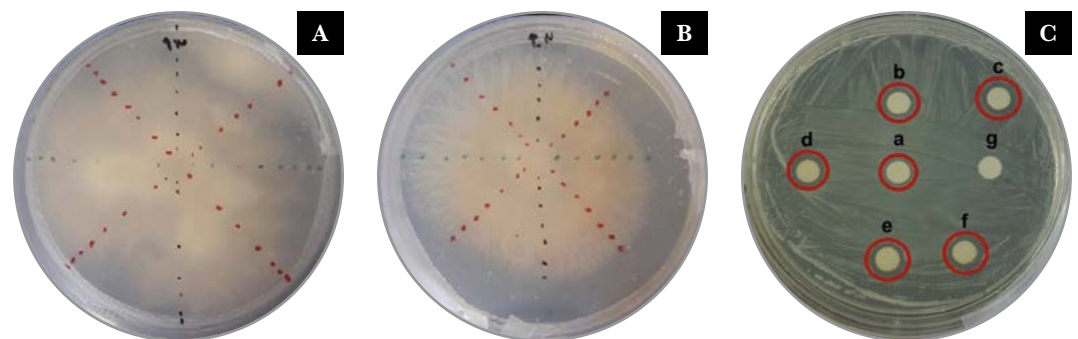


**Figura 1.** Síntesis biológica de nanopartículas (NPs) metálicas. A) Principios básicos de la síntesis verde; B) Representación del método de síntesis verde para la preparación de NPsAg.



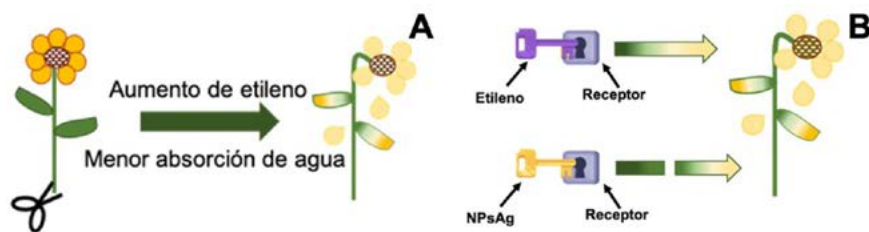
Nuestros estudios revelan el potencial de extractos acuosos de: epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.), pétalos de cempasúchil (*Tagetes erecta* L.) y corteza de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). Su efectividad radica en el contenido de fenoles, flavonoides, vitaminas, alcaloides, terpenoides, taninos y ácidos orgánicos, los cuales no solo reducen los iones de plata ( $\text{Ag}^+$ ) a nanopartículas de plata (NPsAg) sino que también son excelentes compuestos de cobertura que estabilizan a las NPs en el tiempo. Este método de síntesis es sencillo, económico, rápido y ecológico.

**Figura 2.** Síntesis verde de NPsAg con extractos vegetales. Imágenes de NPsAg obtenidas mediante microscopía electrónica de transmisión (MET). Tamaños medios de NPsAg ( $n=500$ ).



**Figura 3.** Actividad microbiana in vitro de NPsAg. A) *Fusarium circinatum* sin NPsAg. B) *Fusarium circinatum* con  $10 \text{ mg NPs L}^{-1}$ , se observa inhibición de crecimiento. Método de envenenamiento de alimento al día 8. C) *Erwinia amylovora* con diferentes concentraciones de NPsAg utilizando el método Kirby Bauer. a,  $25 \text{ mg L}^{-1}$ ; b,  $50 \text{ mg L}^{-1}$ ; c,  $100 \text{ mg L}^{-1}$ ; d,  $200 \text{ mg L}^{-1}$ ; e,  $360 \text{ mg L}^{-1}$ ; f,  $360 \text{ mg AgNO}_3 \text{ L}^{-1}$  (control positivo); g, agua desionizada (control negativo). Las líneas rojas indican el crecimiento del hongo. Los círculos rojos delimitan la zona de inhibición de la bacteria.

un periodo de horas o no más de 3 días), florero (concentraciones bajas en las soluciones durante la vida florero) o asperjadas. Nuestro grupo de investigación estudió las NPsAg en las flores de corte: rosa `Freedom´ (*Rosa* L.), clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) y alstroemeria `Fogo´ (*Alstroemeria* L.) para estudiar su efecto biocida como inhibidor de la producción de etileno considerada la hormona del envejecimiento (Figura 4).



**Figura 4.** Flores de corte y mecanismo de acción del etileno en la senescencia del tallo floral. A) Efecto del corte de la raíz en el aumento de la producción de etileno y bloqueo microbiano de xilema que reduce la absorción de agua; B) receptores proteínicos llave-cerradura: etileno unido a su receptor desencadenando senescencia y NPsAg unidas al receptor de etileno, retrasando la senescencia del tallo floral.

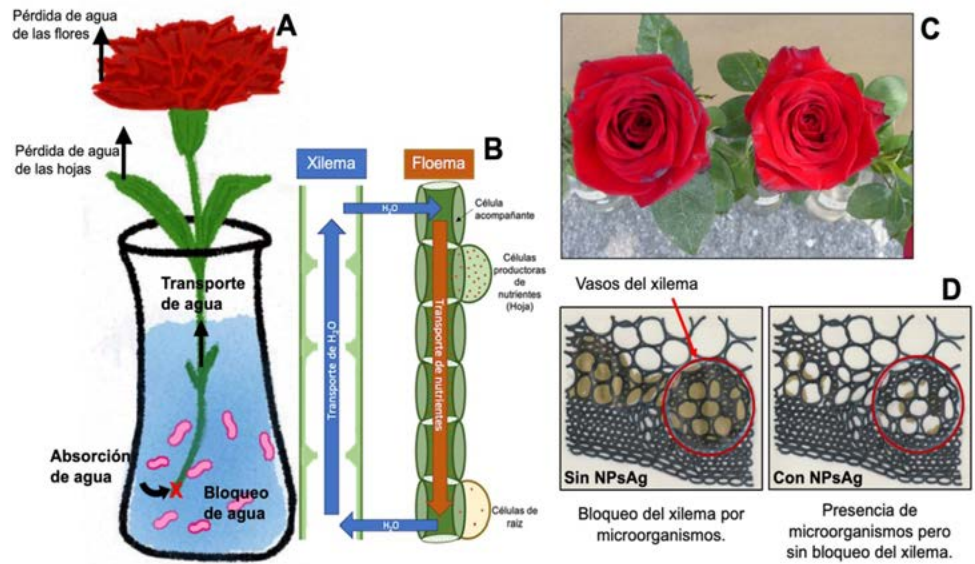
En rosa y clavel, las NPsAg redujeron la población de microorganismos en las soluciones florero y el bloqueo de los vasos de xilema, favoreciendo el transporte de agua y aumentando la vida de florero. En contraste en tallos de alstroemeria, no se observó efecto debido a la baja sensibilidad al etileno que presenta esta especie (Cuadro 1).

### Las NPsAg y su impacto ambiental

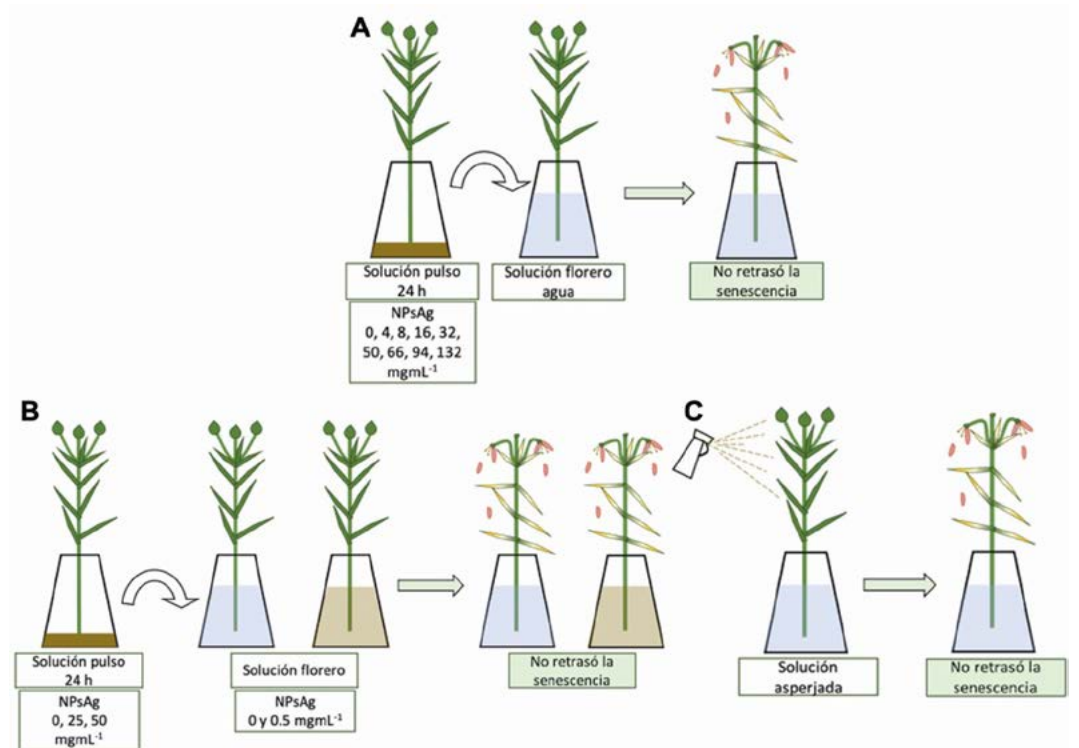
El impacto ambiental de las NPsAg es un tema relevante en el sector agrícola. Aunque las NPsAg generan beneficios, los efectos adversos en el ambiente requieren de estudios en plantas con simbiosis, la cual se refiere a la interacción beneficiosa de dos organismos. La liberación de NPsAg en aguas residuales o su acumulación en el suelo pueden afectar

**Cuadro 1.** Aplicación de NPsAg en la vida florero de plantas ornamentales.

Ornamental	Problema	Método de aplicación	Concentración (mg NPsAg L <sup>-1</sup> )	Resultados
<i>Rosa</i> L. ( <i>Rosa</i> sp. cv. Freedom)	Sensible a etileno. Obstrucción vascular por microorganismos.	Solución florero	1, 5 y 10	Disminución de la población de microorganismos en las soluciones florero.  Disminución de la oclusión vascular en la base de los tallos.  Mayor tiempo de apertura floral.  Aumento de la vida florero hasta 7 días. (Figura 5).
Clavel ( <i>Dianthus caryophyllus</i> L.)	Sensible a etileno Obstrucción vascular por microorganismos.	Solución florero	50	Disminución de la población de microorganismos e Inhibición del bloqueo microbiano del xilema en la base de los tallos.  Porcentaje de supervivencia de las flores del 67 % al día 21 (Figura 5).
<i>Alstroemeria</i> L. 'Fogo'	Vida florero de 15 a 21 días, amarillamiento de hojas desde el día 5.	Solución pulso	0, 4, 8, 16, 32, 50, 66, 94, 132	No hay retraso de la senescencia en hoja y flor (Figura 6).
		Solución pulso + Solución florero	0, 25 y 50 + 0 y 0.5	
		Solución asperjada	0 y 50	



**Figura 5.** Las NPsAg y el aumento de la vida florero de plantas ornamentales. A) Absorción de agua por los tallos florales y pérdida por evapotranspiración foliar. El bloqueo microbiano del xilema en los tallos florales, generan menor absorción de agua; B) Sistema de transporte de agua y nutrientes en plantas; C) NPsAg en soluciones florero para alargar la vida de la rosa; D) Representación de la inhibición del bloqueo del xilema por microorganismos después de su exposición a soluciones florero con NPsAg.

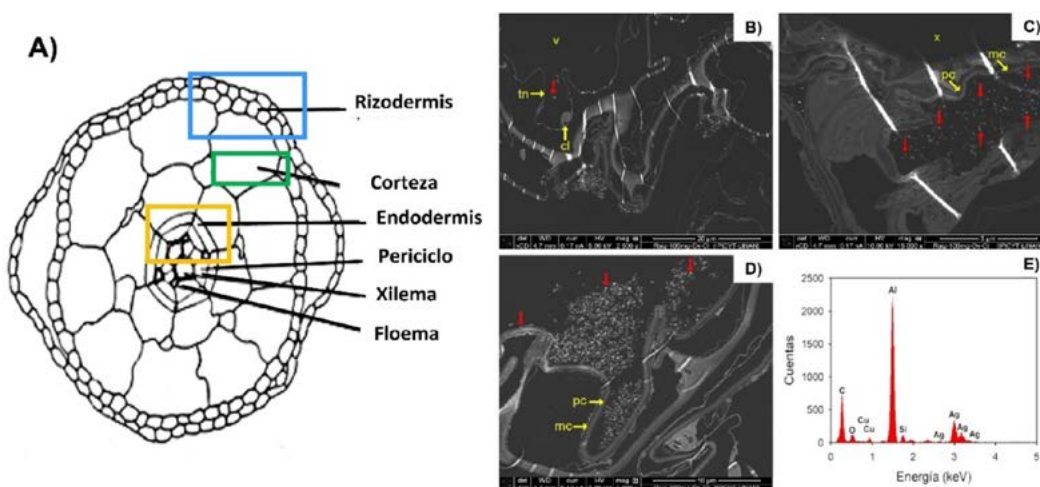


**Figura 6.** Experimentos con nanopartículas de plata (NPsAg) en *Alstroemeria L.* 'Fogo'. A) Experimento 1, se probaron 0, 4, 8, 16, 32, 50, 66, 94, 132 mg NPsAg mL<sup>-1</sup> aplicadas en solución florero por 24 h; B) Experimento 2, se probaron 0, 25, 50 mg NPsAg mL<sup>-1</sup> en solución florero por 24 h, se transfirieron a una solución florero con 0 y 0.5 mg NPsAg mL<sup>-1</sup> durante la vida florero; C) Experimento 3, 50 mg NPsAg mL<sup>-1</sup> se asperjaron al inicio del experimento.

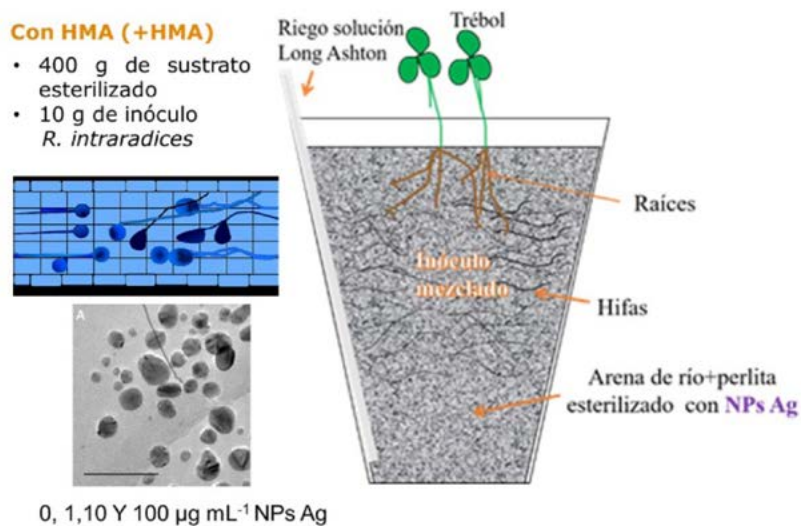
a los organismos acuáticos y terrestres. Nuestro objetivo fue estudiar el comportamiento e interacción de las NPsAg con plantas acuáticas y terrestres. Un aspecto novedoso se centra en la toxicidad de las NPsAg, como contaminantes emergentes. El helecho acuático *Azolla filiculoides* Lam., tiene simbiosis con la cianobacteria *Anabaena azollae* Strass., para fijar  $N_2$  atmosférico además es una planta bio-remediadora de metales y compuestos orgánicos. Las NPsAg son tóxicas para *A. filiculoides*, en concentraciones elevadas ( $100 \text{ mg NPsAg L}^{-1}$ ). La toxicidad se refleja en la reducción del crecimiento, daños estructurales en los tejidos de la raíz. Técnicas de Microscopía Electrónica Avanzada permitieron encontrar hallazgos novedosos que indican que muchas NPsAg se acumulan sobre la rizodermis, luego estas se disocian en  $Ag^+$  para entrar a la raíz y después pasan por la corteza y se acumulan mayormente en la endodermis, donde forman nuevas NPsAg (Figura 7).

También se estudió el efecto de 1, 10 y  $100 \mu\text{g mL}^{-1}$  de NPsAg en el establecimiento de la simbiosis micorrízica arbuscular (*Rhizophagus intraradices*) y el trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Se observó un efecto dosis-respuesta, por ejemplo  $10 \mu\text{g NPsAg mL}^{-1}$  aumentó el número de esporas y el porcentaje de colonización, incrementando el desarrollo del hongo micorrízico arbuscular (HMA) en contraste, dosis más altas ( $100 \mu\text{g NPsAg mL}^{-1}$ ), afectan variables agronómicas de crecimiento. Las funciones de los sistemas simbióticos pueden verse comprometidas por el uso a gran escala de las NPsAg, conduciendo a la reducción de la diversidad y función de los HMA en el suelo, los cuales tienen una función esencial en cultivos agrícolas (Figura 8).

En conclusión, las NPsAg tienen aplicaciones innovadoras en el sector agrícola, pero también presentan desafíos ambientales. Estos estudios permitieron aportar información nueva sobre la síntesis verde de NPs, aplicación como anti-microbianos y para alargar la vida postcosecha de ornamentales, así como la evaluación de sus efectos en el ambiente.



**Figura 7.** Distribución interna de Ag en la raíz de *A. filiculoides* expuesta a  $100 \text{ mg de AgNPs L}^{-1}$  por 8 d. A) recuadros: azul (rizodermis), verde (corteza) y amarillo (endodermis). B-D) Microscopía Electrónica de Barrido de alta resolución (MEB-FIB Dual Beam, modo STEM + BSE). B) Corteza externa, con AgNPs en la vacuola; C) endodermis con abundantes NPsAg; D) abundantes NPsAg fuera de la rizodermis; E) espectro EDS de Ag realizado en las NPs brillantes de C. Cloroplasto (cl), membrana citoplasmática (mc), pared celular (pc), tonoplasto (tn), vacuola (v), xilema (x). Las flechas rojas señalan NPsAg.









**Figura 8.** Efecto de nanopartículas de plata (NPs Ag), en el establecimiento de la simbiosis micorrícica arbuscular de *Rhizophagus intraradices* con *Trifolium repens* L.

### Innovación, impactos e indicadores

Nivel de innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador general de políticas públicas	Indicadores específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Innovación frugal	Desarrollo de un método eficiente y amigable con el ambiente para la síntesis de nanopartículas de plata (NPsAg). Beneficio de las NPsAg en la eliminación de agentes microbianos.	Congresos Conferencias	Primario: Agricultura Aprovechamiento forestal	Conocimiento y manejo	Ciencia y Tecnología	Competitividad	Cuatro tesis doctorales. Cuatro artículos científicos JCR 6 Resúmenes de congreso
Innovación sostenible	Aplicación de NPsAg para alargar la vida de florero de tallos florales. Conocimiento del efecto ambiental del desecho de NPsAg en plantas	Productores Congresos	Primario: Agricultura Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)	Económico Ambiental	Ciencia y Tecnología Responsabilidad ambiental	Competitividad y comercio	Cuatro tesis doctorales. Una tesis de maestría. Cuatro artículos científicos.



# Caracterización fitoquímica de un híbrido de chayote (*Sechium* H387 07) y sus segregantes

Delgado Tiburcio, Eugenia Elisa<sup>1</sup>; Soto-Hernández, Marcos<sup>1</sup>; Cadena-Iñiguez, Jorge<sup>2</sup>; Aguiñiga-Sánchez, Itzen<sup>3</sup>; Ruiz-Posadas, Lucero del Mar<sup>1</sup>; Peña-Valdivia, Cecilia B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km 36.5 Montecillo, Texcoco, México. C.P. 56264.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí 78622, Mexico C.P. 78600.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela de Medicina, FES Zaragoza, Ciudad de México, Iztapalapa C.P. 09230.

\* Autor para correspondencia: msoto@colpos.mx

## Problema

El registro actual de los metabolitos secundarios en *Sechium edule*, frecuentemente no distinguen adecuadamente las especies. Esta limitación afecta la reproducibilidad de los ensayos y reduce la precisión en la identificación de compuestos bioactivos específicos. Los frutos del chayote híbrido H387 07 ha demostrado un efecto antiproliferativo significativo en líneas celulares de cáncer cérvico-uterino y leucemia, superando la actividad observada en otras especies de *Sechium*. Sin embargo, aunque se ha caracterizado su contenido fitoquímico y capacidad antioxidante, el conocimiento de genotipos emparentados sigue siendo limitado. Este estudio busca ampliar la base de datos fitoquímica mediante la caracterización de dos genotipos segregantes de *Sechium* H387 07, denominados H387 M16 y H387 M20. Con ello, no solo se enriquecerá la reserva de variantes con potencial terapéutico, sino también ofrecerá alternativas en casos donde la disponibilidad del híbrido H387 07 sea limitada, apoyando así el desarrollo de nuevas aplicaciones médicas basadas en estos genotipos.

## Solución planteada

El proceso de hibridación artificial en plantas permite obtener productos mejorados y de condiciones más estables a diferencia de sus progenitores. Por ello, el grupo interdisciplinario de investigación de *S. edule* en México (GiSeM) desarrolló un híbrido denominado *Sechium* H387 07 con efectos antiinflamatorios, antioxidante y antitumorales significativamente mayores en comparación a otros genotipos, ya que inclusive, sus extractos son hasta 500 veces más efectivo para inhibir células tumorales en comparación a especies comestibles de *Sechium edule*.

**Cómo citar:** Delgado Tiburcio, E. E., Soto-Hernández, M., Cadena-Iñiguez, J., Aguiñiga-Sánchez, I., Ruiz-Posadas, L. del M., Peña-Valdivia, C. B. (2024). Caracterización fitoquímica de un híbrido de chayote (*Sechium* H387 07) y sus segregantes. *Agro-Divulgación*, 4(56). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.419>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 19-23.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



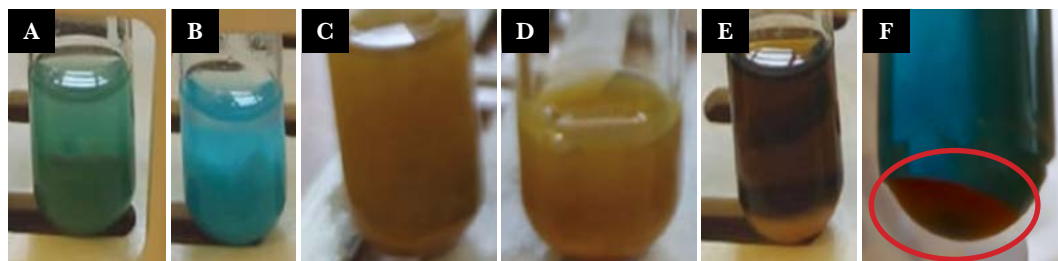
Este estudio identificó metabolitos secundarios clave, tales como flavonoides, cucurbitacinas y ácidos fenólicos, mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). La estandarización de los métodos utilizados no solo enriquecería el reservorio de variantes de interés terapéutico dentro del género *Sechium*, sino que también se mejoraría la reproducibilidad de los datos, permitiendo comparaciones más precisas y facilitando la validación de los efectos terapéuticos en futuras investigaciones.

En los resultados, *Sechium* H387 07 mostró un rendimiento de extracto crudo del 28.4%, aproximadamente 10% mayor al de H387 M16 (19.44%), lo cual coincidió con estudios previos que reportan un rendimiento superior de H387 07 frente a otros genotipos de *Sechium*. Las pruebas iniciales confirmaron la presencia de saponinas, flavonoides, fenoles y terpenos en los segregantes H387 M20 y H387 M16, destacando las cucurbitacinas B, D, I y E. A diferencia de estos segregantes, el híbrido *Sechium* H387 07 mostró todos los grupos de metabolitos secundarios, excepto alcaloides, sugiriendo mayor diversidad fitoquímica que podría ser relevante en la investigación de compuestos antineoplásicos (Figura 1-7).

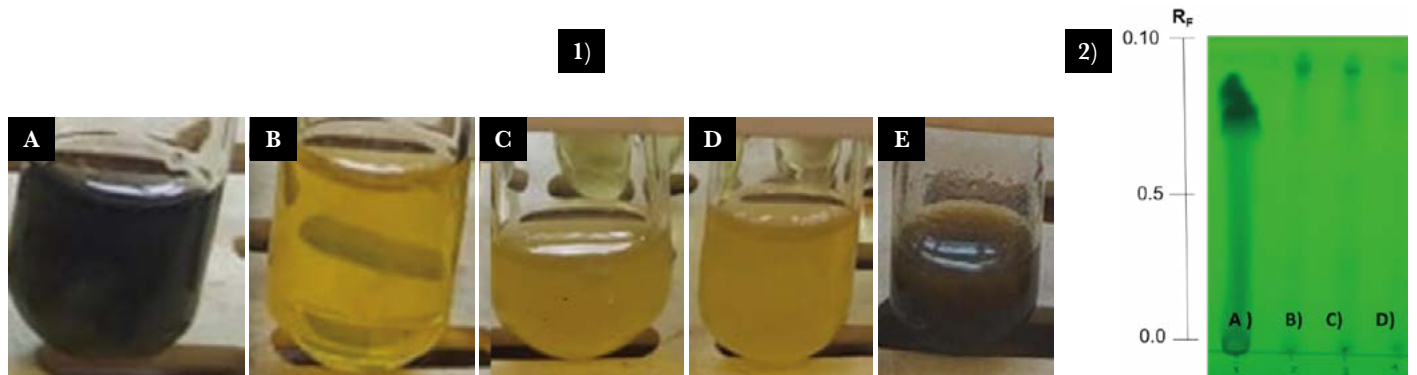
El segregante 387 M20 mostró composición cualitativa similar a *Sechium* H387 07 y 387 M16. Sin embargo, se requiere un estudio complementario con mayor cantidad de muestra. Los resultados de este estudio podrían aportar información valiosa para predecir los efectos terapéuticos de los segregantes H387 M16 y H387 M20, como su actividad



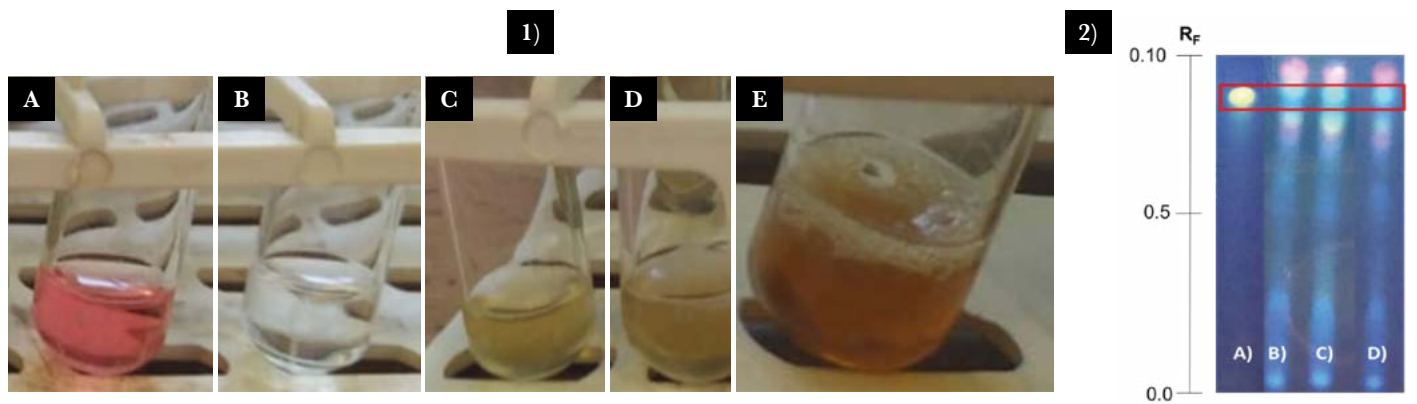
**Figura 1.** Prueba de alcaloides en 1: A) testigo positivo de *Lupinus* sp., B) testigo negativo, C) segregante 387 M20, D) segregante 387 M16 y E) *Sechium* H387 07; 2 A) Prueba de alcaloides separados por cromatografía en capa fina, con diclorometano-metanol 9:1 y revelador Dragendorff: A) estándar de *Lupinus* sp rf 0.60, B) 387 M20 con rf de 0.31, C) 387 M16 rf de 0.32 y D) *Sechium* H387 07 rf de 0.40.



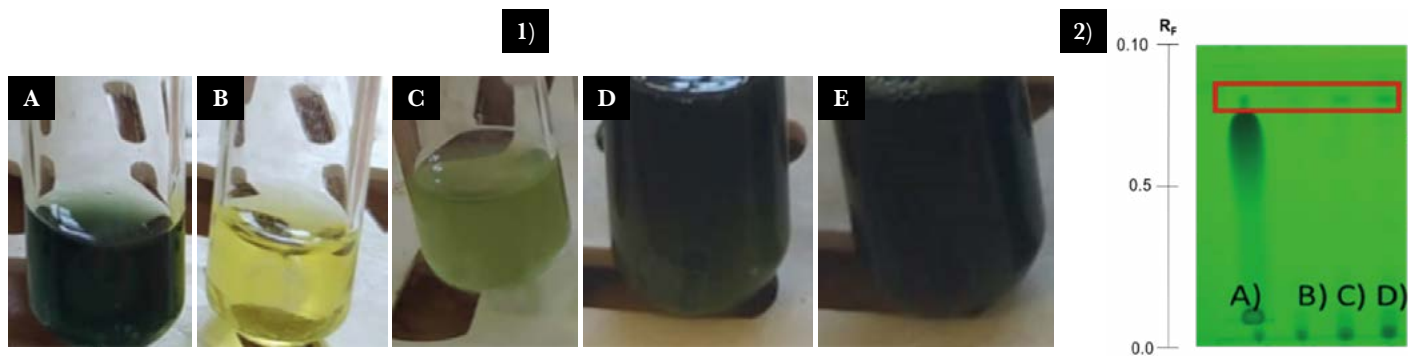
**Figura 2.** Prueba de saponinas en A) testigo positivo con saponina de soya, B) testigo negativo, C) 387 M20, D) 387 M16, E) *Sechium* H387 07 y F) formación del halo que muestra la obtención del precipitado rosa en el testigo positivo.



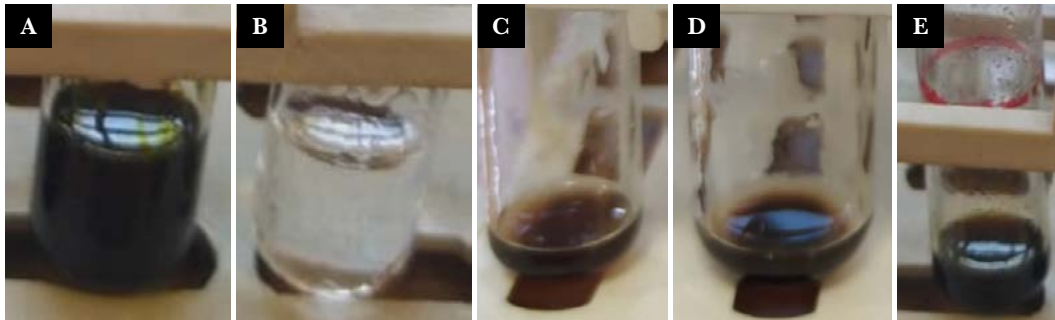
**Figura 3.** Prueba de taninos en 1: A) testigo positivo de ácido tánico, B) testigo negativo, C) 387 M20, D) 387 M16 y E) *Sechium* H387 07; 2) Prueba de taninos separados en cromatografía en capa fina con acetato de etilo-metanol 1:1 y revelador de FeCl<sub>3</sub> y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 20% en A) estándar de ácido tánico (rf 0.87), B) 387 M20 (rf 0.93), C) 387 M16 (rf 0.93) y D) *Sechium* H387 07 (rf 0.92).



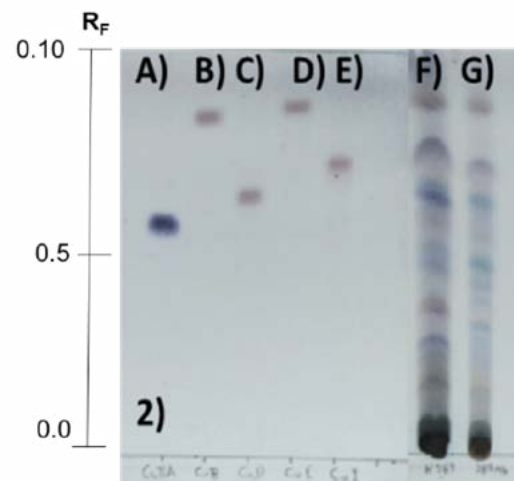
**Figura 4.** Prueba de flavonoides en (1): A) testigo positivo de quercetina, B) testigo negativo, C) 387 M20, D) 387 M16 y E) *Sechium* H387 07; (2) Prueba de flavonoides, por cromatografía en capa fina en un sistema de cloroformo, metanol y agua (65:45:12) y revelador de NP y polietilenglicol en A) estándar de quercetina (rf 0.70), B) 387 M20 (rf 0.71), C) 387 M16 (rf 0.72) y D) *Sechium* H387 07 (rf 0.72).



**Figura 5.** Prueba de fenoles en (1): A) testigo positivo, B) testigo negativo, C) 387 M20, D) 387 M16 y E) *Sechium* H387 07; (2) Prueba de fenoles en un sistema de acetato de etilo y metanol (9:1) revelado con reactivo de Folín: A) estándar de ácido gálico /rf 0.86), B) 387 M20 (rf 0.76), C) 387 M16 (rf 0.76) y D) *Sechium* H387 07 (rf 0.76).



**Figura 6.** Prueba de terpenos en: A) testigo positivo, B) testigo negativo, C) M20, D) M16 y E) *Sechium* H387 07.



**Figura 7.** Prueba de terpenos en un sistema de cloroformo y metanol (90:10) y revelado con vainillina: A) estándar de cucurbitacina IIA (rf 0.59), B) estándar de cucurbitacina B (rf 0.81), C) estándar de cucurbitacina D (rf 0.66), D) estándar de cucurbitacina E (rf 0.86) y E) estándar de cucurbitacina I (rf 0.74), F) *Sechium* H 387 07 (rf 0.62) y G) 387 M16 (rf 0.62).

antioxidante y anticancerígena, además de ofrecer una comparación detallada del contenido fitoquímico en relación con el híbrido *Sechium* H387 07. Esto facilitaría la identificación de características con potencial terapéutico para futuros genotipos. Asimismo, se recomienda realizar comparaciones más exhaustivas entre el híbrido H387 07 y otros genotipos de *Sechium* para profundizar en el conocimiento de su potencial como fuente de compuestos bioactivos.






### Innovaciones, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Poblaciones en particular	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería	Social  Económico  Ambiental Conocimiento	Ciencia y Tecnología  Económico  Educación	Competitividad  Recursos Humanos	Numero de tesis  Número de egresados (Lic. M.C., D.C.)  Número de publicaciones
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible		Secundario: Actividades económicas que transforman las materias primas en productos elaborados (Agroindustria)		Responsabilidad Ambiental  Salud Pública		Reducción de mortalidad
Innovación disruptiva	Ayuda a crear un nuevo mercado y que es capaz de perturbar de tal forma un mercado existente que en pocos años lo desplaza o desaparece.		Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)				





# Determinación del origen botánico de mieles de Tlaxcala, México

Carlos-Ibarra, Erika D.<sup>1</sup> ; Galván-Escobedo, Iris G.<sup>2\*</sup> ; Cruz-Rodríguez, Juan A.<sup>1</sup> ; Zepeda-Rodríguez, Armando<sup>3</sup> ; Pasos-Nájera, Francisco<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México. C.P. 56230

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología/Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. México. C.P. 56264.3 Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Ciudad de México. México. C.P. 04510.

\* Autor para correspondencia: sirigales@gmail.com

## Problema

La apicultura genera ingresos económicos que resultan de la venta de los productos obtenidos de las colmenas (alimenticios, farmacéuticos y cosméticos) y ofrece servicios ecosistémicos (polinización de plantas silvestres y cultivadas) que contribuyen a la conservación de la diversidad biológica. Determinar el origen botánico de las mieles elaboradas por la abeja *Apis mellifera* L., permite conocer qué especies vegetales prefieren las abejas para recolectar néctar (para la elaboración de la miel) y polen (para el sostenimiento de la colmena). De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-004 SAG/GAN-2018 Producción de miel y especificaciones, las mieles se deben diferenciar en monoflorales o multiflorales, con base en las trazas de polen que se encuentra en las mieles. Dicha diferenciación, aumenta hasta tres veces el valor de las mieles. En el estado de Tlaxcala es reducido el número de apicultores que cumplen con diferenciación de acuerdo con la NOM-004, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar el origen botánico de la miel de cuatro apiarios ubicados en Tlaxcala y apoyar a los pequeños apicultores a cumplir con la NOM-004.

## Solución planteada

En noviembre de 2018 se tomaron muestras de miel de cuatro apiarios ubicados en dos municipios de Tlaxcala, México (Figura 1; Cuadro 1). El municipio de Alzayanca se ubica a una altitud de 2,400 a 3,400 m, con presencia de vegetación del tipo bosque de pino y matorral xerófilo. El municipio de Españita está a una altitud de 2,400 a 2,900 m y vegetación de bosque de encino y pastizales; en ambos municipios predomina un clima templado subhúmedo.

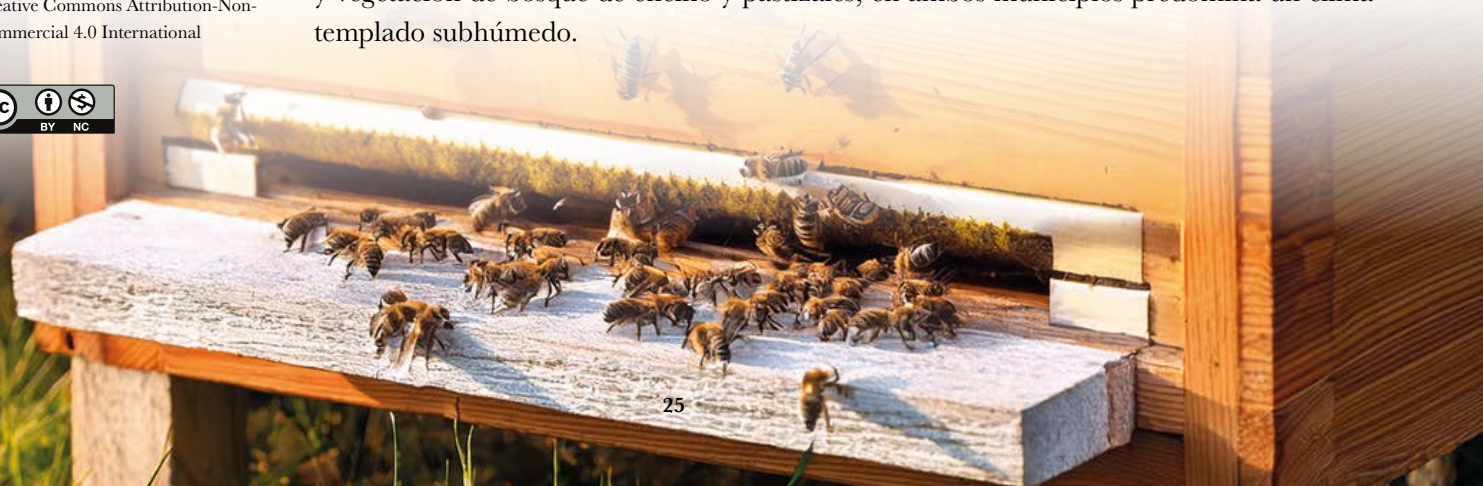
**Cómo citar:** Carlos-Ibarra, E. D., Galván-Escobedo, I. G., Cruz-Rodríguez, J. A., Zepeda-Rodríguez, A., Pasos-Nájera, F. (2024). Determinación del origen botánico de mieles de Tlaxcala, México. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.420>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 25-30.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International





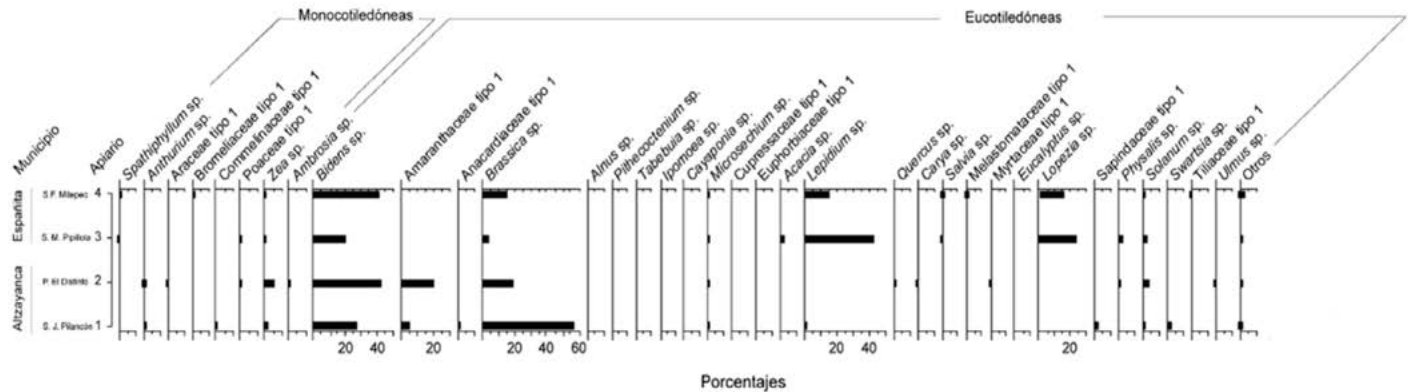
**Figura 1.** Localización geográfica de los apiarios en los municipios de Alzayanca y Españaíta, Tlaxcala, México.

**Cuadro 1.** Ubicación e identificación (ID) de los apiarios de los que se tomaron muestras de miel en Alzayanca y Españaíta, Tlaxcala, México.

Municipio	Localidad	ID de apiario
Alzayanca	San José Pilancón	Apiario 1
	Paraje El Distinto	Apiario 2
Españaíta	San Miguel Pipillola	Apiario 3
	San Francisco Mitepec	Apiario 4

De cada apiario, se tomaron 30 g de miel para extraer el polen. La miel se diluyó con agua destilada y, por centrifugación, se concentró el polen; una fracción de éste se sometió a un tratamiento con anhídrido acético y ácido sulfúrico para eliminar el contenido citoplasmático. El polen se montó en portaobjetos con gelatina glicerizada y se observó en un microscopio de luz (Zeiss<sup>®</sup>, mod. Axiscop 2), en campo claro a 1000x. Otra fracción de polen, se preparó de manera convencional para su observación en un microscopio electrónico de barrido (Zeiss<sup>®</sup>, mod. DSM-950).

Análisis melisopolinológico: se tomaron 500 granos de polen/muestra/apiario; los granos de polen más abundantes se determinaron a nivel de familia o género por comparación con la literatura especializada. El polen que no fue determinado se nombró por su categoría morfológica. Se calcularon los porcentajes de cada taxón y se graficaron con el programa TiliaGraph<sup>®</sup> (Figura 2). Los porcentajes se usaron para determinar la representatividad de cada taxón por muestra y establecer el origen botánico de la miel de acuerdo a las clasificación establecida en la NOM-004: a) monoflorales (con polen dominante de un taxón  $\geq 45\%$ ) y b) multiflorales cuando el origen botánico fue de varias plantas y se subclasificaron en: oligoflorales (dominadas por dos o más taxones de una familia de plantas con 16-44%), biflorales (con dos taxones relevantes de diferentes familias botánicas presentes



**Figura 2.** Distribución porcentual de los tipos polínicos registrados en cuatro apiarios de Tlaxcala, México.

del 16-44%) y estrictamente multiflorales (con tres o más taxones de diferentes familias con porcentajes  $\geq 10\%$ ). Adicionalmente, con base en su presencia el polen se clasificó como “predominante” ( $P \geq 45\%$ ), “secundario” ( $S= 16-45\%$ ), “importancia menor” ( $I = 3-15\%$ ) y “menor” ( $M \leq 3\%$ ) (Cuadro 2).

### Origen botánico de las mieles

Apiario 1, San José Piláncon, Altzayanca. Se encontraron 16 tipos polínicos que correspondieron a 14 familias botánicas y una categoría morfológica. El polen predominante fue de *Brassica* L. (56.8 %). La miel se determinó como monofloral de *Brassica* sp. (Figura 3).

Apiario 2, Paraje El Distinto, Altzayanca. Se registraron 23 tipos polínicos, que correspondieron a 15 familias botánicas y tres categorías morfológicas. No se registró polen predominante. La miel se determinó como estrictamente multifloral de Asteraceae, Amaranthaceae y Brassicaceae (Figura 3).

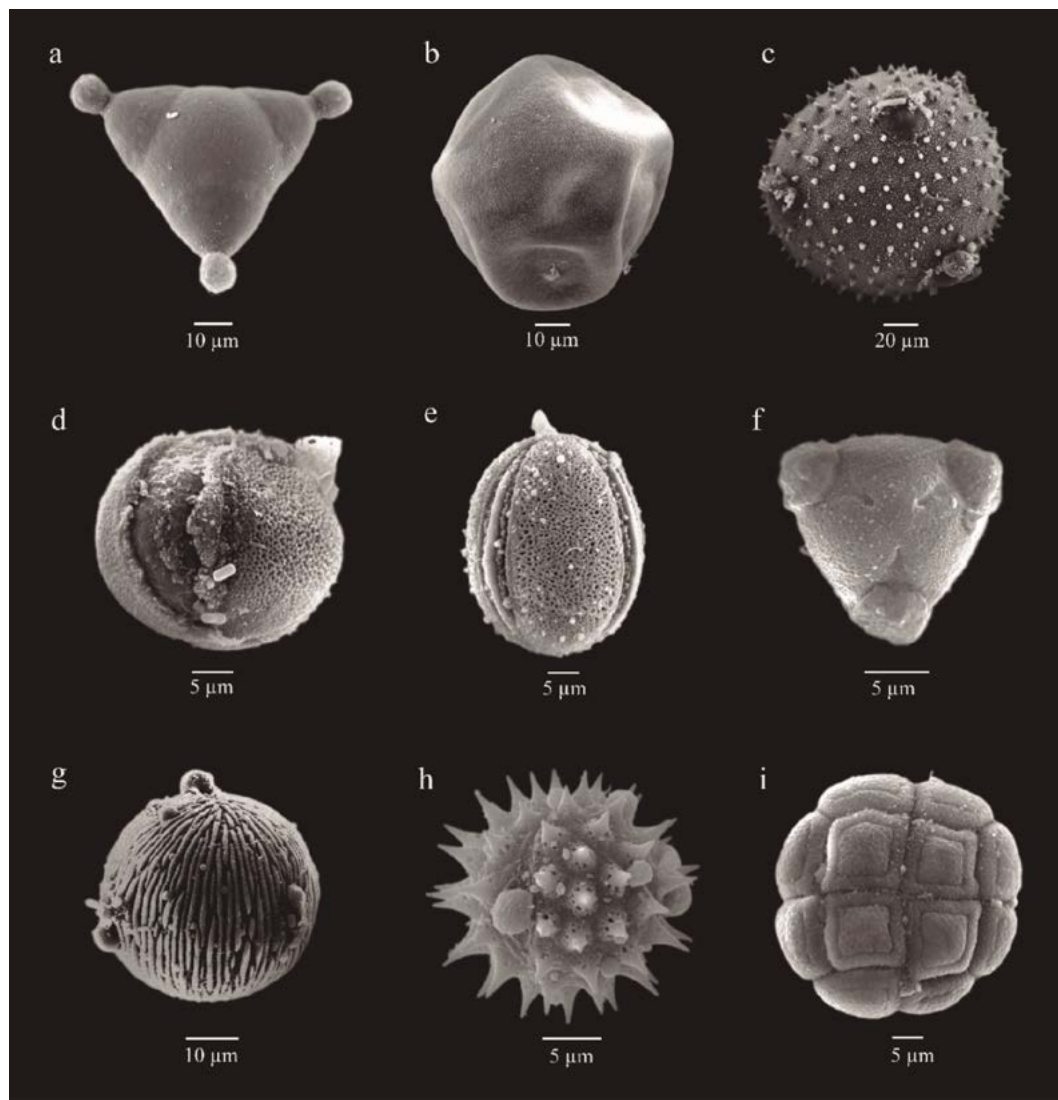
Apiario 3, San Miguel Pipillola, Españita. Se registraron 15 tipos polínicos, que correspondieron a 12 familias y una categoría morfológica. No se registró ningún tipo polínico predominante. La miel se determinó como estrictamente multifloral de Asteraceae, Brassicaceae y Onagraceae (Figura 3).

Apiario 4, San Francisco Mitepec, Españita. Se registraron 19 tipos polínicos, que correspondieron a 13 familias y cuatro categorías morfológicas. No se registró polen predominante. La miel se determinó como estrictamente multifloral de Asteraceae, Brassicaceae y Onagraceae (Figura 3).

Es importante conocer el origen botánico de las mieles a fin de conocer qué especies de plantas deben conservarse y cultivarse y asegurar la producción apícola. La identificación y diferenciación de mieles monoflorales o multiflorales aumenta su valor. De acuerdo con los resultados del estudio melisopolinológico, se registraron 45 tipos polínicos, de los cuales 12 se determinaron al nivel de familia, 23 al de género y 10 se nombraron por su categoría morfológica. Cinco taxones se presentaron en porcentajes significativos: Amaranthaceae tipo 1, *Bidens* sp. (Asteraceae), *Brassica* sp., *Lepidium* sp. (Brassicaceae) y *Lopezia* sp. (Onagraceae). Se caracterizaron tres mieles como multiflorales y una como monofloral de *Brassica* sp.

**Cuadro 2.** Presencia de polen en la miel de cuatro apiarios de Tlaxcala, México. P=Predominante ( $\geq 45\%$ ), S=secundario (16-45%), I=importancia menor (3-15%) y M=menor ( $\leq 3\%$ ).

Taxones	Altzayanca		Españita	
	Apiario 1	Apiario 2	Apiario 3	Apiario 4
<b>Monocotiledóneas</b>				
Araceae Tipo 1		M		
<i>Anthurium</i> sp.	M	M		
<i>Spathiphyllum</i> sp.			M	M
Bromeliaceae Tipo 1				M
Commelinaceae Tipo 1	M			
Poaceae Tipo 1		M	M	
<i>Zea</i> sp.	M	I	M	M
<b>Eudicotiledóneas</b>				
<i>Acacia</i> sp.			M	
<i>Alnus</i> sp.		M		
<i>Ambrosia</i> sp.		M		
Amaranthaceae Tipo 1	I	S	M	
Anacardiaceae Tipo 1	M			
<i>Bidens</i> sp.	S	S	S	S
<i>Brassica</i> sp.	P	S	I	I
<i>Carya</i> sp.		M		
<i>Cayaponia</i> sp.				M
Cupressaceae Tipo 1		M		
<i>Eucalyptus</i> sp.	M		M	
Euphorbiaceae Tipo 1				M
<i>Ipomoea</i> sp.				M
<i>Lepidium</i> sp.	M	M	S	S
<i>Lopezia</i> sp.	M		S	S
Melastomataceae Tipo 1				M
<i>Microsechium</i> sp.	M	M	M	M
Myrtaceae Tipo 1		M		
<i>Physalis</i> sp.		M	M	
<i>Pithecoctenium</i> sp.		M		
<i>Quercus</i> sp.		M		
<i>Salvia</i> sp.	M		M	M
Sapindaceae Tipo 1	M			
<i>Solanum</i> sp.	M	I	M	M
<i>Swartzia</i> sp.	M			
<i>Tabebuia</i> sp.		M		
Tiliaceae Tipo 1				M
<i>Ulmus</i> sp.		M		
Determinados por categoría morfológica (10 morfotipos)	M	M	M	M



**Figura 3.** Polen recuperado de cuatro muestras de miel de apiarios de Tlaxcala, México. Imágenes del microscopio electrónico de barrido. a) *Lopezia* sp. (Onagraceae); b) *Alnus* sp. (Betulaceae); c) *Ipomoea* sp. (Convolvulaceae); d) *Brassica* sp. (Brassicaceae); e) Indeterminado; f) *Lepidium* sp. (Brassicaceae); g) *Spathiphyllum* sp. (Araceae); h) *Bidens* sp. (Asteraceae); i) *Acacia* sp. (Fabaceae).

### AGRADECIMIENTOS


Al Proyecto 654 del Programa Investigadoras e Investigadores por México del CONAHCYT; al Posgrado en Botánica y al Colegio de Postgraduados por el financiamiento y acceso a infraestructura. Al M. en C. José Inocencio Guerrero Salinas por su apoyo y colaboración en la obtención de muestras de miel en los cuatro apiarios.

**Innovaciones, impactos e indicadores**

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Productores independientes Comunidades Agrarias Poblaciones en particular	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería  Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)	Social Económico Ambiental	Ciencia y Tecnología Económico Responsabilidad Ambiental Salud Pública	Competitividad Recursos Humanos Comercio	Número de tesis Número de egresados (Lic. M.C., D.C.) Número de publicaciones Número de familias beneficiadas
Modelo de negocio	Creación o reinención de un negocio						
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible						



# Efecto de la melatonina en el crecimiento de plantas de jitomate y maíz

Trujillo-García, David\* ; Díaz-Nuñez, José Luis ; Trejo, Carlos ; Uscanga-Mortera, Ebandro ; García-Esteva, Antonio ; Conde-Martínez, Víctor F. ; García-Nava, J. Rodolfo 

Programa de Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Montecillo, CP 56264, Texcoco, Estado de México.

\* Autor para correspondencia: trujillo.david@colpos.mx

## Problema

Las variaciones climáticas y la presión constante ejercida por el ser humano sobre los recursos naturales y el aumento continuo de la población mundial, han hecho que los actores de las actividades agrícolas enfrenten desafíos en la búsqueda de alternativas para asegurar la productividad de cultivos. En respuesta a estos desafíos, los bioestimulantes surgen como una opción factible e innovadora. Los bioestimulantes, derivados principalmente de fuentes naturales, tienen el potencial de aumentar la tolerancia de las plantas al estrés biótico y abiótico, mejorar la calidad nutracéutica de los cultivos y disminuir el uso de insumos tóxicos de origen sintético. Sin embargo, aún falta realizar más investigación y conocer otros efectos que podrían tener estos compuestos en el desarrollo de las plantas. En los últimos años se ha estado dilucidando el efecto de la melatonina en plantas, con la oportunidad de explorar nuevas aplicaciones que favorezcan la producción de alimentos inocuos en el entorno del cambio climático, que garantice la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola frente a los desafíos actuales. Se evaluó en condiciones de invernadero el efecto de la melatonina aplicada a semillas germinadas y al follaje en plantas de *Solanum lycopersicum* L. (jitomate) y *Zea mays* L. (maíz) durante los primeros 30 días después de la emergencia (Figura 1 A-B).

## Solución

La N-acetil-5-me-toxitriptamina o mejor conocida como melatonina, ha sido reconocida como un bioestimulante prometedor para su uso en la agricultura. En plantas, la melatonina está relacionada en la señalización de diferentes procesos del desarrollo, como la germinación, la floración y la maduración de frutos. Además, sus propiedades antioxidantes regulan el crecimiento vegetal, mitigan el estrés ambiental y mejoran la calidad nutricional de cultivos, propiedades que fomentan su uso en prácticas agrícolas sostenibles.

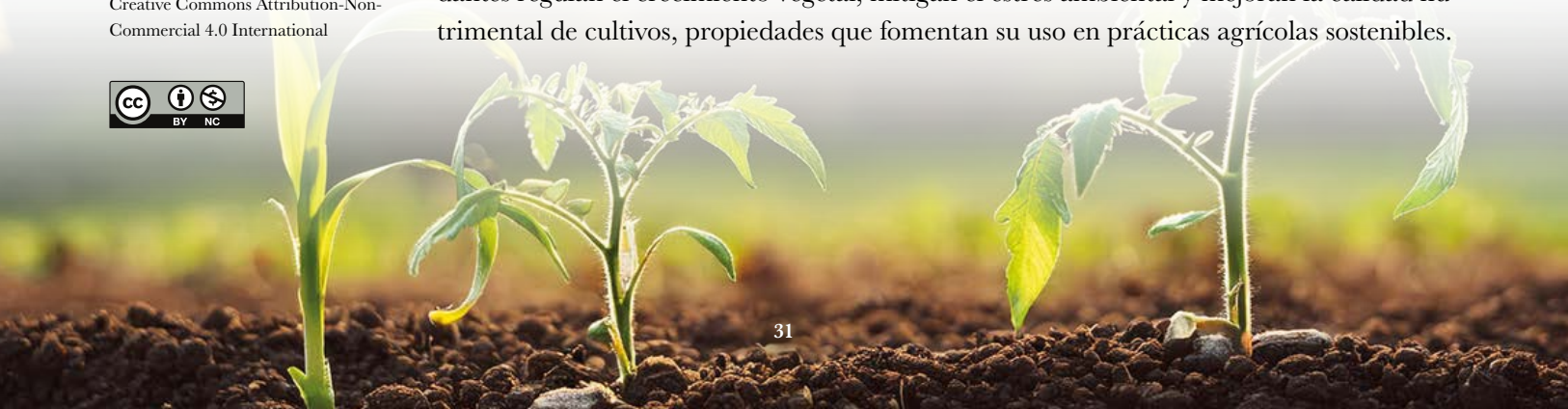
**Cómo citar:** Trujillo-García, D., Díaz-Nuñez, J. L., Trejo, C., Uscanga-Mortera, E., García-Esteva, A., Conde-Martínez, V. F., & García-Nava, J. R. (2024). Efecto de la melatonina en el crecimiento de plantas de jitomate y maíz. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.421>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6), Noviembre-Diciembre, 2024. pp: 31-34.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Internacional





**Figura 1.** Plantas de (A) jitomate y (B) maíz con aplicaciones de  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  de melatonina.

### Solución planteada

Se preparó una solución inicial de melatonina a  $10^{-3}$  M, diluyendo a  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  M (pH de 6.5 y 7.2, respectivamente). Previo a la siembra, se aplicaron 10 mL de agua destilada y las soluciones de melatonina durante dos horas a semillas de jitomate y maíz, que posteriormente se sembraron en vermiculita. Los tratamientos se aplicaron de manera foliar (agua destilada y soluciones de melatonina) cada siete días. El riego se dio cada tres días con solución Steiner. Al término del experimento, se evaluaron las variables: altura de la planta (cm), el diámetro del tallo (mm), el número de raíces adventicias, el peso seco de la raíz y vástago (g) y la concentración de fenoles totales ( $\text{mg g}^{-1}$  de peso seco). Las variables se analizaron con un diseño completamente al azar, con 10 repeticiones, utilizando Tukey ( $p \leq 0.05$ ), en RStudio versión 4.0.2.

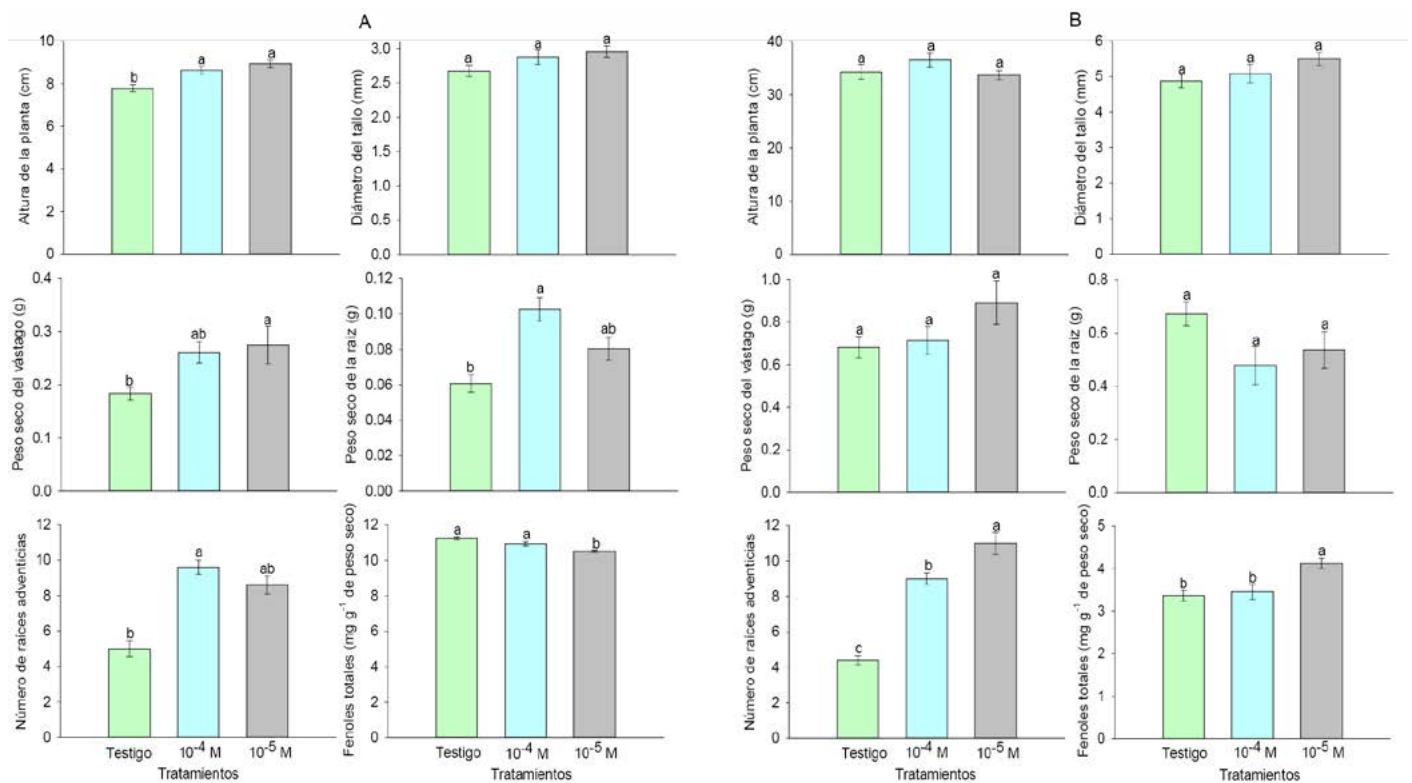
Los resultados mostraron que la aplicación de los tratamientos de  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  M de melatonina no afectó significativamente la altura de las plantas de jitomate, de igual forma en plantas de maíz, no se observó incrementos significativos en la altura (Figura 2A y B). Con relación al diámetro del tallo, en jitomate y maíz, los tratamientos de melatonina no afectaron el diámetro del tallo. (Figura 2A y B). Los resultados del peso seco del vástago en jitomate, la solución de melatonina de  $10^{-5}$  M incrementó significativamente el peso del vástago, con respecto a la solución  $10^{-4}$  M y al testigo ( $p \leq 0.05$ ). En el maíz no se observó efecto significativo. Para el peso seco de la raíz y número de raíces adventicias en jitomate, el tratamiento de melatonina de  $10^{-4}$  M aumentó el peso seco de la raíz y el número de raíces adventicias con respecto a la solución de  $10^{-5}$  M y al testigo de manera significativa ( $p \leq 0.05$ ). En maíz, la melatonina no tuvo impacto en el peso seco de la raíz, pero fue sig-

nificativo ( $p \leq 0.05$ ) en el número de raíces adventicias. (Figura 2A y B) Por último, la concentración de fenoles totales en jitomate, la solución de melatonina de  $10^{-5}$  M disminuyó la concentración de fenoles totales en comparación con el testigo de manera significativa. En maíz, el tratamiento de melatonina  $10^{-5}$  M incrementó ( $p \leq 0.05$ ) la concentración de fenoles en la planta (Figura 2A y B).

Las especies responden de manera diferente a la melatonina, ya que la edad de la planta y la forma de aplicación pueden influir en los resultados. Por lo tanto, es necesario realizar más investigaciones para comprender el impacto en plantas. Se recomienda el uso de melatonina en jitomate a concentración de  $10^{-4}$ , mientras que la aplicación en maíz requiere un estudio profundo para evaluar su eficacia en manejos agrícolas sostenibles. Además, hay una oportunidad para estimular la producción de raíces adventicias, lo que sugiere evaluar su efecto en combinación con otros bioestimulantes. Esto permitirá optimizar y maximizar los beneficios en el desarrollo de las plantas.

### Agradecimiento

Se agradece el apoyo de las Línea de Generación y/o Aplicación del Conocimiento “Cambio Climático, Estrés en Plantas y Mitigación”, “Gestión, Innovación y Valor Agregado de Recursos Vegetales” del Posgrado en Botánica en el Colegio de Postgraduados. Díaz-Nuñez J.L. agradece al Programa Investigadoras e Investigadores COMECYT (Folio: RCAT2024-0003).



**Figura 2.** Efecto de la aplicación de agua destilada y dos concentraciones de melatonina ( $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  M) al sustrato y a plantas de jitomate (A) y maíz (B) en la altura de la planta, el diámetro del tallo, el peso seco del vástago, el número de raíces adventicias y los fenoles totales (mg equivalentes de ácido gálico  $g^{-1}$  de peso seco;  $r=0.85$ ). Las barras representan el promedio de 10 observaciones  $\pm$  e.e. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas entre los tratamientos ( $\alpha \leq 0.05$ ).

**Innovación, impactos e indicadores**

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador	
			Sector	Ámbito				
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Asociaciones de Productores Productores independientes	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería  Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)	Social	Ciencia y Tecnología	Competitividad	Numero de tesis	
Procesos	Implementación de una nueva o significativa mejora de un método de producción o de suministro.			Económico	Económico	Económico	Recursos Humanos	Número de egresados (Lic. M.C., D.C.)
				Ambiental Conocimiento	Educación	Educación	Comercio	Número de publicaciones
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible				Responsabilidad Ambiental		Transferencias tecnológicas	
					Salud Pública			



# Estimación de la fecundidad en árboles de alta montaña con el empleo de vehículos aéreos no tripulados o drones

Olivares-Rosas, Nubia Mayte<sup>1</sup>; López-Mata, Lauro<sup>2\*</sup>; Arroyo-Cosultchi, Gabriel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Desarrollo Rural, Colegio de Posgraduados. Montecillo 56264, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>2</sup> Posgrado en Botánica, Colegio de Posgraduados. Montecillo 56264, Texcoco, Estado de México, México.

\* Autor de correspondencia: lauro@colpos.mx

**Cómo citar:** Olivares-Rosas, N. M., López-Mata, L., & Arroyo-Cosultchi, G. (2024). Estimación de la fecundidad en árboles de alta montaña con el empleo de vehículos aéreos no tripulados o drones. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.422>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 35-38.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) conocidos comúnmente como drones, son el resultado de la tecnología aeronáutica y robótica. Los drones son aeronaves de uso militar o civil que no requieren un piloto a bordo, se manejan con un sistema de control a distancia. Los drones civiles brindan ventajas importantes como su habilidad para llegar a lugares de difícil acceso (Kardasz *et al.*, 2016) y su capacidad para capturar imágenes aéreas de alta resolución en el ámbito local. En el caso de la ecología de bosques, el uso de drones se ha enfocado en las estimaciones de biomasa de los árboles, y para inferir la producción de madera (Pathak *et al.*, 2020). Sin embargo, el uso de drones como herramienta aplicable a ecología de bosques es mucho más amplia. El objetivo de este trabajo, es exponer una aplicación adicional de los drones para la estimación de la fecundidad efectiva de árboles adultos en su fase de reproducción activa, mediante la adquisición de fotografías de alta resolución tomadas directamente en las copas con un dron.

El área de estudio se localiza en el Monte Tláloc (19° 23' 43"- 19° 28' 37" N; 98° 42' 51"- 98° 48' 12" W, entre 3,100 y 3,500 msnm), ubicado en la zona norte del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl, en los estados de México y Puebla. En esta franja altitudinal se distribuye el bosque de oyamel, *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. y en él, se localizaron tres altitudes: superior a 3,500 m, intermedio entre 3250-3400 m, e inferior a 3,100 m. En cada nivel se establecieron tres parcelas permanentes de observación (PPO) de 2,500 m<sup>2</sup> (50 m × 50 m), nueve en total (7,500 m<sup>2</sup>).



Árboles reproductivos. - Dentro de las PPO se registraron y midieron todos los árboles en reproducción activa o con producción de conos. A estos árboles se le midió su diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura con un telémetro e hipsómetro Nikon, Forestry Pro II, con resolución de 0.3 m. La producción de conos se estimó mediante fotografías tomadas de sus copas con un dron. Las fotografías se tomaron solo si las copas eran visibles y se podían diferenciar de otras copas y evitar así su bloqueo sobre parte de ellas. A las copas de estos árboles se les tomó un número variable de fotografías desde varios ángulos hasta cubrir, en lo posible, toda la copa. Los fotogramas se tomaron con un dron DJI Mini 4 Pro de 249 gramos de peso, equipado con una cámara de 48 megapíxeles y cuatro sensores que detectan obstáculos en todos los ángulos durante el vuelo (DJI, 2024). Se procedió a posicionar el dron sobre la copa del árbol seleccionado, se ajustó la imagen al centro con la mayor cercanía y extensión de la copa para facilitar la visualización de los conos. Los fotogramas se proyectaron en pantalla para la selección, análisis y conteo de conos, el cual se llevó a cabo con el analizador de imágenes ImageJ (Schneider *et al.*, 2012). El número de conos se contrastó entre los tres niveles altitudinales para detectar diferencias entre ellos y entre pares de ellos. En un trabajo previo se estimó el porcentaje de viabilidad de semillas en las mismas PPO (Arroyo-Cosultchi *et al.*, 2022), con el cuál multiplicado por el número total de conos por árbol, fue posible estimar la fecundidad por árbol individual del oyamel.

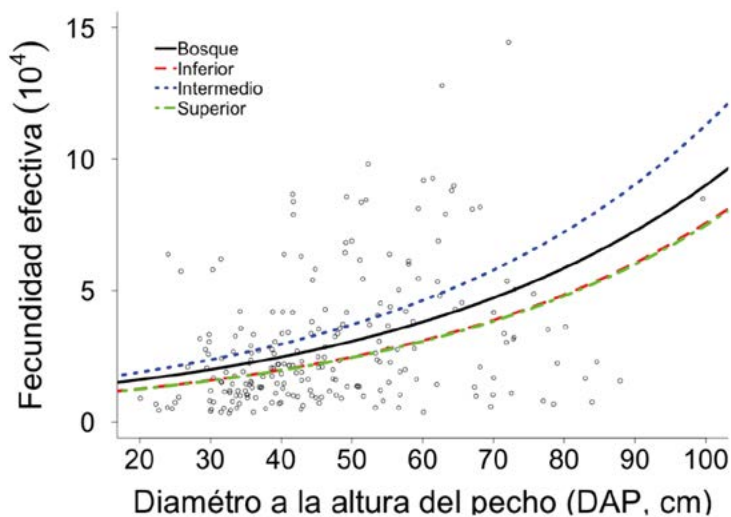
Se hicieron 134 vuelos, durante los meses de producción de conos de oyamel, de noviembre de 2023 a abril de 2024. Se tomaron 3,113 fotogramas en 33 horas de vuelo y 28.9 km recorridos. El número de árboles fotografiados en los tres niveles altitudinales fue de 225, de los cuales 56 (24.56%) correspondieron al nivel altitudinal superior, 108 (47.37%) al intermedio y 64 (28.07%) al inferior. Se contabilizaron 35,275 conos producidos en los 225 árboles reproductivos; 8,020 (22.74%) conos se produjeron en el nivel superior, 20,179 (57.20%) en el intermedio y 7,076 (20.06%) en el inferior. El total de conos por nivel altitudinal fue diferente entre los tres niveles altitudinales (Kruskal-Wallis:  $\chi^2=7.185$ ,  $P=0.027$ , g.l.=2). Sin embargo, se detectaron diferencias significativas solo entre los niveles altitudinales intermedio e inferior ( $P=0.009$ ), pero no entre el intermedio y el superior ( $P=0.134$ )



**Figura 1.** Fotogramas tomados de las copas de árboles con acercamientos para mejorar la visibilidad de los conos producidos y facilitar su conteo.

y el inferior y el superior ( $P=0.366$ ). La probabilidad reproductiva tendió a incrementarse con el DAP de los árboles adultos, con un máximo de 62% en árboles con más de 88 cm de DAP en el nivel intermedio. Por otra parte, el número total de semillas viables estimado por árbol individual o fecundidad efectiva, tendió a incrementarse a medida que el DAP aumentó (Figura 2). Se detectaron diferencias significativas en fecundidad efectiva entre los tres niveles altitudinales (Kruskal-Wallis:  $\chi^2=7.42$ ,  $P=0.0245$ , g.l.=2). La fecundidad efectiva promedio fluctuó entre los tres niveles altitudinales; fue más alta en el nivel intermedio con 36,540 y más baja en el nivel altitudinal inferior con 21,622, mientras que en el nivel superior fue de 27,054 semillas viables. Sin embargo, solo hubo diferencias significativas en fecundidad efectiva entre los niveles inferior e intermedio ( $P=0.0086$ ), pero no entre los niveles superior e intermedio ( $P=0.11$ ) y superior e inferior ( $P=0.428$ ).

El empleo de los drones en aspectos relacionados con la biología reproductiva de especies arbóreas es muy prometedor. La adquisición de fotogramas de la copa de árboles reproductivos o en reproducción activa facilitó su evaluación en particular de aquellos individuos de acceso complicado o fuera del alcance visual de los investigadores. La aplicación de los drones civiles para evaluar la reproducción y en particular de la fecundidad efectiva de especies arbóreas requiere de adecuaciones que dependerán de las especies bajo estudio. El empleo de vehículos aéreos no tripulados o drones en la evaluación de eventos reproductivos de árboles, tales como la fecundidad efectiva predispersión de árboles de alta montaña es recomendable en virtud de sus valiosas y numerosas ventajas y pocas desventajas superables. Entre ellas: acceso rápido o más rápido que cualquier otro método de evaluación. Evaluación más precisa que otros métodos basados en observaciones visuales directas. Alta precisión, claridad y rapidez en la toma de fotogramas que facilitan su lectura y conteo de conos y si fuera necesario la posibilidad de cotejarlos. Promoción del trabajo en equipo, con un mínimo de dos o tres personas entrenadas en el cuidado, uso y destreza en el manejo del dron, y en la localización, marcaje y toma de datos de los árboles



**Figura 2.** Relación de la fecundidad efectiva por árbol individual de oyamel y su DAP en los tres niveles altitudinales estudiados en el Monte Tláloc.






reproductivos. Capacidad de incrementar la eficacia en la toma y número de fotogramas de alta calidad con el dominio y gestión de los comandos del dron en ambientes naturales. Permite conocer la posición de los conos en la copa de los árboles. Con esta metodología es posible documentar los individuos reproductivos y su asociación con su calidad en términos reproductivos. Finalmente, no se presentan riesgos de seguridad para el equipo de investigación.

## REFERENCIAS

- Arroyo-Cosultchi, G., López-Mata, L. & Rivera Rios, A. (2023). Estructura poblacional y rasgos demográficos de *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. & Cham. en el Monte Tlaloc, Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl, México. *Botanical Sciences* 101(4): 1034-1048. 2023. DOI: 10.17129/botsci.3323
- DJI. (2024). Da Jiang Innovations. Obtenido de DJI Mini 4 Pro: <https://www.dji.com/mx/mini-4-pro>
- Kardasz, P., Doskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P., & Zarzycki, H. (2016). Drones and possibilities of their using. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 6. doi:10.4172/2165-784X.1000233
- Pathak, H., Kumar, G., Mohapatra, S., Gaikwad, B., & Rane, J. (2020). Use of drones in agriculture: Potentials, problems and policy needs. Baramati, India: ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management.
- Schneider, C., Rasband, W., & Eliceiri, K. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9:671-675. DOI: 10.1038/nmeth.2089



# Firmeza, sólidos solubles totales y potencial osmótico de hojas de siete especies de maguey con riego y sin riego

García-Nava, Francisca<sup>1</sup>; Peña-Valdivia, Cecilia Beatriz<sup>1\*</sup>; Trejo, Carlos<sup>1</sup>  
García-Nava, Rodolfo<sup>1</sup>; Ramírez Tobías, Hugo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 56264. México.

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. LGAC-CP: Cambio Climático, Estrés en Plantas y Mitigación.

\* Autora para correspondencia: cecilia@colpos.mx

## Problema

El género *Agave* se distribuye en el sur de Estados Unidos, México, América Central, el Caribe y América del Sur. México es considerado su centro de origen y diversidad debido a que cuenta con 272 de las 310 especies reconocidas, de las que 135 son endémicas. Las plantas de *Agave* están presentes en casi todos los estados de la República Mexicana, excepto Tabasco y Quintana Roo; aunque, algunas regiones y estados tienen más abundancia. El cultivo de maguey fue superado sólo por el de maíz en la agricultura mesoamericana. Los magueyes han sido utilizados desde la antigüedad para satisfacer y complementar necesidades básicas como alimento, forraje, medicamento, construcción y ornamentales, entre otros usos. Actualmente, continúa su uso para fines diversos, entre los que destacan la elaboración de fibras (extraídas principalmente de las hojas) y cerca de 10 especies de *Agave* son cultivadas para la elaboración de bebidas destiladas y fermentadas las cuales han adquirido importancia internacional (derivadas principalmente del tallo) de la que México es líder. Para esto último destacan *Agave cupreata*, *A. lechuguilla*, *A. salmiana*, *A. sisalana* y *A. tequilana*.

Las plantas de maguey prosperan principalmente en los ambientes de las zonas áridas y semiáridas, sitios donde las precipitaciones pluviales son menores a los 300 mm (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014). Las características fisiológicas y morfológicas de los magueyes les confieren capacidad notable de adaptación a los ambientes áridos, con disponibilidad limitada de humedad durante periodos prolongados hasta de un año y fluctuaciones amplias de temperatura entre el día y la noche; en esos ambientes se desarrollan y multiplican

**Cómo citar:** García-Nava, F., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., García-Nava, R., Ramírez Tobías, H. (2024). Firmeza, sólidos solubles totales y potencial osmótico de hojas de siete especies de maguey con riego y sin riego. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.423>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 39-47.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



fácilmente y su productividad es mayor que la mayoría de las plantas que se cultivan en estas zonas. Por su morfología (hojas suculentas modificadas y con cutícula gruesa) y tipo de metabolismo fotosintético estas plantas limitan la pérdida de agua, por transpiración, y la acumulan en tejidos especializados de sus hojas; además, su sistema superficial de raíces les permite utilizar rápidamente el agua de lluvias breves o intermitentes. La firmeza es un atributo de la textura de los tejidos, está relacionada con la estructura de los tejidos, el contenido de agua, la turgencia de las células, la composición de la pared celular y el grosor y composición de la cutícula, que es variable entre las especies vegetales, tejidos, edad o estado de desarrollo de la planta. El grosor de la cutícula, junto con otros atributos morfológicos, es adecuado para identificar y reconocer un gradiente de domesticación del género *Agave* (Lallana *et al.*, 2006).

El estrés hídrico es una condición que, por pérdidas excesivas de agua o inadecuada absorción, conduce a un desbalance hídrico suficiente para reducir la turgencia, disminuir la elongación celular y alterar negativamente los procesos fisiológicos esenciales en las plantas, y es dependiente de la especie y su nivel de tolerancia. Para evaluar estas reacciones en las plantas, frecuentemente se determina el potencial de agua ( $\Psi_A$ ), el potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) y la acumulación de algunos solutos o el contenido total de ellos (sólidos solubles totales, SST) como indicadores de la tolerancia a la sequía.

La naturaleza e intensidad de las respuestas de las especies de *Agave* a condiciones ambientales extremas, como la restricción de humedad en el suelo, pueden variar considerablemente dependiendo de la edad de la planta, estación del año y hora del día. Por la importancia económica y social que tienen los magueyes en México, y por el interés científico y tecnológico por estas plantas es fundamental generar información sobre sus características biofísicas y fisiológicas para desarrollar alternativas que propicien su aprovechamiento integral.

El gran acervo de magueyes mexicanos podrá aprovecharse después de evaluar y conocer los procesos fisiológicos que le permiten sobrevivir y prosperar en los ambientes extremos descritos, ya que la información sobre el tema es incipiente.

### **Solución planteada**

En hojas de plantas de siete especies de *Agave* de dos años de edad, cultivadas en invernadero con riego y estrés (suspensión de riego durante 20 meses) se evaluó la firmeza, el contenido de SST, y  $\Psi_s$  de tejido total, el parénquima y el clorénquima.

Las siete especies de maguey evaluadas fueron: *A. lechuguilla*, y *A. striata* del subgénero *Littaea* y *A. americana*, *A. angustifolia*, *A. asperrima*, *A. cupreata*, *A. salmiana* del subgénero *Agave*. Todas tienen importancia comercial y cultural ancestral y actual, pues, destacan por su uso para producir bebidas destiladas y fermentadas, para obtener fibras, alimentos y forraje (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014).

Las plantas fueron obtenidas de semillas y cultivadas en invernadero en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, México (clima BS1kw(w), con lluvias en verano e inviernos fríos), en macetas con 12 kg de una mezcla de suelo agrícola y grava de tezontle en proporción 3 a 1. Desde la siembra, hasta la emergencia de la segunda hoja las plantas fueron regadas una vez por semana, con agua suficiente para conservar el sustrato húmedo. Luego

se formaron dos grupos de plantas a uno se le proporcionó 1 litro de agua cada semana y al otro se le suspendió el riego durante 20 meses (humedad del suelo 30 y 3% respectivamente). El potencial de agua ( $\Psi_A$ ) se midió en el sustrato en cámaras psicrométricas (Wescor C-52, Inc, Utha, EE.UU.) conectadas a un microvoltímetro (Wescor HR-33T, Inc, Utha, EE.UU.), operado en el modo de punto de rocío. El  $\Psi_A$  fue  $-0.7 \pm 0.07$  y  $-5 \pm 0.41$  e.e. MPa en los tratamientos con riego frecuente y con riego suspendido.

### **Variables evaluadas**

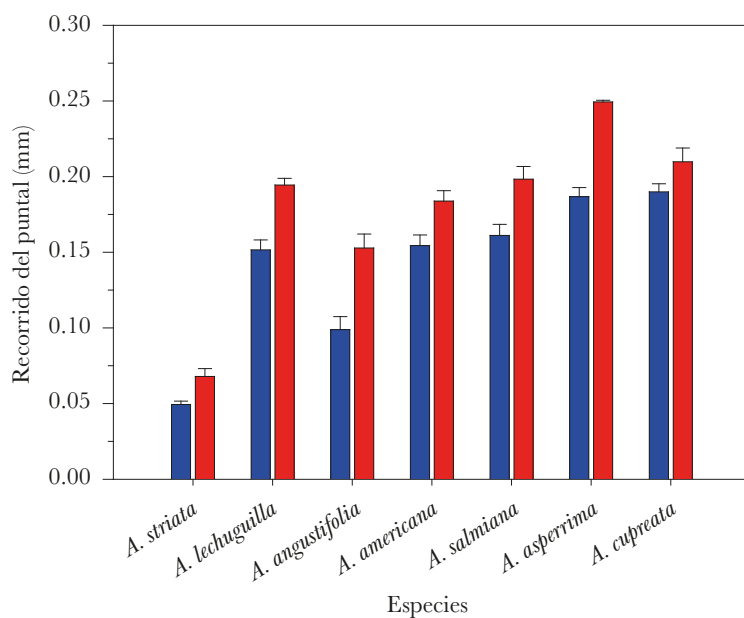
Las variables evaluadas en las hojas fueron firmeza, contenido de SST y potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) del tejido total, y del parénquima y el clorénquima, los dos tejidos de la hoja. La firmeza se determinó en la base, el centro y el ápice de la hoja (tres mediciones por sección) con un texturómetro-universal (Sommer and Runge KG, modelo Sur Berlín, Berlín-Friedenau). Este mide la distancia de penetración de un puntal cónico con 117.33 g de peso, 1.2 mm de diámetro y con caída libre por un intervalo de 4 s hasta la superior del tejido. Los resultados se expresan como: distancia de penetración del puntal en mm. Los sólidos solubles totales (SST) expresados como °Bx están constituidos por azúcares (80-95%) disueltos dentro de la célula (savia), su concentración en la planta depende directamente de la fotosíntesis en las hojas y de los factores climáticos del sitio de crecimiento principalmente. El contenido de SST fue evaluado en tres muestras de la base, centro y ápice de las hojas. Las muestras se obtuvieron con un sacabocados de 1.5 cm de diámetro, cada una fue envuelta en hoja de aluminio y fueron congeladas ( $-4$  °C por 24 h), posteriormente se introdujeron en una jeringa hipodérmica, se permitió su descongelación y el émbolo se presionó para obtener la savia a  $25 \pm 2$  °C. Una alícuota de savia (0.3 mL aproximadamente) se colocó sobre el sensor de un refractómetro digital (Atago PAL<sup>-1</sup>) y se obtuvo la lectura. El  $\Psi_s$ , junto con otras características de la planta, permite explicar cómo responde la planta el déficit de humedad, sus valores en la planta son menores a cero y negativos y sus unidades son los megapascuales (MPa). El  $\Psi_s$  del tejido total, del parénquima y del clorénquima fue evaluado en cinco secciones entre la base y el ápice de la hoja, extraídas con un sacabocados de 1 cm de diámetro. El clorénquima, tejido exterior (mesófilo de la hoja) debajo de la epidermis con las células con cloroplastos, fue separado manualmente del parénquima, con ayuda de un bisturí. Las muestras fueron empaquetadas en hoja de aluminio y congeladas (a  $-4$  °C por 24 h). Posteriormente fueron introducidas en jeringas hipodérmicas, se dejaron descongelar a  $25 \pm 2$  °C y 10  $\mu$ L del extracto celular se recolectaron con una micropipeta (Biopette autoclavable), fueron colocados sobre un disco de papel filtro de 6 mm de diámetro y el  $\Psi_s$  fue cuantificado en un osmómetro de presión de vapor (Wescor 5520, EE.UU.).

El diseño experimental fue completamente al azar con nueve repeticiones. La unidad experimental estuvo representada por una maceta (con tres plantas) y fueron evaluados 14 tratamientos (siete especies de magueyes y dos condiciones de humedad del suelo). Los datos fueron analizados con ANDEVA y comparaciones múltiples de medias, con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Variabilidad en la firmeza.** La firmeza de la hoja mostró diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre los subgéneros, las especies y las condiciones de riego; además, mostró un gradiente entre

las especies, en ambas condiciones de humedad, independiente del subgénero. Con riego *A. striata* tuvo la firmeza mayor (0.049 mm) y *A. aspérrima* y *A. cupreata* los valores menores (0.188 mm en promedio). Con la falta de riego la tendencia fue parcialmente similar, ya que *A. striata* y *A. aspérrima* mantuvieron el valor menor (0.068 mm) y mayor (0.249 mm) respectivamente. La firmeza disminuyó con la falta de riego, desde 9% en *A. cupreata* hasta 35% en *A. angustifolia* (Figura 1).

La cutícula afecta la firmeza y resistencia a la rotura del tejido, su grosor y composición son características que le confieren parte de esa resistencia. Los resultados mostraron indirectamente que el grosor de la cutícula de las hojas de maguey parece disminuir y su composición y ultraestructura parece cambiar con la restricción de humedad y no es similar entre las especies. Una de las funciones de la cutícula es actuar como barrera que reduce la pérdida de agua y difusión de gases. La cutícula es viscoelástica y solidifica la pared celular de la epidermis. La rigidez de la cutícula es atribuible a los polisacáridos (moléculas hidrocarbonadas de peso molecular alto) y flavonoides. La matriz de la cutina es principalmente responsable de su elasticidad; los flavonoides refuerzan la elástica de los polisacáridos y, junto con las ceras, tienden a reducir la movilidad de la cutina y aumentan la rigidez (Lallana *et al.*, 2006). Los flavonoides son un grupo amplio de metabolitos secundarios. Una de las funciones de los flavonoides en las plantas es filtrar los rayos ultravioleta, protegiéndolas de este factor de estrés; además, los flavonoides tienen funciones de reguladores del ciclo celular. La firmeza foliar menor de las plantas sin riego puede deberse a modificaciones de la composición de los tejidos. Las hojas de las plantas de *A. angustifolia*, de ocho años de edad, de tres regiones de Oaxaca, presentaron un contenido de humedad en la hoja de 79, 82 y 83.25% respectivamente, la resistencia de las hojas con menos humedad



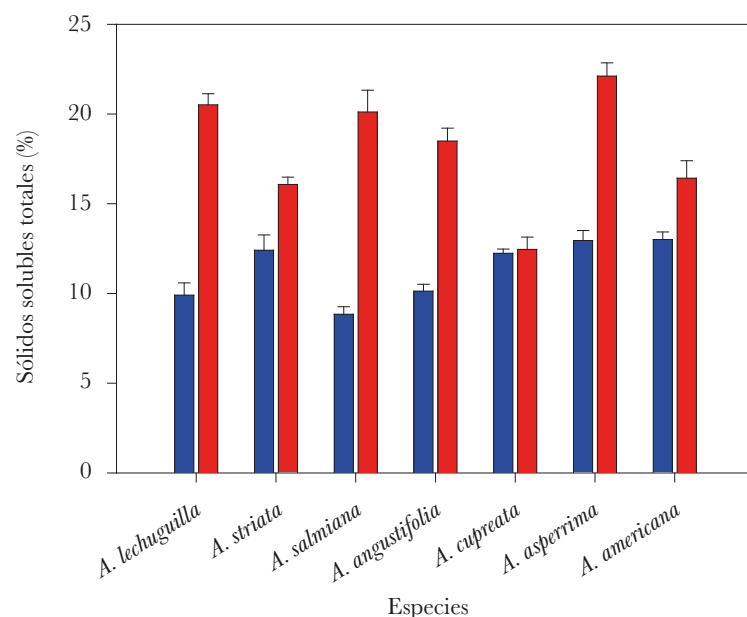
**Figura 1.** Efecto del riego (barras azules) y su suspensión por 20 meses (barras color rojo) en el recorrido del puntal (penetración del tejido) del texturómetro (+e) en hojas de *Agave* spp. (n=9).

presentó menor rigidez en la cutícula, debido a que la celulosa se deshidrató y cristalizó, las hemicelulosas presentaron rigidez menor.

En contraste, a mayor humedad, los polisacáridos se hidratan, se hinchan y engrosan el tejido, la viscosidad de la cutícula aumenta, su apariencia macroscópica se modifica y la firmeza de la hoja aumenta. Además de la humedad, la madurez y el contenido de fibra afectan las características mecánicas de los tejidos vegetales (Lallana *et al.*, 2006). La textura está relacionada con la composición química y estructura de las paredes celulares del parénquima. Las microfibrillas cristalinas de celulosa, que constituyen 35% del residuo seco, las hemicelulosas, pectinas y lignina son responsables de la firmeza del vegetal; las fibrillas están en las paredes celulares de los tejidos encargados del soporte y la protección. Además, la turgencia que es característica responsable de la firmeza y succulencia de los vegetales, depende del agua que puede constituir hasta 96% del peso del tejido.

**Variabilidad en sólidos solubles totales.** El contenido de SST en la hoja varió ( $P \leq 0.05$ ) ampliamente entre y dentro de los subgéneros, en ambas condiciones de humedad. Con el riego *A. striata* acumuló 25% más SST que *A. lechuguilla*; en contraste, sin riego la última acumuló 31% más SST que *A. striata*, pero ambas incrementaron significativamente el contenido de SST. En este caso sobresalió *A. lechuguilla* porque duplicó el valor. En el resto de las especies el contenido de SST fue significativamente menor con riego que sin él, con excepción de *A. cupreata*. La disminución de humedad incrementó 24% en *A. americana* hasta 73 y 81% en *A. asperima* y *A. angustifolia*. El incremento en *A. salmiana* representó más del doble (Figura 2).

Los SST representan la concentración de azúcares y otras moléculas, como ácidos orgánicos, aminoácidos y péptidos, solubilizadas en la savia de los tejidos vegetales; pero los azúcares son generalmente los más abundantes. Las diferencias en el contenido de SST

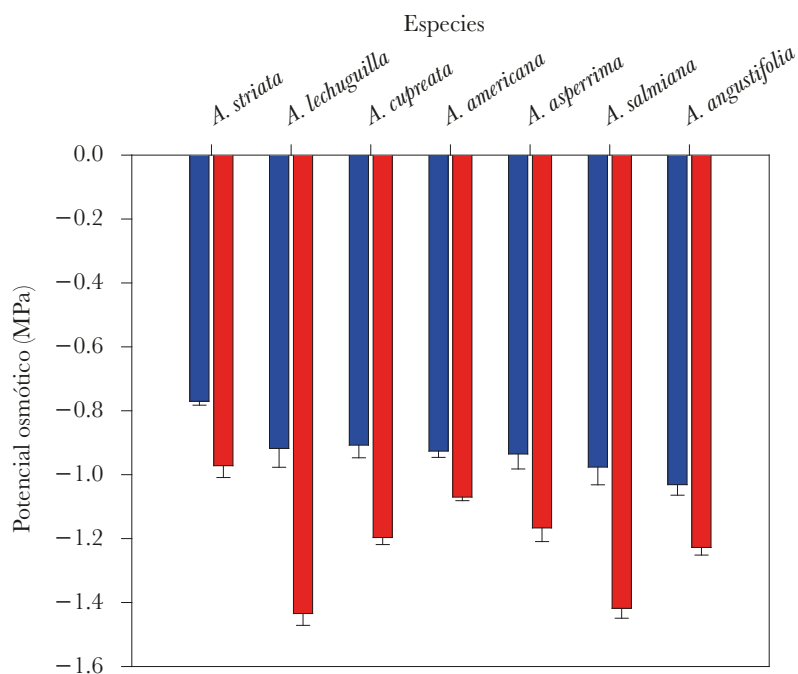


**Figura 2.** Efecto del riego (barras color azul) y su suspensión por 20 meses (barras color rojo) en el contenido de sólidos solubles totales (+e.e) de las hojas de *Agave* spp. ( $n=27$ ,  $P \leq 0.05$ ).

entre las especies, además del estrés hídrico, pueden ser efecto de la especie. La composición química y el perfil de carbohidratos de las hojas de las plantas jóvenes de maguey pueden ser materia prima para obtener jarabe de fructosa, fructosa cristalina, edulcorantes (fructoligosacaridos e inulina) y etanol, ácido cítrico, sorbitol o ácido glucónico (Martínez *et al.*, 2012).

Está documentado que la acumulación de SST en hojas de maguey en épocas secas se debe al efecto de la concentración de compuestos como los azúcares; además, la temperatura también modifica directamente la succulencia y riqueza de reservas de la planta. Estos cambios en los vegetales además de relacionarse con el incremento de la concentración de solutos por efecto de la deshidratación celular también resultan de la acumulación celular activa de ellos, reduciendo el potencial osmótico y por lo tanto permiten mantener el potencial de turgencia positivo en los tejidos. La acumulación de solutos ha sido asociada con el mantenimiento de la integridad y funcionalidad de las membranas celulares, estructuras de las proteínas y disminución de los daños oxidativos. La acumulación de solutos en la raíz de las plantas durante el ajuste osmótico se correlaciona con la tolerancia al estrés por déficit de humedad en numerosas especies.

**Variabilidad en el potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) del tejido foliar.** En el subgénero *Littaea*, el  $\Psi_s$  fue menor ( $P \leq 0.05$ ) en *A. lechuguilla* respecto a *A. striata* en ambas condiciones de humedad y en ellas disminuyó ( $P \leq 0.05$ ) 21 y 36% por la falta de riego. En el subgénero *Agave*, el  $\Psi_s$  no fue diferente ( $P > 0.05$ ) entre las especies con riego; con la suspensión del riego el  $\Psi_s$  disminuyó en las cinco especies, desde  $-1.07$  hasta  $-1.42$  MPa en *A. americana* y *A. salmiana*. La disminución no fue proporcional al valor con riego y las diferencias mayores del  $\Psi_s$  se detectaron con la suspensión del riego entre las siete especies (Figura 3).



**Figura 3.** Efecto del riego (barras color azul) y su suspensión por 20 meses (barras color rojo) en el potencial osmótico foliar ( $-e.e$ ) de *Agave* spp. ( $n=15$ ,  $P \leq 0.05$ ).

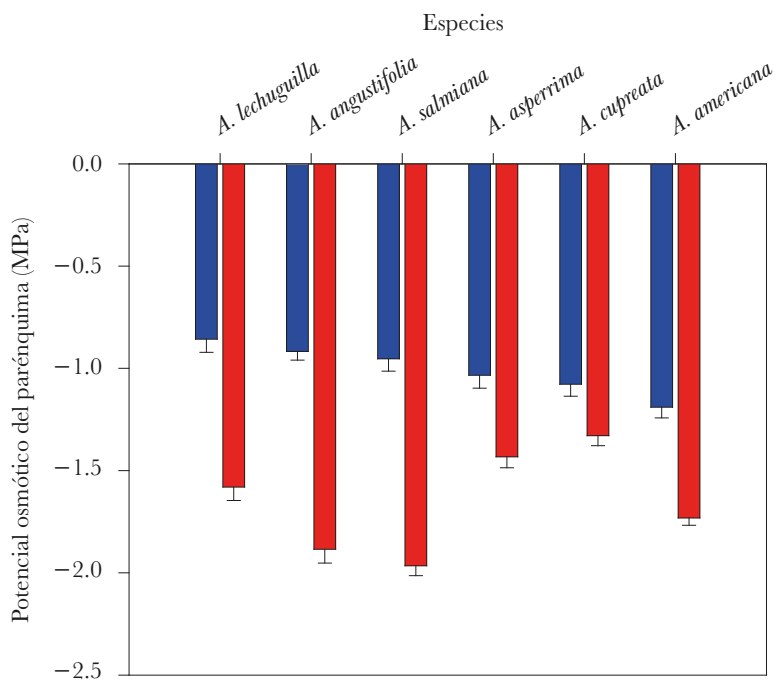
La disminución de la humedad del suelo generalmente incrementa la concentración de solutos celulares en las plantas; esto permite mantener la absorción del agua y la presión de la turgencia celular, lo que está relacionado con el decremento del  $\Psi_s$  de las células. Al respecto, la acumulación de solutos es un mecanismo fisiológico que permite la disminución del daño celular y la deshidratación de las células. La intensidad de esta respuesta puede ser una adaptación de las plantas, como los magueyes, ya que contribuye a su resistencia a las sequías y desecación extrema, minimiza la foto-inhibición y mantiene a la planta en un estado metabólicamente activo en esos períodos y podría incrementar su tolerancia y tasa de supervivencia.

Además de la disminución del número de estomas, el área y de la acumulación de biomasa foliar e incremento de la asignación de biomasa a la raíz, grosor de las hojas, características que favorecen su éxito de las plantas de *Agave* en ambientes áridos y semiáridos durante periodos prolongados de sequía, ahora pueden incluirse el incremento de SST y del  $\Psi_s$  osmótico de la hoja.

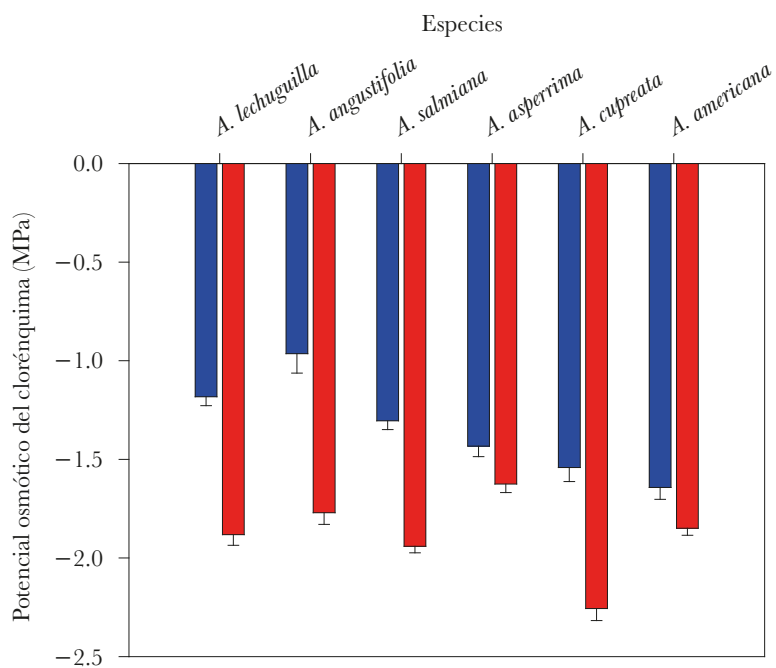
**Variabilidad en el potencial osmótico del parénquima.** Debido al contraste en el  $\Psi_s$  de las hojas entre las especies de *Agave* y a las funciones contrastantes del parénquima (responsable de almacenar agua) y el clorénquima (responsable de la fotosíntesis), el  $\Psi_s$  de estos dos tejidos separados fue evaluado. Los resultados permitirán conocer si esos tejidos amortiguan igualmente la restricción de humedad entre las especies de *Agave*. El  $\Psi_s$  del parénquima mayor y menor entre las seis especies, con riego, correspondió a *A. lechuguilla* ( $-0.89$  MPa) y *A. americana* ( $-1.2$  MPa) respectivamente. La restricción de humedad disminuyó ( $P \leq 0.05$ ) el  $\Psi_s$  del parénquima de las seis especies, entre  $-1.3$  MPa en *A. cupreata* y  $-2$  MPa en *A. salmiana*. Las diferencias menores y mayores del  $\Psi_s$  en este tejido, entre riego y déficit de humedad las presentaron *A. cupreata* y *A. angustifolia* y *A. salmiana* respectivamente (Figura 4). Estas diferencias son parte de los ajustes fisiológicos que le permiten al parénquima mantener las relaciones hídricas adecuadas, en el mismo y los demás tejidos, durante la sequía. El ajuste del  $\Psi_s$  también permite el mantenimiento de la turgencia de las células y evitan su plasmólisis.

**Variabilidad en el potencial osmótico de clorénquima.** El  $\Psi_s$  del clorénquima de los subgéneros en el suelo hidratado fluctuó entre  $-1.64$  y  $-0.96$  MPa en *A. americana* y *A. angustifolia*. El cambio menor y mayor por efecto del déficit de humedad se observó en *A. asperima* y *A. angustifolia*, respectivamente (Figura 5). Las hojas de maguey, como otras suculentas, presentan un tejido externo fotosintéticamente activo, llamado clorénquima, en el que se llevan a cabo los aspectos típicos de las plantas con metabolismo ácido crasuláceo (MAC). Una característica adaptativa de las plantas de maguey, como en nopal, es que prolongan la actividad fisiológica durante la sequía mediante el almacenamiento de agua en el parénquima; esta característica es identificada como succulencia de las hojas.

El agua del parénquima que parece perderse durante la sequía es enviada al tejido fotosintético (clorénquima, responsable de la fijación de carbono y la actividad fotosintética); esto lo mantiene hidratado durante períodos largos de sequía y permite continuar creciendo a las plantas por varios meses en condiciones de estrés hídrico. Sin embargo, el potencial osmótico del clorénquima entre las especies de *Agave* fue significativamente menor con restricción de humedad en parénquima, con  $-2.0$  MPa en *A. salmiana* y  $-1.4$  MPa en *A.*



**Figura 4.** Efecto del riego (barras color azul) y su suspensión por 20 meses (barras color rojo) en el potencial osmótico (-e.e) del parénquima de hojas de *Agave* spp. (n=15,  $P \leq 0.05$ ).



**Figura 5.** Efecto del riego (barras color azul) y su suspensión por 20 meses (barras color rojo) en el potencial osmótico (-e.e) del clorénquima de las hojas de *Agave* spp. (n=15,  $P \leq 0.05$ ).

*cupreata*, respecto al clorénquima, con  $-2.4$  MPa en *A. cupreata* y  $-2.0$  MPa *A. salmiana*. Las diferencias están relacionadas con las funciones biofísicas, fisiológicas y bioquímicas de cada tejido.

La deficiencia de la humedad en el suelo promovió el incremento tanto de la firmeza de la hoja, como del contenido de sólidos solubles totales y la disminución del potencial osmótico de las hojas. Los cambios de las características biofísico-fisiológicas de las hojas de *Agave* son parcialmente dependientes de la humedad del suelo y de la especie y son características adecuadas para evaluar la tolerancia de las plantas al estrés por sequía. Además, dependiendo de la utilidad por el uso que se le vaya a dar (construcción, alimento, fibra, etc.) se podrían definir periodos de falta de agua en el cultivo para tener un mayor rendimiento en la utilidad que se desee.






### Innovación, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos.	Asociaciones Académicas y Científicas. Gobierno de los Estados. Productores. Comunidades Agrarias.	Primario: Agricultura, Ganadería, Explotación forestal. Secundario: Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación.	Social. Económico. Ambiental. Conocimiento. Uno, o la combinación de dos o más de las opciones anteriores.	Ciencia y Tecnología. Económico. Educación. Responsabilidad ambiental. Uno o la combinación de dos o más de las opciones anteriores.	Competitividad. Recursos naturales. Comercio. Capacitación. Uno o combinación de dos o más de las opciones anteriores.	Numero de tesis. Número de egresados (Lic. M.C., D.C.). Número de publicaciones. Número de familias beneficiadas. Transferencias tecnológicas. Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico.





# Hongos fitopatógenos asociados a malezas: una fuente para el desarrollo de bioherbicidas

Bibián-León, M. Esmeralda<sup>1</sup>; Barrios-González, Javier<sup>2</sup>; Vibrans, Heike<sup>1</sup>; Trejo, Carlos<sup>1</sup>; Uscanga-Mortera, Ebandro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5, Carretera Federal México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. C.P. 56264.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1 A Sección, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, Ciudad de México.

\* Autor para correspondencia: euscanga@colpos.mx

## Problema

Las malezas son plantas silvestres que pueden afectar negativamente las actividades humanas, especialmente la agricultura. Las malezas relacionadas con cultivos (arvenses) compiten por luz, agua, nutrientes y espacio (Figura 1). Cuando su población no se controla causan pérdidas en la producción y contaminan la cosecha con semillas o partes vegetativas. El principal método de control de las arvenses en la agricultura moderna son los herbicidas, pero su uso intensivo fomenta la aparición constante de biotipos resistentes de estas plantas, lo que reduce la eficiencia de los productos y lleva al aumento de las dosis (y costos de producción). También se ha demostrado el impacto nocivo de estos productos químicos en los ecosistemas y la salud humana.

## Solución planteada

El control biológico de malezas ha resurgido como una alternativa al uso de los herbicidas; se basa en el uso de sus enemigos naturales para controlarlas. Los hongos fitopatógenos son una de las principales plagas para los cultivos; sin embargo, cumplen funciones muy importantes dentro de los ecosistemas, infectan plantas para alimentarse de ellas, controlando así su población, pero también reciclan nutrientes y contribuyen en la descomposición de la materia orgánica en el suelo.

El objetivo de este proyecto es aprovechar la relación trófica entre las malezas y hongos fitopatógenos para desarrollar un bioherbicida específico contra algunas especies de arvenses importantes, pero que sea inocuo para los cultivos. Se aislaron cepas fúngicas de muestras de malezas enfermas del Estado de México y Veracruz durante el verano de 2022. Las muestras se lavaron y se incubaron en cámaras húmedas para fomentar el desarrollo fúngico. Después de siete días, los hongos se aislaron en medios de cultivo agar

**Cómo citar:** Bibián-León, M. E., Barrios-González, J., Vibrans, H., Trejo, C., Uscanga-Mortera, E. (2024). Hongos fitopatógenos asociados a malezas: una fuente para el desarrollo de bioherbicidas. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.424>

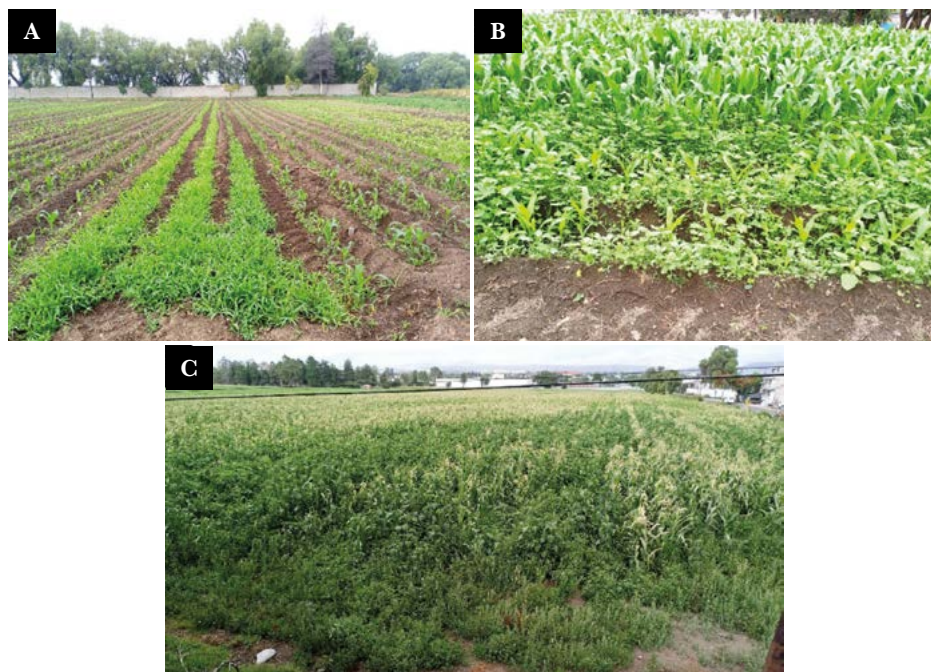
**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 49-52.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



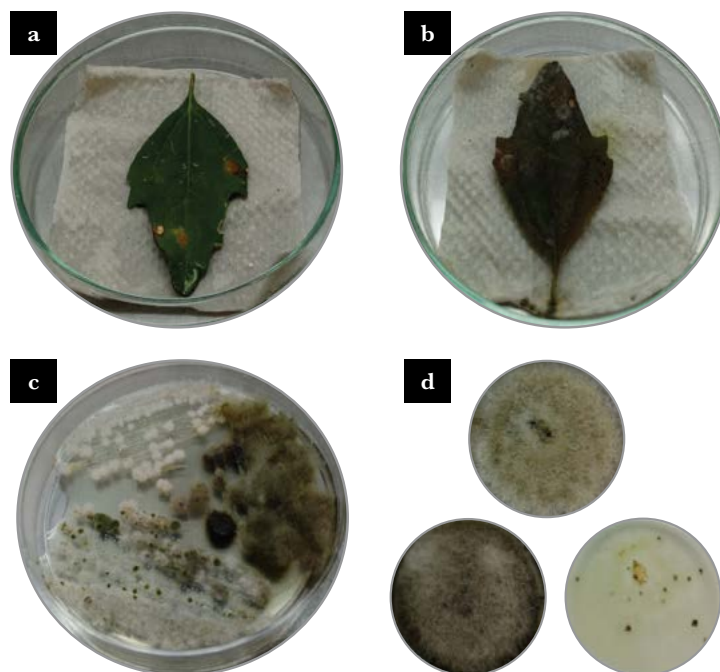


**Figura 1.** Impacto de las malezas en cultivos de maíz en etapa vegetativa (a, b) y reproductiva (c). Nótese el deterioro en el crecimiento de la milpa en las zonas donde las malezas no se controlaron, principalmente al inicio del ciclo.

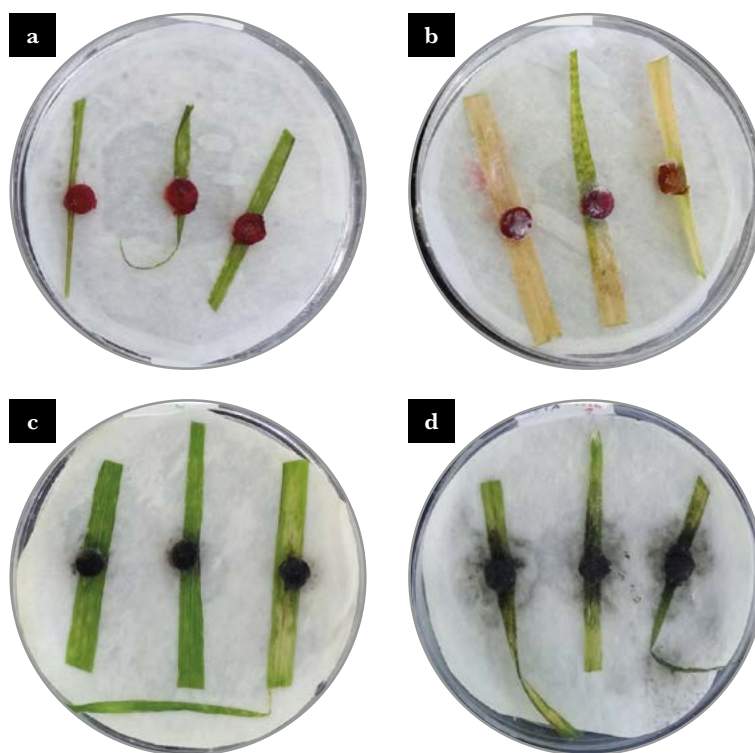
papa dextrosa (PDA) hasta obtener cultivos axénicos, que se conservaron en aceite mineral (Figura 2). Después de este proceso, se obtuvo una colección de 550 cepas aisladas de aproximadamente 30 especies de malezas.

Posteriormente, se evaluó la capacidad de estas cepas para infectar selectivamente a una maleza sin afectar a algunos cultivos importantes, mediante bioensayos en hojas desprendidas en laboratorio, usando como inóculo cultivos fúngicos en PDA de 7 días. Se eligió trabajar con las malezas acahualillo (*Simsia amplexicaulis* (Cav.), aceitilla (*Bidens odorata* Cav.), quintonil (*Amaranthus hybridus* L.), al pistillo (*Phalaris minor* Retz) y avena loca (*Avena fatua* L.), que son muy comunes en los cultivos del centro del país. Los cultivos estudiados fueron maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), avena (*Avena sativa* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.). Se analizaron 162 cepas, de las cuales 55 mostraron infectividad específica a una especie de maleza y no al cultivo (Figura 3).

Finalmente, se evaluó la capacidad de las cepas fúngicas para producir moléculas con actividad fitotóxica. Se realizaron fermentaciones en medio líquido utilizando caldo de papa y dextrosa como medio de cultivo. Posteriormente, estos caldos de fermentación se filtraron en membranas de  $0.45 \mu\text{m}$  para eliminar el crecimiento fúngico y se aplicaron por aspersión a plántulas de las malezas mencionadas y también de cultivos. Cinco cepas produjeron moléculas que tenían un efecto fitotóxico en alguna de las especies estudiadas. La más notable fue una cepa del género *Aspergillus*, que produjo fitotoxinas capaces de matar plántulas de la maleza *A. hybridus* en 48 h (Figura 4).



**Figura 2.** Etapas del aislamiento de hongos. a) Muestra de hoja de quelite cenizo con signos de enfermedad en incubación inicial en cámara húmeda. b) Muestra de hoja de quelite cenizo en cámara húmeda después de siete días. c) Aislamiento inicial de las cepas en agar papa dextrosa d) Cultivos axénicos.



**Figura 3.** Bioensayos de patogenicidad *in vitro* de siete días con la cepa 255A en *A. sativa* (a) y *P. minor* (b), y con la cepa 267A en *A. sativa* (c) y *A. fatua* (d). Nótese como ambas cepas infectan más a las malezas (b y d) que al cultivo de avena (a y c).

Estos resultados son el avance para el desarrollo de un bioherbicida con aplicación al campo mexicano. Se continúa trabajando para determinar el método más adecuado para producir las moléculas fitotóxicas y su identificación.




**Figura 4.** Pruebas de actividad fitotóxica de las moléculas producidas por la cepa 263H en plántulas de *A. hybridus*. a) Testigo, sin aplicación. b) Aplicación del caldo de fermentación después de 48 h.

### Innovación, Impactos e Indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Innovación sostenible	Identificación de hongos generadores de compuestos tóxicos con actividad herbicida.	Asociaciones de Productores Gobierno de los Estados Productores independientes Comunidades Agrarias	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I)	Ambiental Conocimiento	Ciencia y Tecnología Responsabilidad Ambiental Salud Pública	Competitividad Comercio	Numero de tesis egresados (Lic. M.C., D.C.) Número de publicaciones Desarrollo de productos y servicios para la sociedad

# Importancia del trabajo taxonómico en el conocimiento y aprovechamiento de plantas con potencial agroalimentario

Burgos-Hernández, Mireya<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Posgrado en Botánica. Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, México. C.P. 56264.

\* Autor para correspondencia: burgos.mireya@colpos.mx

## Problema

La seguridad alimentaria, la sostenibilidad de los ecosistemas, el crecimiento económico y la equidad social son los desafíos más importantes a los que se enfrenta la humanidad (Dhankher y Foyer, 2018). Se estima que para el año 2050, la población mundial alcanzará aproximadamente los 9,700 millones de personas, lo que provocará un aumento en la demanda media anual de alimentos, por lo que la producción tendría que duplicarse (FAO, 2009; FAO *et al.*, 2022). Este aumento supera las mejoras esperadas en el rendimiento de los cultivos (Pérez-Vázquez *et al.*, 2018), aun cuando se prevé una intensificación y

**Cómo citar:** Burgos-Hernández, M. (2024). Importancia del trabajo taxonómico en el conocimiento y aprovechamiento de plantas con potencial agroalimentario. *Agro-Divulgación*, 4(56). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.426>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iniguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 53-59.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



Carta agrícola (lámina VIII) de Antonio García Cubas. Atlas pintoresco e histórico de los Estados Unidos Mexicanos (Tomada y modificada del Instituto de información Geográfica y Estadística del estado de Jalisco. Colección de mapas históricos de David Rumsey).



tecnificación para alcanzar los niveles de producción necesarios (FAO, 2009). A lo anterior, se suman las limitaciones en la tierra, el agua y otros recursos naturales, la competencia por la tierra para fines no alimentarios, la degradación del suelo, el cambio climático, la pérdida actual de biodiversidad y, junto con ello, la erosión de los recursos genéticos de los cultivos alimentarios más importantes en todo el mundo (Godfray *et al.*, 2010, Castañeda-Álvarez *et al.*, 2016).

Tal información adquiere mayor significado si consideramos que de las más de 50,000 plantas comestibles conocidas en todo el mundo, sólo alrededor de 30 son responsables del 95% de la producción de alimentos, y sólo tres (arroz, maíz y trigo) representan dos tercios de ella (Gruber, 2017). Enfocar esfuerzos en desarrollar investigación que contribuya a diversificar los cultivos, fomentar la utilización y preservación de plantas nativas silvestres con potencial alimentario y establecer sistemas agrícolas sostenibles, es urgente y pertinente, y donde el trabajo taxonómico resulta clave.

### Un poco de historia...

El continente americano es hogar de una gran diversidad de cultivos. Este es el caso particular de los *hotspots* en Mesoamérica, especialmente el centro de México, donde se han registrado algunos de los restos más antiguos de plantas cultivadas (Figura 1) y se considera que la agricultura pudo haberse originado hace alrededor de 10,000 años (Piperno *et al.*, 2007, 2009). Esta región es un centro clave de domesticación de plantas y donde los sistemas agrícolas tradicionales han contribuido a la constante evolución cultural y biológica de los recursos florísticos (Galluzzi y López, 2014).

La adopción de la agricultura fue un proceso gradual y se han propuesto varias hipótesis sobre su origen. Una teoría sugiere que la agricultura surgió como un medio de subsistencia humana debido a la posible escasez de recursos obtenidos a través de la búsqueda de alimento, los cambios climáticos o el crecimiento de la población (Casas y Caballero, 1995; Zizumbo-Villarreal y Colunga-GarcíaMarín, 2010). Estos mismos factores siguen impulsando cambios en los sistemas agrícolas y alimentarios en la actualidad.

En la búsqueda por comprender el origen de la agricultura, se han realizado estudios con grupos humanos que aún dependen de la recolección de plantas silvestres para su subsistencia. Uno de los hallazgos más importantes de estos estudios es la gran variabilidad



Figura 1. Cultivo de maíz por los aztecas. Fuente: Códice Florentino. Obra de dominio público.

encontrada dentro de cada especie, la cual, es utilizada y manejada de manera diferente por las culturas mesoamericanas. El manejo y utilización de estas especies están estrechamente vinculados a sus rasgos morfológicos observables, incluidos sabores, colores, tamaños y sus combinaciones (Pancorbo-Olivera *et al.*, 2020, Solís-Becerra y Estrada-Lugo, 2014; Fonteyne *et al.*, 2023).

Actualmente se han documentado en México, 8,000 especies de plantas y sus variedades utilizadas principalmente en alimentación, medicina y construcción (Solano, 2018). Sin embargo, muchas de ellas son desconocidas por la mayor parte de la población del país, incluso por los tomadores de decisiones en temas de seguridad alimentaria. Como resultado de esto y de la falta de concientización, estos recursos están siendo destruidos junto con los hábitats donde se encuentran.

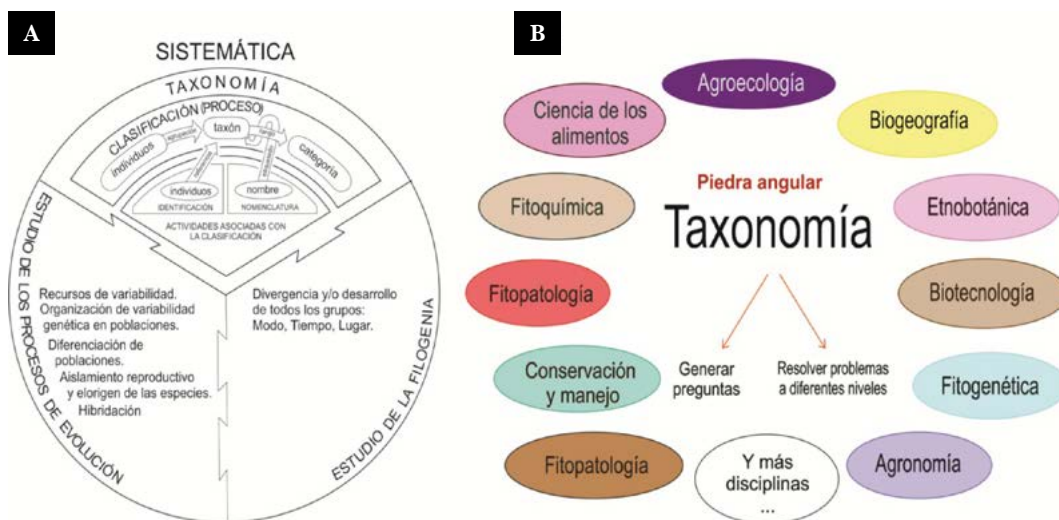
Uno de los retos más urgentes y emergentes, es mejorar la calidad de vida humana sin perjuicio y detrimento de la naturaleza. Lo anterior, parte indudablemente de conocer la gran riqueza, en este caso, florística de nuestro país, que constituye un importante reservorio de diversidad en todos sus niveles, con gran potencial para ser incorporados en los sistemas productivos locales y nacionales, junto con las estrategias adecuadas para su conservación.

El uso exitoso de estos recursos naturales depende del grado de conocimiento que se tenga de ellos, es decir, tener certeza de la especie o especies con las que se trata, saber distinguirlas y seleccionar aquellas más adecuadas para el manejo con base en todo el conocimiento previo que se puede tener. De no contar con dicha información, se limitan las aportaciones en su aprovechamiento, aumentando la posibilidad de incurrir en errores con costes socioeconómicos y biológicos importantes. Tales necesidades determinan la importancia del trabajo taxonómico como una herramienta imprescindible para generar los cimientos a partir de los cuales, otras áreas de investigación relacionadas construyen el conocimiento y desarrollan tecnologías.

### **Taxonomía ¿para qué?**

La taxonomía como parte de la sistemática (rama de la biología comparada que estudia las relaciones y diversidad de organismos vivos bajo un contexto evolutivo) se encarga de descubrir, describir, clasificar, delimitar y nombrar a los organismos vivos, incluyendo sus bases, principios y métodos. De esta manera es posible tener un lenguaje universal, así como acceder y compartir el conocimiento generado sobre una especie o grupo taxonómico en concreto. Ordenar a los grupos biológicos y que cada especie cuente con un nombre único, es de suma importancia para el adecuado conocimiento de la diversidad biológica.

Las clasificaciones biológicas no son solo archivos de información, sino hipótesis evolutivas de los patrones de diversidad biológica (Morrone, 2001) que permiten ordenar a los seres vivos en grupos jerárquicos (*i.e.* taxones) y hacer accesible dicha información. Por lo que, la taxonomía, debe ser valorada e incorporada como base para generar cualquier otro conocimiento sobre el taxón o taxones de interés y sirve de insumo para otras disciplinas (Figura 2), así como para establecer estrategias de adecuado aprovechamiento y conservación acordes a los nuevos retos, tanto nacionales como globales, y cuya evidencia, descansa en los herbarios del mundo.



**Figura 2.** A. La taxonomía como parte de la sistemática. Imagen tomada y modificada de Stuessy (2009); B. La taxonomía como piedra angular de diversos campos del conocimiento.

Nos encontramos en un periodo crítico en la historia de la humanidad, de hecho, se dice que nos encontramos transitando la sexta extinción masiva de las especies, pues hay una destrucción de los ecosistemas sin precedentes, donde muchas especies están desapareciendo sin ser siquiera conocidas (Cowie *et al.*, 2022). Esto debe ser tema de preocupación a todos los niveles, especialmente para un país como México, que se jacta de ser “megadiverso” y que en términos florísticos cuenta con mas de 25,000 especies de flora vascular (Villaseñor y Meave, 2022).

Aunque el país cuenta con importantes trabajos sobre su flora vascular, el conocimiento de la riqueza florística sigue siendo insatisfactorio (Villaseñor, 2016). De acuerdo a Chistehusz y Byng (2016) cada año se describen aproximadamente 2000 nuevas especies y de manera paralela, se documenta una creciente evidencia de la erosión de sus recursos agrícolas (Castañeda-Álvarez *et al.*, 2016). Los científicos debemos priorizar la adopción de prácticas preventivas y documentar tantas especies como sea posible antes de que desaparezcan, lo que depende de revalorar los campos de la historia natural y la taxonomía. De ahí la importancia del trabajo taxonómico en las ciencias agrícolas.

La taxonomía y la agronomía no deben ser vistas como una dicotomía, más bien se deben ver de manera integrada, tal como fue en sus orígenes, así lo demuestran los trabajos de importantes botánicos en la historia. Destacan por ejemplo las obras de Teofrasto, donde el 80% de las plantas que incluyó eran cultivadas y Alfonso de Candolle (1883), quien en su obra “Plantas cultivadas” proporcionó el primer marco para indicar regiones de origen de domesticación de plantas. La actual visión dicotómica de estas dos áreas se refleja en la escasa representación en herbarios de las plantas cultivadas y de sus parientes silvestres y, por otro lado, de la clara tecnificación e intensificación de sistemas agrícolas, que impactan de manera negativa la vegetación circundante.

### Los aportes...

La taxonomía vegetal, ha contribuido de manera importante en la identificación, descripción y el estudio de los parientes silvestres de plantas cultivadas, y otras plantas de las que se sabe poco, pero que han demostrado tener un gran potencial agroalimentario. Estos trabajos son importantes para dar soluciones que afectan cultivos convencionales, ejemplo de ello es el fitomejoramiento, pues las plantas silvestres guardan un importante pool genético útil como se ha demostrado en la revisión de Castañeda-Álvarez *et al.* (2016).

La taxonomía vegetal también resulta esencial al incluir nuevas plantas a los sistemas productivos, determinando la identidad de la especie o especies a manejar, aportando información sobre su distribución natural y de quiénes son sus parientes más cercanos, así como los rasgos morfológicos que las distinguen; esta información permite hacer un manejo acorde a las necesidades de cada especie y lugar. Los linos (*Linum* L.) mexicanos, por ejemplo, cuentan con un importante potencial agroalimentario dado el importante aporte nutrimental de las semillas (Kaur *et al.*, 2018). En la medicina, han demostrado ser eficaces para tratamientos contra diferentes tipos de enfermedades, incluido el cáncer y VIH, por su alto contenido en ácidos alfa-linoléicos y lignatos (Mohammed *et al.*, 2009; Kaur *et al.*, 2018), por lo que algunas especies han sido documentadas en la medicina tradicional mexicana (Barrera-Robles *et al.*, 2020). Además, como resultado de diferentes estudios taxonómicos y sistemáticos del grupo en México (Barrera-Robles *et al.*, 2020; Burgos-Hernández y Castillo-Campos, 2020; González-Velasco *et al.*, 2022; Villalvazo-Hernández *et al.*, 2022), fue posible conocer cuántas, cuáles y dónde se distribuyen las especies mexicanas de lino (Figura 3), así como las condiciones que requieren para su desarrollo. Con ello fue posible identificar que los linos mexicanos cuentan con gran capacidad para desarrollarse de manera exitosa en zonas áridas y semiáridas. Esto es relevante, si tenemos en cuenta que, debido al cambio climático, urbanización y cambio de uso de suelo, se prevé un aumento en la aridificación de suelos, afectando la productividad de cultivos convencionales, pero propiciando hábitats para las especies de linos. El potencial cultivo o inclusión en sistemas agroecológicos en zonas áridas del país de las distintas especies de lino, podría amortiguar



**Figura 3.** Especies silvestres endémicas de México parientes de plantas cultivadas. A) *Linum scabrellum* Planchon creciendo en ambientes áridos (Foto: Juan González Velasco). B) *Jaltomata bohiana* Mione & Spooner (Foto: Thomas Mione) <https://sites.ccsu.edu/faculty/mione/bohiana.htm>.

los efectos climáticos negativos y, al mismo tiempo, generar un nuevo producto para ser integrado en los sistemas económicos familiares, locales o regionales (González-Medrano 2012; González-Velasco *et al.*, 2023).

Los tomates silvestres son otro caso interesante. Muchos estudios se han encargado de abordar desde un punto de vista taxonómico al género *Solanum* L., dada su importancia en la alimentación. Sin embargo, gracias a estudios sistemáticos y taxonómicos (Mione 1992; Mione *et al.*, 1994; Flores-Sánchez *et al.*, 2024; Martínez-Flores *et al.*, 2024) ha sido posible reconocer como los parientes más cercanos de los tomates cultivados a las especies del género *Jaltomata* Schltld. Más interesante aún es saber que nuestro país es el segundo centro de diversidad de este género y que muchas de sus especies cuentan con un importante arraigo biocultural con pueblos originarios, quienes han dado cuenta de su valor nutricional y para la subsistencia (Davis y Bye, 1982; Leiva *et al.*, 2019). Los trabajos taxonómicos recientes en el grupo (Flores-Sánchez *et al.*, 2024; Martínez-Flores *et al.*, 2024; <https://sites.ccsu.edu/faculty/mione/jaltomat.htm>), han revelado que en México se cuenta con muchas más especies de las que se creía, y queda abierta la posibilidad de encontrar aún más elementos nativos de este grupo con gran potencial agroalimentario.

Otros ejemplos son los realizados con el maíz y con los agaves. Los crecientes descubrimientos de nuevas especies y variedades resultado de diversos trabajos taxonómicos (Starr, 2020; Curry, 2021; Vázquez-García *et al.*, 2023), han proporcionado la evidencia de nuevas alternativas de cultivos y han puesto en relieve la importancia de conservar tal diversidad. La sobrevivencia de un cultivo a largo plazo, depende de la sobrevivencia de sus parientes silvestres y de asegurar los hábitats donde crecen. Los taxónomos podemos ayudar a reconocer estas especies en sus hábitats y rescatarlas de ser necesario, y así, paralelamente, se contribuye a la recolección de germoplasma con base taxonómica.

El aprovechamiento de la flora silvestre, como recurso de uso múltiple, forma parte integral de las estrategias de las comunidades campesinas que contribuyen a la seguridad alimentaria y a la diversificación de la dieta local (García-Flores *et al.*, 2016, Gutiérrez-Carbajal, 2019). Tal información abre un abanico de posibilidades inexploradas desde todos los campos del conocimiento científico y que, gracias al trabajo taxonómico, poco a poco se va desvelando, dando importantes insumos a la ciencia aplicada o de frontera para dar soluciones a problemas actuales y prever los futuros.

Llama la atención que a pesar de que ha sido ampliamente documentado que la variedad nutricional y gastronómica del país es significativamente mayor cuando se consideran las plantas silvestres (Caballero y Mapes, 1985; Caballero *et al.*, 1998; Casas y Parra, 2007), mucho del esfuerzo en recursos humanos y económicos se ocupen en hacer investigación sobre el mejoramiento de cultivos convencionales modernos, ya de por sí susceptibles a las condiciones climáticas, y que, dada la tendencia a la homogenización genética, se ven afectados fácilmente por plagas y enfermedades.






La agricultura comercial moderna, con su cultivo especializado e intensivo, ha ganado terreno, en parte debido a décadas de apoyo de la ciencia a desarrollar investigación para aumentar el rendimiento, la rentabilidad de la agricultura, el desarrollo de pesticidas cada vez más potentes, entre otros insumos (Appendini, 2014). Datos revelan que el impacto negativo de estas prácticas en la producción mundial de cultivos básicos como el maíz, el

arroz y las papas, es de entre el 30% y el 40% (Gruber, 2017). Destaca también que mucho del trabajo científico, y de los apoyos institucionales y gubernamentales, sigan subestimado los aspectos taxonómicos y botánicos en general, a tal grado, que se cuestione la pertinencia de la botánica en la educación profesional. La taxonomía es actualmente una ciencia integradora y se debe echar mano de ello para dar mayor soporte y viabilidad a los sistemas agronómicos. Además, aporta información importante que ha permitido un equilibrio entre las necesidades agroalimentarias y las de conservar la naturaleza, es decir, constituye el puente para lograr la tan deseada sostenibilidad agrícola. Ni la conservación biológica *per se*, ni la sobreexplotación de los recursos naturales, constituyen las respuestas a las necesidades actuales. Es necesaria la base taxonómica-sistemática, sobre la cual se construye el cuerpo donde descansa el bienestar humano y natural.





# Variación de metabolitos especializados en hojas de *Moringa oleifera* Lam. por efecto del estrés hídrico

Nilda G. Guzmán Robles<sup>1</sup>; Cecilia B. Peña-Valdivia<sup>1\*</sup>; Antonio García-Esteva<sup>1</sup>  
Gisela Aguilar Benitez<sup>2</sup>; Marcos Soto Hernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México, 56264. México.

<sup>2</sup> Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair 200, Colonia del Llano, 78377. San Luis Potosí, México.

\* Autor para correspondencia: cecilia@colpos.mx

LGAC-CP: Cambio Climático, Estrés en Plantas y Mitigación

## Problema

El metabolismo es descrito como el conjunto de reacciones bioquímicas en las células vivas que conduce a la síntesis de sustancias complejas a partir de otras más simples, o degradación de las complejas a las simples. En las plantas, como en otros organismos, se identifican el metabolismo primario y el especializado (también denominado secundario). En el segundo caso se sintetizan compuestos como alcaloides, ácidos fenólicos, esteroides, flavonoides, glucosinolatos, saponinas, taninos y terpenos, que pueden diferir entre grupos taxonómicos y muestran propiedades biológicas y funciones ecológicas especiales. Los metabolitos especializados también se conocen como productos naturales por sus usos y aplicaciones como medicamentos, insecticidas, herbicidas, colorantes, nutraceuticos, entre otros usos.

Los metabolitos especializados se caracterizan por su concentración baja comparada con la de aquellos clasificados como primarios; sin embargo, actualmente se tiene registro de más de 50,000 metabolitos especializados en las plantas. Por lo que, frecuentemente, para saber si algunos de ellos están en los tejidos de los vegetales, se analizan e identifican los grupos de esos compuestos con técnicas colorimétricas principalmente. Esto se facilita debido a que cada metabolito especializado en su molécula tiene una característica química específica según su biosíntesis. Los grandes grupos de compuestos son: alcaloides, ácidos fenólicos, flavonoides, taninos o terpenos (Ramos y Portal, 2017).

Experimentalmente se ha comprobado que las plantas reaccionan hacia herbívoros, microorganismos, nematodos, ácaros y hongos, los que generan estrés biótico, y a factores del ambiente en su entorno, incluidos déficit de humedad, sequías, salinidad, radiación

**Cómo citar:** Guzmán-Robles, N.G., Peña-Valdivia, C.B., García-Esteva, A., Aguilar-Benitez, G., Soto-Hernández, M., (2024). Variación de metabolitos especializados en hojas de *Moringa oleifera* Lam. por efecto del estrés hídrico. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.428>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 61-69.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



ultravioleta, temperaturas extremas (calor, frío, heladas), inundaciones, concentraciones extremas de CO<sub>2</sub> y otros, los que generan estrés abiótico. Independientemente del tipo de estrés, esos factores afectan negativamente el crecimiento, desarrollo o productividad de las plantas. En contraste, en dependencia de la especie vegetal, etapa de desarrollo y tipo, tiempo e intensidad de estrés las plantas incrementan la concentración y tipo de metabolitos especializados, las plantas producen una gama específica de ellos e incrementan su concentración con el estrés, lo que puede incidir en su supervivencia (Reshi *et al.*, 2023).

La presencia o ausencia de esos grupos de metabolitos se confirma en extractos, acuosos o con disolventes orgánicos, de los tejidos de las plantas y su solubilidad es afectada por la polaridad de los disolventes. La extracción adecuada asegura los mejores resultados. Factores como el tipo de disolvente y relación sólido/líquido, el tiempo de contacto o de extracción, temperatura de extracción, y tamaño de las partículas, pueden afectar el rendimiento y la bioactividad de los compuestos extraídos. Entre los disolventes utilizados con mayor frecuencia están etanol, metanol, cloroformo, acetato de etilo, diclorometano, agua, la mezcla agua-metanol, agua-etanol, etanol-ácido acético y combinaciones de cloroformo, diclorometano, agua y metanol. Generalmente los disolventes tienen temperatura de ebullición alrededor de 50-65 °C, por lo que extraen los compuestos con temperatura de ebullición sin dañar los metabolitos; además, muchos de estos son solubles en esos disolventes orgánicos (Ramos y Portal, 2017).

Entre los métodos para el análisis de esos extractos están el análisis preliminar de metabolitos especializados (o fitoquímicos). Este incluye un conjunto de pruebas que indica la ausencia o presencia de los principales grupos de metabolitos en el extracto vegetal, como la que utiliza los reactivos de Dragendorff y Mayer para alcaloides, los de la prueba de Shinoda para flavonoides, los de Liebermann-Burchard y Salkowski para esteroides y terpenos, la prueba con FeCl<sub>3</sub> para taninos y para de saponinas conocida como prueba de agitación (Kumari *et al.*, 2024).

Todas las estructuras de la planta de *M. oleifera* Lam. (moringa) han sido utilizadas en medicina tradicional desde tiempos ancestrales por su riqueza de metabolitos especializados (Abd-Rani *et al.*, 2018). Sin embargo, se desconocen las similitudes y diferencias en los productos del metabolismo especializado de las plantas de *M. oleifera* cuando crecen con riego y con estrés por falta de riego y respecto a las que crecen en su ambiente original. En este estudio fue evaluada la presencia de los principales grupos de metabolitos especializados en hojas de plantas cultivadas en invernadero con y sin restricción de humedad y comparada con la de hojas de plantas *in situ*.

### Solución planteada

Frutos y hojas de moringa (*M. oleifera*), bien desarrolladas y sin daños visibles, fueron cosechadas aleatoriamente de cuatro árboles en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (16° 45' 0" N, 93° 7' 0" O y 534 m de altitud) México. Las claves asignadas aleatoriamente a las muestras fueron A1 a A4.

Después de la cosecha, las semillas fueron sembradas en macetas plásticas con 1.5 kg de tierra de monte; a partir de la emergencia de las plántulas, las plantas permanecieron en un invernadero durante dos meses, con dos riegos semanales a capacidad de campo.

La muestra A4 fue descartada ya que la emergencia fue cercana a cero. Las plantas de las muestras A1 a A3 fueron separadas en dos grupos; riego continuo y sin riego durante 12 días. En ese momento las plantas tenían en promedio 11 hojas y 24 cm de altura. Hojas completamente desarrolladas de cada unidad experimental fueron cosechadas para los análisis.

La humedad del suelo antes de la siembra fue determinada a capacidad de campo y en punto de marchitez permanente. Durante el crecimiento de las plantas, la pérdida de humedad del suelo se calculó mediante el registro del peso de las macetas cada tercer día. La humedad fue determinada gravimétricamente después de deshidratar la muestra de suelo durante 48 horas a 105 °C y el potencial de agua ( $\Psi_A$ ) del suelo fue determinado en muestras del centro de las macetas con un medidor de punto de rocío (Dewpoint Potential Meter, WP4C, EE.UU.). En las plantas, la conductancia estomática foliar fue evaluada, durante el periodo de suspensión de riego, con un porómetro (Decagon Devices<sup>®</sup>) y el  $\Psi_A$  de xilema se determinó con una cámara de presión tipo Scholander (Soil moisture, Corp. Santa Bárbara, CA, USA).

Inmediatamente después de la cosecha, *in situ* e invernadero, las hojas fueron deshidratadas hasta peso constante en estufa con flujo continuo de aire ( $40 \pm 3$  °C) y trituradas en una licuadora doméstica. Las muestras permanecieron en sobres de papel para su análisis. El análisis preliminar de metabolitos especializados inició con su extracción en las hojas trituradas con cuatro disolventes: acetato de etilo, etanol (96 °GL), metanol al 80% en agua (v/v) y agua destilada. Las extracciones se hicieron a partir de 500 mg de la harina foliar, con 5 mL de disolvente, en tubos de polipropileno. En el caso del acetato de etilo y etanol las muestras con el disolvente se mantuvieron con agitación constante durante 21 d y lavadas cada tercer día. Los extractos, en frascos de vidrio, se evaporaron a  $25 \pm 2$  °C. El extracto sin el disolvente se mantuvo en refrigeración para los análisis posteriores. Las muestras con metanol y agua se mantuvieron en un baño maría, con ultrasonido (AutoScience AS1550B) por 30 min en intervalos de 10 min y 5 min de reposo. Las muestras fueron centrifugadas a 3000 g durante 10 min y filtradas. La presencia y abundancia relativa de cinco grupos de metabolitos especializados fueron determinados de acuerdo con lo descrito en el Cuadro 1. La presencia de los metabolitos especializados se calificó cualitativamente con un sistema no paramétrico, con escala de cruces y guiones como sigue: +++: presencia cuantiosa, ++: presencia notable, +: presencia leve y -: ausencia.

El estudio fue desarrollado con un diseño experimental de bloques al azar generalizado de las plantas en cultivo en invernadero, en él cada bloque incluyó el origen de las semillas (A1, A2 y A3) y la condición de riego. La unidad experimental fue una planta por maceta. Tres repeticiones se emplearon para los muestreos de cada tercer día para el contenido de humedad del suelo, el  $\Psi_A$  y la conductancia estomática y cuatro repeticiones para el análisis de metabolitos especializados. El análisis estadístico de la presencia de metabolitos entre las muestras cosechadas *in situ* e invernadero se determinó con la prueba no paramétrica de Mann Whitney, con escala ordinal y comparaciones entre los grupos, por pares.

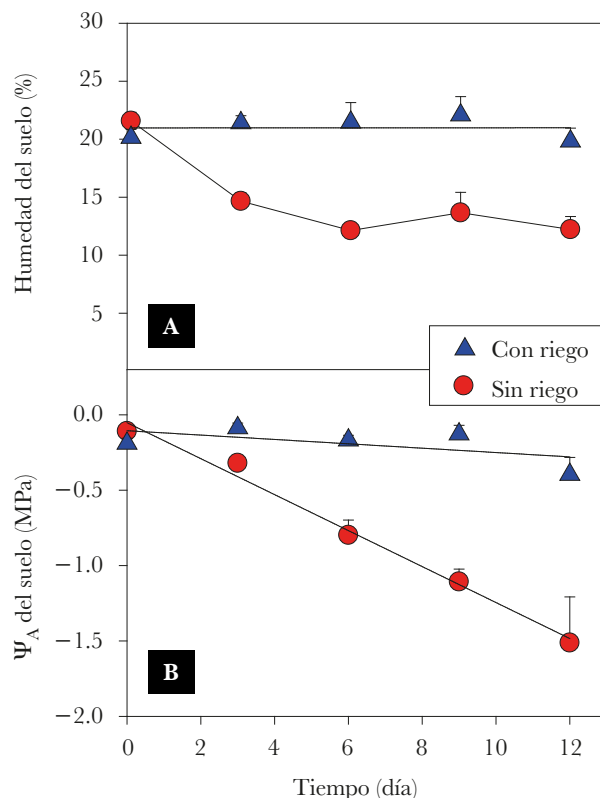
La humedad del suelo con riego fue 21% y su  $\Psi_A$  se mantuvo entre  $-0.25$  y  $-0.44$  MPa durante los 12 d de las evaluaciones ( $P > 0.05$ ). En contraste, sin riego en los primeros 6 d y después de 12 d la humedad disminuyó de 21.6 a 14.7 % y hasta 13% respectivamente;

**Cuadro 1.** Resumen de los métodos utilizados para el análisis de la presencia de metabolitos especializados en hojas de *Moringa oleifera* Lam.

Grupo de compuestos	Soluciones y secuencia	Control positivo	Identificación por coloración u otra característica
Alcaloides	0.5 mL de extracto + cinco gotas de ácido clorhídrico al 10 % (baño maría 5 min y enfriar) + cinco gotas de reactivo de Dragendorff <sup>‡</sup>	Extracto de <i>Lupinus exaltatus</i>	Anaranjada brillante o precipitado
Fenoles	5 mL de extracto + 5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu <sup>‡</sup> al 10 % + 5 mL de NaCO <sub>2</sub> al 5%	Acido Gálico	Azul intensa
Flavonoides	1 mL de extracto + trozo pequeño de cinta de Mg + cinco gotas de HCl concentrado	Quercetina	Efervescencia y rosa o rosado-salmón
Saponinas	0.5 mL de extracto + 1 mL de H <sub>2</sub> O destilada + agitación por 1 min	Zacate Chi-chi	Espuma persistente
Taninos	0.5 mL de extracto + cinco gotas de cloruro férrico al 3 %	Acido tánico	Azul oscuro
Terpenos	1 mL de extracto seco por evaporación y resuspendido en cloroformo + tres gotas de anhídrido acético + tres gotas de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado	Ácido masticadienoico	Morado o castaño oscuro

<sup>‡</sup> Reactivo de Dragendorff: 1.27g de yodo (resublimado) + 2 gotas de yoduro de potasio aforado a 100 mL con agua destilada. Reactivo de Folin-Ciocalteu: solución comercial de fosfomolibdato y fosfotungstato.

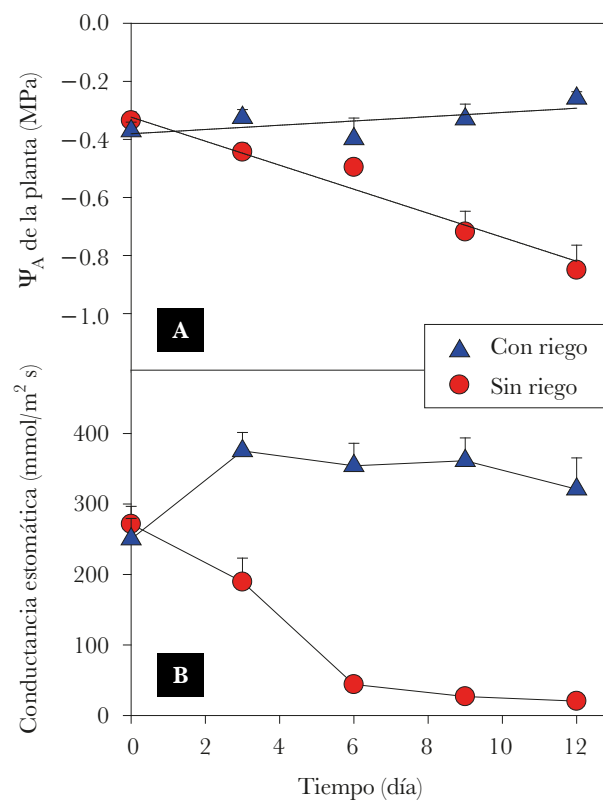
además el  $\Psi_A$  en esta condición cayó linealmente ( $P \leq 0.05$ ) de  $-0.40$  MPa  $-1.51$  (Figura 1 A-B). En el caso de las plantas con riego, el  $\Psi_A$  foliar se mantuvo ( $P > 0.05$ ) alrededor de  $-0.34$  MPa; al contrario, la falta de riego durante 12 d disminuyó el  $\Psi_A$  foliar ( $P \leq 0.05$ )



**Figura 1.** Humedad y potencial de agua ( $\Psi_A$ ) (+e. e.) del suelo durante el crecimiento de plantas de *Moringa oleifera* Lam., en invernadero, con y sin riego durante 12 d (n=12).

linealmente desde  $-0.33$  hasta  $-0.72$  MPa. De manera similar, la conductancia estomática (gs) en la condición con riego se mantuvo en promedio en  $-0.34$   $\text{mmol/m}^{-2} \text{s}^{-1}$  durante el estudio. Como se esperaba, la suspensión del riego afectó negativamente la conductancia estomática desde los primeros tres días, ya que cayó 94 % respecto al valor inicial y después de los 12 d sin riego esta variable fue cercana a cero (Figura 2 A-B). La gs determina el nivel de apertura de los estomas y la pérdida de vapor de agua e ingreso de  $\text{CO}_2$  y por ende regula la transpiración. La gs decae con el cierre de los estomas, como en el caso del estrés por falta de riego.

El estrés por déficit de agua es la condición en la que una planta pierde agua sobre el nivel de tolerancia y la absorción de agua por sus raíces no compensan la pérdida. Entre las numerosas alteraciones en esta condición está el cierre de los estomas, que disminuye la pérdida hídrica y la tasa fotosintética; si el estrés persiste, ocurren alteraciones en el metabolismo. El umbral para resistir el estrés por déficit de humedad entre especies es variable. Por lo anterior, la condición hídrica del suelo, documentada mediante el cambio de su humedad y  $\Psi_A$  y la de las plantas, evaluada con los cambios en el  $\Psi_A$  y la conductancia estomática de la planta fueron relevantes en el presente estudio. Los resultados confirmaron que las plantas sin riego permanecieron en estrés por déficit de humedad, desde los primeros días. La estabilidad de estas variables en el suelo y en las plantas con riego y el efecto negativo por la ausencia del riego indicaron que esta



**Figura 2.** Potencial de agua ( $\Psi_A$ ) y conductancia estomática (+e. e.) de plantas de *Moringa oleifera* Lam. cultivadas en invernadero, con y sin riego durante 12 d (n=3).

generó estrés en las plantas. Por lo que, en este estudio los cambios en el metabolismo especializado se deben al estrés por déficit de humedad. La tolerancia relativa al déficit de humedad de estas plantas se comprobó al observar que su crecimiento continuó después de reestablecer el riego.

Los extractos de acetato de etilo revelaron presencia leve de terpenos en las tres recolectas *in situ* (A1-A3), sin diferencia significativa ( $P>0.05$ ) entre ellas. Otra similitud fue que en ninguna de las tres fueron detectados alcaloides, fenoles, flavonoides, saponinas o taninos. Las plantas cultivadas en invernadero, con las semillas A1, A2 y A3 mostraron las siguientes diferencias en los extractos de acetato de etilo cuando se cultivaron con y sin riego: únicamente con riego las plantas de A1 y A2 mostraron presencia leve de alcaloides y terpenos; en contraste, las plantas sin riego mostraron presencia notable (A1) o leve de terpenos (A2 y A3) (Cuadro 2).

El extracto con agua de A3 *in situ* mostró las mayores diferencias respecto a A1 y A2, ya que fue la única con presencia notable de alcaloides y flavonoides y presencia leve de los otros cuatro grupos. Al contrario, en A2 se observó sólo presencia leve de alcaloides, fenoles, saponinas y taninos y ausencia de flavonoides y terpenos. Además, A1 mostró ausencia de flavonoides y saponinas y únicamente presencia leve de los otros grupos. Con riego, en el extracto con agua A2 mostró más diferencias comparada con A1 y A3, ya que los seis grupos de metabolitos estuvieron presentes. En el extracto con agua de A3 con riego no se observaron flavonoides y terpenos y los otros grupos mostraron presencia leve; en contraste, en A1 únicamente estuvieron ausentes flavonoides. Sin riego, el extracto con agua mostró pocas diferencias respecto al riego (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Presencia o ausencia de metabolitos especializados, en extractos con acetato de etilo, de hojas de *Moringa oleifera* Lam. recolectadas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y de plantas cultivadas en invernadero en Montecillo, Estado de México.

Tratamiento y repetición	Alcaloides	Fenoles	Flavonoides	Saponinas	Taninos	Terpenos
<b>Árboles <i>in situ</i></b>						
A1	–	–	–	–	–	+
A2	–	–	–	–	–	+
A3	–	–	–	–	–	+
<b>Plantas con riego en invernadero</b>						
A1	+	–	–	–	–	+
A2	+	–	–	–	–	+
A3	–	–	–	–	–	–
<b>Plantas sin riego en invernadero</b>						
A1	–	–	–	–	–	++
A2	–	–	–	–	–	+
A3	–	–	–	–	–	+

A1, A2 y A3: hojas de plantas muestreadas *in situ* para el análisis y de semillas para cultivar plantas en invernadero con riego o sin riego por 12 d. +++: presencia cuantiosa, ++: presencia notable, +: presencia leve y -: ausencia.

**Cuadro 3.** Presencia o ausencia de metabolitos especializados, en extractos con acetato de etilo, de hojas de *Moringa oleifera* Lam. recolectadas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y de plantas cultivadas en invernadero en Montecillo, Estado de México.

Tratamiento y repetición	Alcaloides	Fenoles	Flavonoides	Saponinas	Taninos	Terpenos
<b>Árboles <i>in situ</i></b>						
A1	+	+	-	-	+	+
A2	+	+	-	+	+	-
A3	++	+	++	+	+	+
<b>Plantas con riego en invernadero</b>						
A1	++	+	-	+	+	+
A2	+	+	+	+	+	+
A3	++	++	-	+	+	-
<b>Plantas sin riego en invernadero</b>						
A1	++	+	-	+	-	++
A2	+	+	+	+	-	+
A3	+	+	-	+	+	++

A1, A2 y A3: hojas de plantas muestreadas *in situ* para el análisis y de semillas para cultivar plantas en invernadero con riego o sin riego por 12 d. +++: presencia cuantiosa, ++: presencia notable, +: presencia leve y -: ausencia.

Los extractos etanólicos de las tres muestras cosechadas *in situ* mostraron presencia notable de fenoles y leve de taninos; además, en ninguna de las tres se observaron alcaloides. La presencia leve de flavonoides y saponinas y ausencia de terpenos fue únicamente en la muestra A1 (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Presencia o ausencia de metabolitos especializados, en extractos etanólicos ((v:v)), de hojas de *Moringa oleifera* Lam. recolectadas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y de plantas cultivadas en invernadero en Montecillo, Estado de México.

Tratamiento y repetición	Alcaloides	Fenoles	Flavonoides	Saponinas	Taninos	Terpenos
<b>Árboles <i>in situ</i></b>						
A1	-	++	+	+	+	-
A2	-	++	-	-	+	+
A3	-	++	-	-	+	+
<b>Plantas con riego en invernadero</b>						
A1	+	++	+	+	-	+
A2	+	+	+	+	+	-
A3	+	+	+	+	+	+
<b>Plantas sin riego en invernadero</b>						
A1	-	+	-	-	-	+++
A2	-	+	-	-	-	+++
A3	-	+	-	-	-	++

A1, A2 y A3: hojas de plantas muestreadas *in situ* para el análisis y de semillas para cultivar plantas en invernadero con riego o sin riego por 12 d. +++: presencia cuantiosa, ++: presencia notable, +: presencia leve y -: ausencia.

Los extractos etanólicos de las plantas con riego mostraron diferencias significativas respecto su ausencia. Aquellas mostraron presencia leve o notable de alcaloides, flavonoides, saponinas y taninos con ausencia de todos ellos en las plantas sin riego. También sobresalió la presencia cuantiosa de terpenos y la ausencia de alcaloides, flavonoides, saponinas y taninos por efecto del estrés por falta de riego en comparación con el riego. Los extractos con etanol evidenciaron las mayores diferencias entre las muestras cosechadas *in situ* y las cultivadas con y sin riego. En los tres grupos se observó presencia de fenoles y terpenos, en las muestras *in situ* los fenoles fueron más abundantes (presencia notable) y los terpenos en las plantas sin riego los más abundantes (presencia cuantiosa) (Cuadro 4). Los extractos metanólicos de las muestras *in situ* mostraron presencia notable de los metabolitos especializados en una, dos o las tres muestras. Los extractos con el mismo disolvente de las plantas con riego y sin riego mostraron diferencias entre estas dos condiciones y con las plantas *in situ* (Cuadro 5).

Los extractos metanólicos de las plantas con riego y sin riego evidenciaron la ausencia de alcaloides y saponinas; además, los terpenos incrementaron su presencia a cuantiosa con el cultivo independientemente del riego. La ausencia de flavonoides y taninos fue evidente únicamente en las plantas sin riego (Cuadro 5). La presencia o ausencia y el rendimiento cualitativo y cuantitativo de los metabolitos en los tejidos depende, entre otros factores, de la naturaleza química del metabolito y de la polaridad del disolvente; por lo que, es frecuente contrastar los resultados de varios extractos. En el presente estudio se determinaron diferencias en la presencia y abundancia relativa de metabolitos especializados entre las plantas de *M. oleifera in situ* las que se cultivaron en ambiente, parcialmente controlado, de invernadero con énfasis en el efecto del estrés por déficit de humedad mediante

**Cuadro 5.** Presencia o ausencia de metabolitos especializados, en extractos metanólicos (80 % en agua) (v:v), de hojas de *Moringa oleifera* Lam., recolectadas de árboles *in situ* en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y de plantas cultivadas en invernadero en Montecillo, Estado de México.

Tratamiento y repetición	Alcaloides	Fenoles	Flavonoides	Saponinas	Taninos	Terpenos
<b>Árboles <i>in situ</i></b>						
A1	++	+	+	++	+	+
A2	++	++	++	+	+	++
A3	++	++	+	+	+	+
<b>Plantas con riego en invernadero</b>						
A1	-	+	+	-	+	+++
A2	-	+	-	-	+	+++
A3	-	+	+	-	+	+++
<b>Plantas sin riego en invernadero</b>						
A1	-	+	-	-	-	+++
A2	-	+	-	-	-	+++
A3	-	+	-	-	-	++

A1, A2 y A3: hojas de plantas muestreadas *in situ* para el análisis y de semillas para cultivar plantas en invernadero con riego o sin riego por 12 d. +++: presencia cuantiosa, ++: presencia notable, +: presencia leve y -: ausencia.

la comparación de extractos con disolventes (acetato de etilo, agua, etanol al 80% y metanol al 80%) con polaridades diversas.

Los resultados indicaron que la identificación y cuantificación de los componentes de cada grupo de metabolitos debe incluir extractos similares a los anteriores y complementarlos con los de otros disolventes. Los extractos con metanol y etanol en menor proporción mostraron pobreza relativa de metabolitos en las plantas cultivadas, por lo que, ambos alcoholes pueden usarse como disolventes selectivos en los estudios preliminares y deberían complementarse con los extractos que extraen más metabolitos y con concentración relativa mayor. En este estudio se observó que los metabolitos especializados incrementaron en las plantas cultivadas en invernadero comparadas con las desarrolladas *in situ*. Además, se confirmó que la composición de los grupos de metabolitos analizados fue parcialmente diferente entre los tratamientos o que los métodos y disolventes utilizados extrajeron selectivamente parte de los componentes de cada grupo; por lo que, los análisis futuros podrían incluir extracciones exhaustivas con disolventes en secuencia o modificación de los métodos de extracción.

La presencia y abundancia relativa de grupos de metabolitos especializados, incluidos los alcaloides, los fenoles, los flavonoides, las saponinas, los taninos y los terpenos, en hojas de *M. oleifera* depende del origen de las muestras. Esto incluye a las plantas cultivadas en invernadero y las que crecen *in situ*, las semillas utilizadas para la obtención de las plantas y de la condición hídrica durante su crecimiento. Las diferencias de presencia y ausencia de los grupos de compuestos analizados también dependen de la polaridad de los disolventes utilizado en la extracción de dichos metabolitos secundarios. Las evaluaciones mostraron gran variación intraespecífica de grupos de metabolitos especializados en *M. oleifera*, la que además es significativamente modificada por el ambiente.

### Innovación, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Innovación sostenible	Desarrollo de estrategias para el cultivo de <i>M. oleifera</i> bajo diferentes condiciones de estrés y su efecto en el contenido de metabolitos especializados en hojas.	Productores. Comunidades Agrarias.	Primario: Agricultura, Secundario: Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación.	Social. Económico. Ambiental. Conocimiento	Ciencia y Tecnología. Económico. Educación. Responsabilidad ambiental. Uno o la combinación de dos o más de las opciones anteriores.	Competitividad. Recursos naturales. Capacitación.	Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico.



# Conservación *ex situ* del recurso genético de achiote (*Bixa orellana* L.) en San Juan Comaltepec, Oaxaca

Guerrero-Lagunes, Luz Adela<sup>1</sup>; Cadena-Íñiguez, Jorge<sup>2</sup>; Salazar-Aguilar, Sandra<sup>3</sup>; Ruiz-Posadas, Lucero del Mar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Botánica. Montecillo, Texcoco, México. C.P. 56264.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Posgrado en Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. CP. 78620.

<sup>3</sup> Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus II. Batalla 5 de Mayo s/n., C.P.09230

\* Autor de correspondencia: lucpo@colpos.mx

## Problema

San Juan Comaltepec, es una comunidad indígena localizada en la región del Papaloapan, Oaxaca. El lugar es rico en recursos agrícolas, entre los que destacan el frijol, maíz, naranja, plátano, café, cacao y achiote, que se producen principalmente para el autoconsumo y comercio local. Se encuentra rodeada por los cerros del Frijol, del Carbón y del Chorro, lo que provoca un aislamiento geográfico a la zona impidiendo el desarrollo de biodiversidad de las especies. En el caso de *Bixa orellana* (achiote), se cultiva solo una variedad, que por sus características morfoanatómicas, fue registrada en el Catálogo Nacional de Variedades (CNVV) en el SNICS-SADER con el nombre de Comal. De acuerdo con los productores, esta variedad tiene un tiempo de espera para obtener la primera cosecha de hasta de tres años a partir de la formación de plántulas, tienen una baja producción de semillas y su proceso de extracción de la cápsula es complicado y doloroso por los tricomas gruesos puntiagudos de la cápsula.

## Solución planteada

El Posgrado de Botánica del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados ha desarrollado en San Juan Comaltepec, actividades de rescate y caracterización del morfotipo local de *Bixa orellana* con el fin de conservar su identidad genética y protección legal mediante acciones de conservación *ex situ*, y de forma paralela reducir la dependencia genética de la única variante biológica en dicha comunidad, estableciendo huertas con genotipos de achiote que muestran menores dificultades de manejo y son de productividad

**Cómo citar:** Guerrero-Lagunes, L. A., Cadena-Íñiguez, J., Salazar-Aguilar, S., & Ruiz-Posadas, L. del M. (2024). Conservación *ex situ* del recurso genético de achiote (*Bixa orellana* L.) en San Juan Comaltepec, Oaxaca. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.427>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Íñiguez.

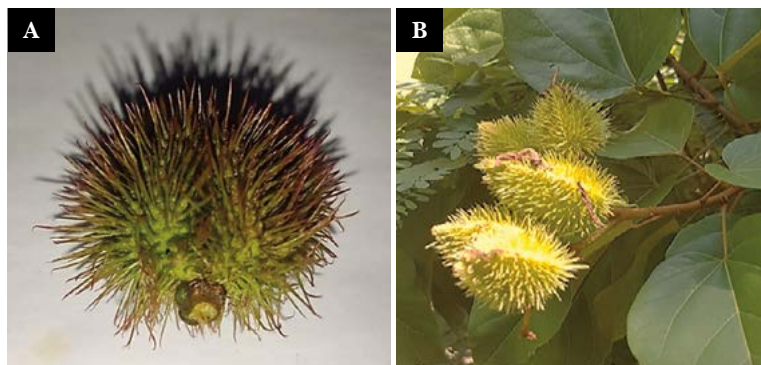
Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 71-73.

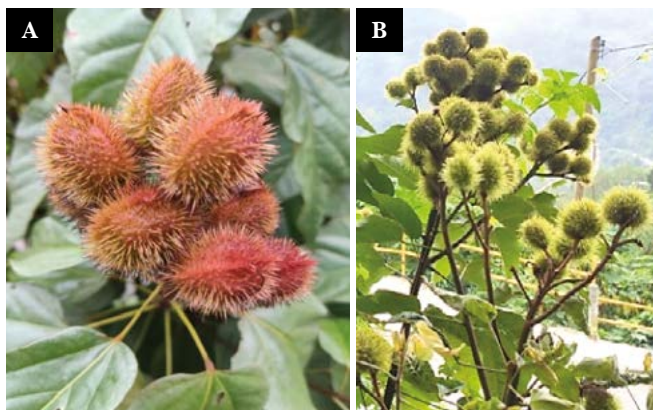
Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



superior, tal como la variedad Tepakan Yucatán, denominada “GabiFer V1”. Se eligió un genotipo con caracteres morfológicos estables, heredables y homogéneos. Las estrategias también incluyeron el seguimiento de las plantas introducidas para conocer el estado de aclimatación y adaptación con respecto a las condiciones ambientales que se presentan en la comunidad. Los resultados de dichas acciones al año del trasplante muestran plantas de GabiFer V1 adaptadas a las condiciones agroclimáticas de la comunidad, registrando alta productividad que otorga ventajas al momento de la cosecha por tener tricomas más delgados en sus cápsulas, facilitando la obtención de semillas porque son menos rígidos. Estas acciones han coadyuvado a la diversificación productiva y ha dado inicio de forma paralela a la selección de plantas locales (var. Comal) con rasgos sobresalientes para su conservación y mejoramiento. El aumento del acervo genético de *Bixa orellana* a la comunidad reduce la dependencia y riesgos por el uso de un morfotipo contribuyendo a su conservación



**Figura 1.** Diferencias en la cantidad y tipo de tricomas de la cápsula entre las variedades (A) Comal de San Juan Comaltepec, Oaxaca y (B) GabiFer V1 de Tepakan de Yucatán.



**Figura 2.** Diferencias en la cantidad de cápsulas entre las variedades (A) Comal de San Juan Comaltepec, Oaxaca y (B) GabiFer V1 de Tepakan, Yucatán.



**Figura 3.** Plantas de achiote GabiFer V1 de Tepakan, Yucatán. (A) día del trasplante, (B) al mes del trasplante y (C-F) al año de establecidas en San Juan Comaltepec, Oaxaca.

### Retribución social

Los genotipos de *Bixa orellana* identificados, caracterizados han sido propuestos para su registro y protección legal como patrimonio de la comunidad de San Juan Comaltepec, Oaxaca. Los genotipos introducidos están establecidos sin costo financiero en parcelas de la comunidad, ampliando la base de producción.

### Innovaciones, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
<b>Incremental</b>	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Comunidades Agrarias	<b>Primario:</b> Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería <b>Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)</b>	Social	Ciencia y Tecnología	Competitividad	Registro solicitado y concedido
<b>Innovación sostenible</b>	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible	Poblaciones en particular		Económico	Económico	Recursos Humanos	Certificaciones
<b>Innovación frugal</b>	Hacer más con menos. Idear estrategias de bajo costo para sortear las complejidades institucionales o limitaciones de recursos, conseguir innovar, desarrollar y entregar productos y servicios a los usuarios de bajos ingresos con poco poder adquisitivo			Ambiental	Educación	Comercio	Número de publicaciones
				Conocimiento	Responsabilidad Ambiental		Número de familias beneficiadas
							Transferencias tecnológicas
							Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico



# Perfil fitoquímico de nopalitos cultivados y silvestres

Cristian López-Palacios<sup>1</sup>; Cecilia Beatriz Peña-Valdivia<sup>2\*</sup>; Marcos Soto-Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Rioverde, SLP, México.

<sup>2</sup> Programa de Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México 56264. México.

LGAC-CP: Cambio Climático, Estrés en Plantas y Mitigación.

\* Autor para correspondencia: cecilia@colpos.mx

## Problema

Las células de las plantas llevan a cabo dos tipos de metabolismo, denominados primario y especializado o secundario. Este último sintetiza más de 50,000 compuestos que se caracterizan por su estructura química específica, la que permite organizarlos en alcaloides, ácidos fenólicos, esteroides, flavonoides, glucosinolatos, saponinas, taninos y terpenos. Estos compuestos no están en todas las especies vegetales, etapa de desarrollo, estructuras o tejidos de la planta; además, se modifican por el efecto del ambiente en el que se desarrolla. Actualmente, las funciones fisiológicas de los metabolitos especializados se conocen poco o no se han identificado; sin embargo, muchos de ellos tienen funciones ecológicas especiales. Además, esos fitoquímicos son reconocidos como productos naturales valiosos para la salud humana. Los metabolitos especializados generalmente se acumulan en los tejidos de las plantas en concentración baja comparada con la de los metabolitos primarios (Bai *et al.*, 2024; Perrot *et al.*, 2024).

Es decir, independientemente de su importancia, sigue siendo difícil acceder a los productos naturales en las plantas debido a su baja producción. Frecuentemente, para saber si algunos de ellos están en los tejidos de los vegetales, se extraen, analizan e identifican los grupos de esos compuestos con técnicas colorimétricas principalmente. Esto se facilita debido a que cada metabolito especializado, o grupo, en su molécula tiene una característica química específica resultante de su biosíntesis que le permite ser más o menos soluble en algún disolvente. Por lo que, la presencia o ausencia de esos grupos se confirma preliminarmente en extractos acuosos o con disolventes orgánicos de los tejidos de las plantas y su solubilidad se basa en el efecto de la polaridad de cada disolvente. La extracción adecuada asegura los mejores resultados. Factores como el tipo de disolvente y relación sólido/líquido, el tiempo de contacto o de extracción, la temperatura de extracción y el tamaño de

**Cómo citar:** López-Palacios, C., Peña-Valdivia, C.B., Soto-Hernández, M. (2024). Perfil fitoquímico de nopalitos cultivados y silvestres. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.429>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 75-80.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



las partículas pueden afectar el rendimiento (presencia y concentración) de los compuestos extraídos. Entre los disolventes utilizados con mayor frecuencia están etanol, metanol, cloroformo, acetato de etilo, diclorometano, agua, la mezcla agua-metanol, agua-etanol, etanol-ácido acético y combinaciones de cloroformo, diclorometano, agua y metanol. Generalmente los disolventes tienen temperatura de ebullición alrededor de 50 a 65 °C, por tanto, extraen los compuestos con temperatura de ebullición baja, sin dañar la estructura de los metabolitos (Ramos y Portal, 2017).

El género *Opuntia* Mill. destaca por su gran diversidad y amplia distribución en la familia Cactaceae; alrededor de 200 especies son reconocidas en este género; todas ellas están adaptadas a condiciones estresantes de sequía y están distribuidas en ambientes áridos y semiáridos (Tenorio-Escandón *et al.*, 2022). Los cladodios de *Opuntia* son alimento para humanos, ganado y fauna silvestre. Además, se emplean en herbolaria desde tiempos ancestrales para el tratamiento de enfermedades como diabetes, hipotensión e hipercolesterolemia, y han sido reconocidos sus efectos benéficos anti-inflamatorios, antígenotóxicos, neuroprotectores, inmunomoduladores, antivirales y antioxidantes. Aunque, la presencia de compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides) ha sido documentada frecuentemente en los cladodios de unas pocas especies, la información de los otros grupos de metabolitos especializados es escasa. Además, existe enorme vacío de información de la mayoría de las decenas de especies de *Opuntia*. Por lo cual, la aplicación de métodos específicos de extracción y métodos colorimétricos en solución o cromatografía permitirá la identificación de metabolitos especializados en numerosas especies y variantes del género *Opuntia*.

### Solución planteada

Se realizó un análisis inicial de presencia o ausencia de metabolitos especializados en nopalitos de dos variantes silvestres y dos domesticadas de *Opuntia*, mediante extracciones con disolventes de diferente polaridad. Este análisis permitió confirmar o descartar la presencia de cinco grupos de metabolitos en nopalitos de dos a tres semanas de edad, de  $15 \pm 2.5$  cm de longitud y cosechados de plantas cultivadas en invernadero (Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México; 19° 29' LN, 98° 53' LO; 2240 msnm y clima Cb(w<sub>o</sub>)(w)(i') g, lluvias en verano e invierno frío y seco). Las variantes estudiadas fueron Atlixco y Rojo Vigor de la especie domesticada *O. ficus-indica* y Cardona y Tuna Loca de la especie silvestre *O. streptacantha* (Figura 1). Debido al tipo de metabolismo bioquímico de las plantas de nopal, denominado metabolismo ácido de las crasuláceas, la presencia y concentración de diversos metabolitos primarios cambian a lo largo del día. Por lo tanto, para disminuir la probabilidad de presencia o ausencia falsa de alguno de los grupos de metabolitos debida a la hora del día, la cosecha se realizó al amanecer (5:00) y al medio día (12:00). Los nopalitos se desespitaron, liofilizaron y trituraron en mortero hasta obtener un polvo fino.

La extracción de los metabolitos se hizo con agua, metanol o diclorometano y en alícuotas de cada extracto fue determinada la presencia o ausencia de alcaloides, fenoles, flavonoides, saponinas y terpenos (Ramos y Portal, 2017; Subramanian *et al.*, 2015). Con base en los resultados de presencia de grupos de compuestos, los extractos se utilizaron para realizar pruebas de cromatografía en capa fina; con esto se reconocieron



**Figura 1.** A) Plantas de nopal silvestre *Opuntia streptacantha* y B) nopal domesticado *Opuntia ficus-indica*.

algunos de los compuestos más frecuentes. La mezcla de elusión para los fenoles y flavonoides fue acetato de etilo y metanol (9:1) y se revelaron con cloruro férrico el primer caso y solución NP/PEG (natural products/polyethylene glycol reagent) al 1% el segundo grupo. Los flavonoides se observaron en una cámara de luz ultravioleta. Los terpenoides se detectaron a través de una separación con hexano y acetato de etilo en relación 8:2. La placa se reveló con vainillina al 1% en etanol y ácido sulfúrico, y se expuso a 110 °C durante cinco minutos.

### Resultados de las pruebas colorimétricas

La presencia de fenoles, terpenos y alcaloides fue reconocida en las pruebas colorimétricas con los extractos de los tres disolventes. La presencia de flavonoides y saponinas fue negativa en todos los casos.

**Fenoles.** Los fenoles no fueron detectados en el extracto acuoso de los nopalitos de la especie domesticada en ninguno de los tiempos de cosecha. En contraste, este grupo de metabolitos sí fue detectable en el extracto acuoso de las dos variantes silvestres (*O. streptacantha*) y en los dos tiempos de cosecha. Este grupo de compuestos también se detectó en los extractos con metanol del par de variantes silvestres de *O. streptacantha* y de las dos domesticadas de *O. ficus-indica* en ambas horas de cosecha (Cuadro 1). La ausencia de fenoles en el extracto acuoso de los nopalitos de *O. ficus-indica*, puede deberse a su polaridad baja y concentración en los nopalitos domesticados; lo que indica que, los nopalitos silvestres contienen fenoles diversos, con polaridades diferentes. Es decir, este resultado puede tomarse como evidencia de composición fenólica diferente en los nopalitos de estas dos especies.

Los resultados de este estudio relacionados con la presencia de compuestos fenólicos en nopalitos de *O. streptacantha* y *O. ficus-indica*, en los extractos con metanol, coincidió con los documentados en la literatura para éstas y otras especies (López-Palacios y Peña-Valdivia, 2020). En contraste, ningún registro fue localizado, en la literatura especializada, relacionado con la presencia de estos compuestos en extractos acuosos de *Opuntia* spp.

**Alcaloides.** El grupo de los alcaloides se registró en los extractos de diclorometano, con presencia débil, únicamente en las variantes silvestres de *O. streptacantha* (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Presencia (+) y ausencia (-) de grupos de compuestos en extractos obtenidos con agua, metanol y diclorometano de nopalitos de dos variantes silvestres (*O. streptacantha*) y dos domesticadas (*O. ficus indica*), cosechados a las 5:00 y 12:00.

Extracto y grupo	Hora de cosecha							
	5:00				12:00			
	<i>O. ficus-indica</i>		<i>O. streptacantha</i>		<i>O. ficus-indica</i>		<i>O. streptacantha</i>	
	Atlixco	Rojo Vigor	Cardona	Tuna Loca	Atlixco	Rojo Vigor	Cardona	Tuna Loca
Acuoso								
Alcaloides	-	-	-	-	-	-	-	-
Fenoles	-	-	+	+	-	-	+	+
Flavonoides	-	-	-	-	-	-	-	-
Terpenos	-	-	-	-	-	-	-	-
Saponinas	-	-	-	-	-	-	-	-
Metanol								
Alcaloides	-	-	-	-	-	-	-	-
Fenoles	+	+	+	+	+	+	+	+
Flavonoides	-	-	-	-	-	-	-	-
Terpenos	+	+	+	+	+	+	+	+
Saponinas	-	-	-	-	-	-	-	-
Diclorometano								
Alcaloides	-	-	+	+	-	-	+	+
Fenoles	-	-	-	-	-	-	-	-
Flavonoides	-	-	-	-	-	-	-	-
Terpenos	+	+	+	+	+	+	+	+
Saponinas	-	-	-	-	-	-	-	-

La presencia de alcaloides fue documentada en frutos de *O. elatior* Mill., pero sin especificar el tipo de alcaloide presente. Además, la presencia del alucinógeno mescalina fue documentada en cladodios de *O. ficusindica* (El-Moghazy *et al.*, 1982). Sin embargo, la presencia de alcaloides en *Opuntia* no ha sido confirmada y debe verificarse, ya que este grupo de compuestos es considerado característico de las cactáceas de porte globular, particularmente de la tribu Cereae de la subfamilia Cactoideae.

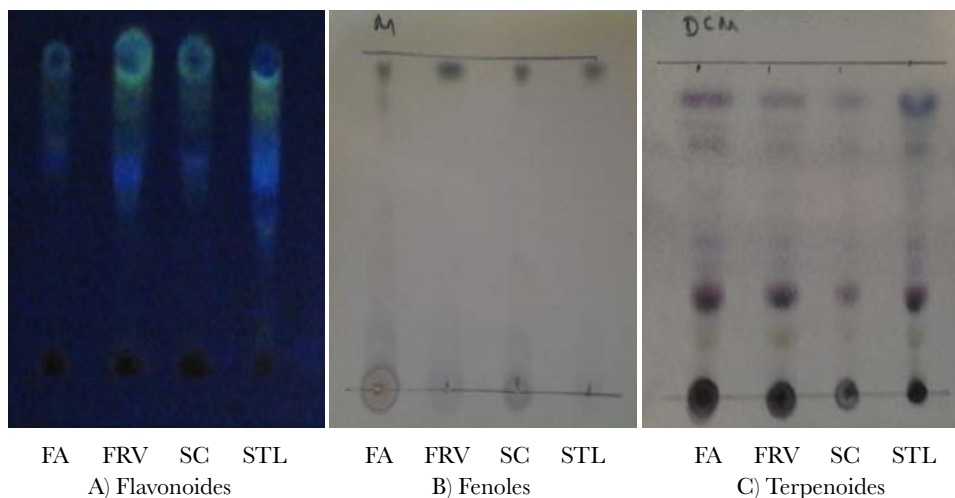
La mescalina también es uno de los 50 diferentes tipos de alcaloides registrados en el peyote (*Lophophora williamsii* (Lem. ex Salm-Dyck) J.M. Coult.). Así, con base en los resultados se requiere confirmar la presencia de estos compuestos en otras variantes de *O. ficus-indica* y en especies silvestres de *Opuntia*. Además, deberá realizarse la identificación y cuantificación de los alcaloides que puedan presentarse en este género.

**Terpenoides.** Los terpenoides también se detectaron en el extracto obtenido con metanol de los nopalitos de ambas especies (Cuadro 1). Este resultado también es sobresaliente, pues actualmente los terpenoides se habían detectado únicamente en las flores de *O. ficus-indica* y *O. stricta* (Ammar *et al.*, 2012). Así, los resultados permiten sugerir la conveniencia de confirmar la presencia de estos compuestos en los nopalitos de *Opuntia*.

**Cromatografía en capa fina.** Los resultados de las pruebas colorimétricas fueron corroborados mediante la separación de compuestos; esto con la ayuda del análisis de cromatografía en capa fina de los fenoles en el extracto generado con metanol y de terpenoides en el extracto obtenido con diclorometano. Además, esta evaluación permitiría descartar la ausencia de flavonoides en las variantes evaluadas (Cuadro 1). Esta confirmación se consideró necesaria, ya que, la presencia de flavonoides en los nopalitos y cladodios maduros de nopal ha sido documentada (Benayad *et al.*, 2014). La ausencia de flavonoides en los nopalitos en este estudio podría ser aparente debido a su concentración menor que el nivel de sensibilidad de la prueba colorimétrica y concentración de los fitoquímicos (Cuadro 1).

Las placas cromatográficas confirmaron la presencia de fenoles y terpenos en los nopalitos de ambas especies. Además, mediante cromatografía fue posible confirmar la presencia de flavonoides en las variantes de ambas especies (Figura 2). Así, se demostró que la concentración de este grupo de compuestos es menor que la detectable por el método colorimétrico y parece común en el género *Opuntia*.

Esto se observó mediante la longitud y continuidad de las bandas en las placas cromatográficas, ya que, estas indican la diversidad mayor de compuestos en los grupos de flavonoides y de terpenoides. Sin embargo, la diversidad del grupo de los fenoles fue notoriamente menor (Figura 2 B-C). La eficiencia mayor del metanol para extraer los compuestos fenólicos ya ha sido documentada en algunas especies; sin embargo, el etanol es mejor para otras. La eficiencia del disolvente para extraer ese grupo de compuestos es dependiente de la especie, ya que la solvatación depende principalmente de la naturaleza química de los compuestos a extraer, aunque las variaciones en la concentración también pueden tener algún efecto.



**Figura 2.** Placas cromatográficas con flavonoides (A) y fenoles (B) en el extracto obtenido con metanol, y terpenoides (C) en el extracto generado con diclorometano. FA y FRV: variantes Atlixco y Rojo Vigor de *O. ficus-indica*; SC y STL: variantes Castilla y Tuna Loca de *O. streptacantha*.






## Conclusiones

El análisis preliminar de los grupos de metabolitos especializados permitió reconocer la presencia de fenoles y flavonoides en nopalitos de los cultivares Atlixco y Rojo Vigor, de la especie domesticada *O. ficus-indica* y de las variantes Cardona y Tuna Loca de la especie silvestre *O. streptacantha*. La presencia de terpenoides es relativamente novedosa en nopalitos. La presencia de alcaloides únicamente en los nopalitos silvestres merece ser corroborada. El metanol fue el disolvente más adecuado para la extracción de los fenoles y flavonoides; para los terpenoides el diclorometano fue el más adecuado. Los alcaloides estuvieron ausentes en los nopalitos de *O. ficus-indica* y si se confirmara su presencia, por métodos más sensibles, en la especie silvestre su concentración seguramente será mínima. Similarmente los flavonoides parecen ausentes o sus concentraciones no son detectables por los métodos empleados en el presente estudio. La presencia o ausencia de los grupos de compuestos del metabolismo especializado: alcaloides, fenoles, flavonoides, terpenos y saponinas no se modifica en los nopalitos de las especies silvestre y domesticada de *Opuntia* durante el día.

## Innovación, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos.	Asociaciones Académicas y Científicas. Gobierno de los Estados. Productores. Comunidades Agrarias.	Primario: Agricultura, Ganadería, Explotación forestal. Secundario: Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación.	Social. Económico. Ambiental. Conocimiento. Uno, o la combinación de dos o más de las opciones anteriores.	Ciencia y Tecnología. Económico. Educación. Responsabilidad ambiental. Uno o la combinación de dos o más de las opciones anteriores.	Competitividad. Recursos naturales. Comercio. Capacitación. Uno o combinación de dos o más de las opciones anteriores.	Numero de tesis. Número de egresados (Lic. M.C., D.C.). Número de publicaciones. Número de familias beneficiadas. Transferencias tecnológicas. Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico.

# Permeabilidad de las membranas celulares de hojas de maguey (*Agave* spp.) y su relación con la especie y humedad del suelo

Francisca García-Nava<sup>1</sup>; Cecilia Beatriz Peña-Valdivia<sup>1\*</sup>; Carlos Trejo<sup>1</sup>  
Rodolfo García-Nava<sup>1</sup>; Hugo Ramírez Tobías<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 56264. México.

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. LGAC-CP: Cambio Climático, Estrés en Plantas y Mitigación.

\* Autor para correspondencia: cecilia@colpos.mx

## Problema

El agua es un factor limitante para el crecimiento de las plantas en la tierra y actúa como una fuerza selectiva de primer nivel para la evolución y distribución de las especies vegetales. Actualmente la falta de agua es una de las mayores limitantes en la producción y expansión de las áreas agrícolas, debido a los cambios ambientales globales y el incremento de la aridez de muchas regiones del planeta. Por consiguiente, es relevante conocer el efecto de la deficiencia de humedad en los suelos sobre la morfología, fisiología y metabolismo de las plantas. Las plantas difieren en su respuesta al estrés causado por el ambiente. La naturaleza e intensidad de la respuesta puede variar considerablemente dependiendo de la edad de la planta o del tejido, la estación del año, la intensidad y duración del evento generador del estrés en la planta. La tolerancia al déficit de humedad depende de los mecanismos de adaptación de las plantas; pero las respuestas varían entre y dentro de ellas. Entre los ajustes que la planta hace para tolerar el estrés están los relacionados con la estabilidad de las membranas celulares.

Las membranas celulares son las estructuras reconocidas como sitios sensores de diferentes factores abióticos que generan estrés en las plantas, como el exceso de sales, la deficiencia de humedad, la contaminación del aire, las temperaturas altas y bajas, la acidez del suelo, la presencia de metales pesados. La pérdida de la integridad de las membranas, causada por fluidez excesiva o peroxidación lipídica puede incrementar la permeabilidad de la membrana y la muerte celular durante el estrés. El incremento descontrolado de la permeabilidad de las membranas incrementa la liberación de solutos, como iones, azúcares solubles y aminoácidos, la que está correlacionada positivamente con la severidad del daño en las membranas producido por el estrés. La cuantificación de la conductividad

**Cómo citar:** García-Nava, F., Peña-Valdivia, C.B., Trejo, C., García-Nava, R., Ramírez-Tobías, H. (2024). Permeabilidad de las membranas celulares de hojas de maguey (*Agave* spp.) y su relación con la especie y humedad del suelo. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.430>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 81-87.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



eléctrica, basada en la medición de la cantidad de electrolitos liberados en el medio de suspensión del tejido es utilizada para evaluar la integridad y funcionalidad de las membranas celulares (Kovaleski y Grossman, 2021).

El género *Agave* se encuentra distribuido y bien adaptado a regiones áridas y semiáridas por sus características morfológicas y fisiológicas. Varias de las especies del género *Agave* son el producto de la domesticación y se han cultivado con propósitos diversos, como la producción de bebidas alcohólicas destiladas (bacanora, mezcal, raicilla, sotol y tequila), la extracción de fibras, su uso en la medicina tradicional, entre otros. Las plantas de *Agave* son perennes, suculentas, con raíces duras fibrosas y tallos gruesos muy cortos, presentan el metabolismo fotosintético de tipo ácido crasuláceo (MAC) y se caracterizan por su eficiencia alta en el uso del agua; estos mecanismos les permiten sobrevivir en condiciones de déficit hídrico constante. Debido a que aún se conocen sólo parcialmente los procesos biofísicos y fisiológicos que las plantas realizan para enfrentar exitosamente el estrés producido por los ambientes áridos y semiáridos, existe interés por la investigación de estas plantas para desarrollar modelos que permitan conocer los mecanismos que le confieren resistencia al déficit de humedad prolongado.

### Solución planteada

El efecto del riego y la suspensión durante 20 meses fue evaluado en la permeabilidad de las membranas celulares de las hojas de plantas de siete especies de *Agave* de dos años de edad, cultivadas en invernadero.

### Material vegetal evaluado

Las siete especies de maguey evaluadas fueron: *A. lechuguilla*, y *A. striata* del subgénero *Littaea* y *A. americana*, *A. angustifolia*, *A. asperrima*, *A. cupreata*, *A. salmiana* del subgénero *Agave*. Todas tienen importancia comercial y cultural ancestral y actual, pues, destacan por su uso para producir bebidas destiladas y fermentadas, para obtener fibras, alimentos y forraje (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014).

Las plantas fueron obtenidas de semillas y cultivadas en invernadero en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, México (clima BS1kw(w), con lluvias en verano e inviernos fríos), en macetas con 12 kg de una mezcla de suelo agrícola y grava de tezontle en proporción 3 a 1. Desde la siembra, hasta la emergencia de la segunda hoja las plantas fueron regadas una vez por semana, con agua suficiente para conservar el sustrato húmedo. Luego se formaron dos grupos de plantas a uno se le proporcionó 1 L de agua cada semana y al otro se le suspendió el riego durante 20 meses (humedad del suelo 30 y 3% respectivamente). El potencial de agua ( $\Psi_A$ ) se midió en el sustrato en cámaras psicrométricas (Wescor C-52, Inc, Utha, EE.UU.) conectadas a un microvoltímetro (Wescor HR-33T, Inc, Utha, EE.UU.), operado en el modo de punto de rocío. El  $\Psi_A$  fue  $-0.7 \pm 0.07$  y  $-5 \pm 0.41$  e.e. MPa en los tratamientos con riego frecuente y con riego suspendido.

### Variables evaluadas

Determinación de la permeabilidad de las membranas celulares. La permeabilidad de las membranas celulares fue cuantificada mediante la conductividad eléctrica (en  $\mu\text{S}$

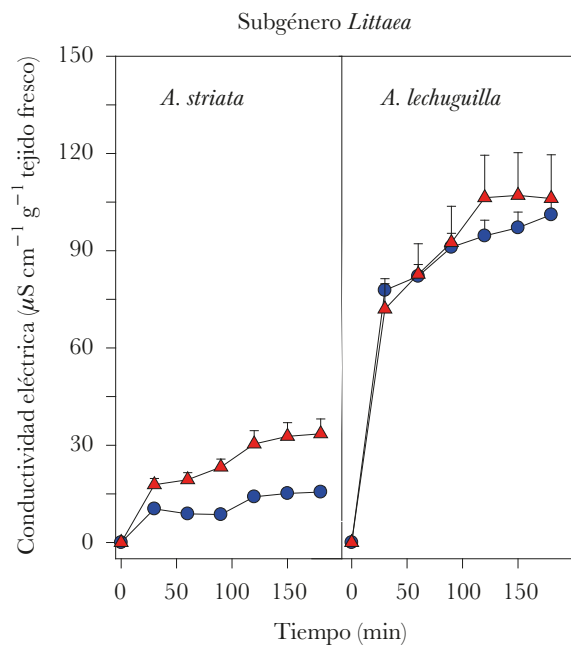
$\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  tejido fresco) del medio acuoso en el que se suspendieron segmentos frescos o congelados de las hojas. Para esto, se obtuvieron con un sacabocados, cinco segmentos de 1.5 cm de diámetro de la base al ápice de las hojas y los resultados fueron el promedio de los segmentos de cada hoja. El peso de las muestras se obtuvo en una balanza analítica (Scientech, EE.UU., precisión de 0.0001 g), se colocaron individualmente en cajas Petri con 25 mL de agua desionizada, que se mantuvieron con agitación ligera y constante en un agitador orbital (VSOS-4P Lab Plus Series PRO), a  $25 \pm 2$  °C. Las lecturas de la conductividad eléctrica se obtuvieron con un conductímetro (Horiba B-173, Kyoto Japón), cada 30 min durante 3 h, en 100  $\mu\text{L}$  del medio y los valores fueron ajustados a 1 g de tejido. Otro grupo de muestras se congeló y la conductividad eléctrica, de los electrolitos liberados, se midió igual que en las muestras frescas. La permeabilidad relativa de las membranas celulares en porcentaje, fue estimada con los cambios de la conductividad eléctrica (C.E.) generada por los segmentos de tejido fresco y por el tejido muerto por congelación (Cm), con la siguiente igualdad (Kovaleski y Grossman, 2021):

$$\text{Permeabilidad relativa de las membranas celulares (\%)} = (C.E. / Cm) \times 100$$

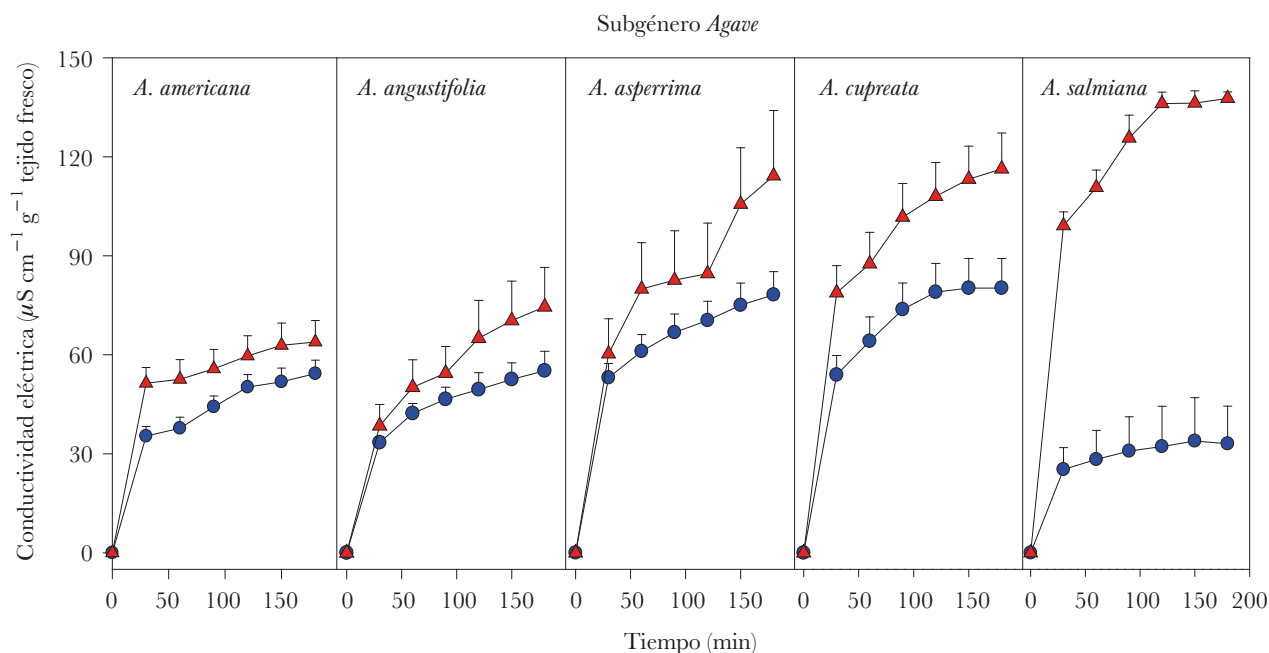
**Diseño experimental y análisis estadístico.** El diseño experimental fue completamente al azar con nueve repeticiones. La unidad experimental estuvo representada por una maceta (con tres plantas). Catorce tratamientos fueron evaluados, resultantes de la combinación de las siete especies de *Agave* y dos condiciones de humedad del suelo de (3 y 30% de humedad, sin riego y con riego). Análisis de varianza fue aplicado a los datos y comparaciones múltiples de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). El análisis se realizó con el paquete estadístico SAS V9; la representación se realizó con el programa Sigma Plot de Jandel Scientific (Versión 11.0).

**Permeabilidad de las membranas celulares.** Varias características generales de la cinética de liberación de electrolitos, evaluada mediante la conductividad eléctrica del medio acuoso en que se mantuvo el tejido foliar coincidieron entre las siete especies evaluadas. La conductividad eléctrica generada por el tejido fresco incrementó con el tiempo de permanencia en el medio acuoso de las siete especies; sin embargo, la tasa de liberación fue diferente entre ellas; con excepción de *A. lechuguilla*, los tejidos de las plantas sin riego generaron conductividad eléctrica menor comparada con la de las plantas con riego. Todos los tratamientos presentaron, liberación de electrolitos acelerada en los primeros 30 min y caída de la tasa de liberación a partir de ese tiempo. Con excepción de *A. lechuguilla* y *A. salmiana* sin riego, la liberación lenta de electrolitos se mantuvo así hasta los 180 min (Figura 1 y 2). Cambios de la conductividad eléctrica del medio similares a los obtenidos con los tejidos foliares de maguey, con riego y con restricción de humedad, fueron obtenidos con foliolos de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) domesticado, silvestre y su progenie afectados por estrés por frío y calor, con temperaturas entre 5 y 40 °C (Morales-Santos *et al.*, en este número de Agro Divulgación).

Además, se observaron diferencias significativas entre y dentro de los dos subgéneros. Las plantas de *A. striata*, del subgénero *Littaea*, con y sin riego generaron conductividad eléctrica en el medio acuoso seis veces menor respecto a *A. lechuguilla*, durante los 180 min



**Figura 1.** Conductividad eléctrica del medio de acuoso (+e.e.) durante el tiempo de permanencia de segmentos de hojas de plantas de dos años de edad de *Agave* spp., del subgénero *Littaea*, cultivadas en invernadero con riego semanal (●) o sin riego durante dos años (▲) (n=9).



**Figura 2.** Conductividad eléctrica del medio de acuoso (+e.e.) durante el tiempo de permanencia de segmentos de hojas de plantas de dos años de edad de *Agave* spp., del subgénero *Agave*, cultivadas en invernadero con riego semanal (●) o sin riego durante dos años (▲) (n=9).

de la evaluación (tiempo en el que la conductividad eléctrica del medio se había estabilizado o mostraba los cambios menores). En promedio, *A. striata* con suspensión de riego incrementó la conductividad del medio hasta el doble, después de los 180 min, en com-

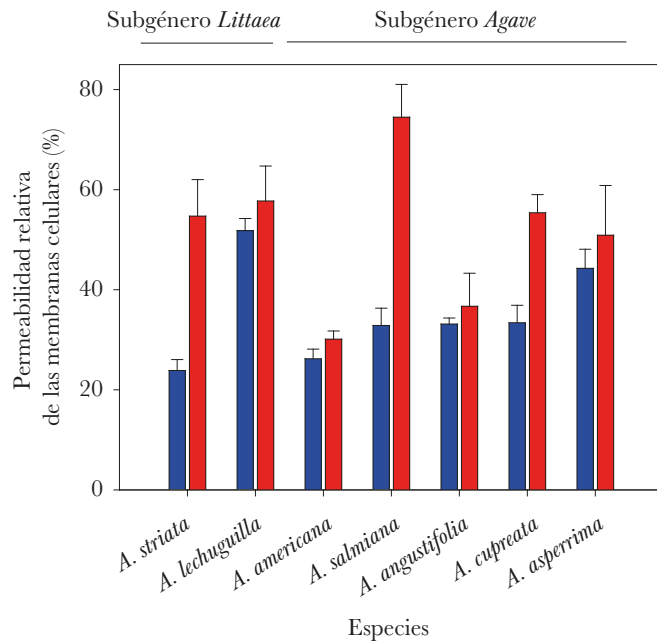
paración con el riego. En contraste, *A. lechuguilla* no modificó la conductividad eléctrica del medio por efecto de la suspensión del riego; además, en esta condición el tejido foliar estabilizó la conductividad desde los 120 min, es decir una hora antes que los otros tratamientos (Figura 1). Estos resultados muestran que las plantas de las dos especies de maguey del subgénero *Littaea* enfrentan la restricción de humedad mediante mecanismos biofísicos parcialmente diferentes en las membranas celulares, o mediante la composición específica de electrolitos o ambos.

Las especies del subgénero *Agave*, como en el subgénero *Littaea*, también mostraron diferencias significativas en la cinética de liberación de electrolitos. Aunque las plantas de las cinco especies del subgénero *Agave* con riego y restricción de humedad incrementaron significativamente la conductividad eléctrica del medio en el tiempo de evaluación, en los tejidos con riego, después de los 180 min la conductividad eléctrica máxima mostró un gradiente con valores entre 30 y 85  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  tejido fresco, en el siguiente orden: *A. salmiana* < *A. americana* < *A. angustifolia* < *A. asperrima* < *A. cupreata*. Además, únicamente en *A. cupreata* y *A. salmiana* la conductividad eléctrica máxima del tejido foliar de las plantas con riego se alcanzó antes de los 180 min. En esta última el valor máximo se detectó desde los 30 min y en los siguientes 150 min los cambios no fueron significativos, pero se estabilizó totalmente desde los 90-120 min. En *A. cupreata* la estabilización de la conductividad eléctrica se visualizó a partir de los 120 min. En contraste, en las otras especies de este subgénero el incremento fue significativo después de los 30 min y la salida de electrolitos continuó aumentando o tendió a estabilizarse a partir de los 150 min (Figura 2).

En los tejidos de las plantas sin riego, del subgénero *Agave*, la conductividad eléctrica máxima del medio, después de los 180 min de evaluación, mostró un gradiente entre 65 y 140  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  tejido fresco, en el siguiente orden: *A. americana* < *A. angustifolia* < *A. asperrima* < *A. cupreata* < *A. salmiana*. Además, de las especies del subgénero *Agave*, *A. americana* y *A. salmiana* destacaron porque en la primera la conductividad eléctrica máxima fue sólo 8  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  tejido fresco mayor que con riego y en la segunda la conductividad máxima del tejido de las plantas, también sin riego fue cerca de 120  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  tejido fresco. En el subgénero *Agave* el incremento de la conductividad eléctrica de los tejidos foliares de las plantas sin riego fue menor (entre 60 y 80  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  tejido fresco) en *A. americana* y *A. angustifolia*, en comparación con *A. asperrima*, *A. cupreata* y *A. salmiana* (entre 100 y 140  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  tejido fresco) en la misma condición de humedad (Figura 2).

La permeabilidad relativa (%) de las membranas es una medida del control de la salida de electrolitos y otras moléculas, desde las regiones subcelulares hasta el medio acuoso que rodea a los tejidos foliares. Este estudio mostró que existen diferencias significativas en la funcionalidad de las membranas celulares de las hojas entre los subgéneros y las especies de maguey; además, las plantas jóvenes de las siete especies responden parcial o totalmente diferente a la restricción prolongada de humedad (Figura 3).

Con riego *A. lechuguilla* presentó la permeabilidad relativa mayor de ambos subgéneros. La diferencia mayor en la permeabilidad relativa en las plantas con riego se observó entre las especies del subgénero *Littaea*; en este caso, *A. striata* mostró la mitad de la permeabilidad relativa de la membrana en comparación con *A. lechuguilla*. Aunque sin riego,



**Figura 3.** Efecto del riego (barras color azul) y su suspensión por 20 meses (barras color rojo) en la permeabilidad relativa de las membranas celulares (+e.e.) de hojas de plantas de *Agave* spp. (n=15).

la permeabilidad relativa de ambas especies del subgénero *Littaea* no mostró diferencia significativa, en *A. striata* ese valor fue más del doble respecto al de las plantas con riego. En contraste, en *A. lechuguilla* la permeabilidad relativa no cambió significativamente con la restricción de humedad (Figura 3). En el subgénero *Agave*, la permeabilidad relativa de las membranas en la condición con riego fue significativamente similar en *A. americana*, *A. salmiana*, *A. angustifolia* y *A. cupreata* y fue menor ( $P \leq 0.05$ ) respecto a *A. asperrima*. Sin embargo, con la suspensión del riego la permeabilidad relativa de las membranas incrementó significativamente *A. salmiana* y *A. cupreata* y en el primer caso el incremento fue más del doble (Figura 3).

La estabilidad de las membranas celulares frecuentemente es utilizada como un criterio para evaluar la tolerancia de las plantas a la sequía, ya que el estrés hídrico causado por la pérdida de agua de los tejidos vegetales afecta su estructura, composición y función. Por esto, la salida de cantidades mayores de electrolitos generalmente incrementa la conductividad eléctrica del medio acuoso en el que se mantiene el tejido de prueba. Sin embargo, esto depende del tipo y cantidad de electrolitos liberados; entre estos pueden estar iones como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{PO}_4^-$ , algunos aminoácidos, ácidos orgánicos, entre otros. Los resultados de los tejidos foliares de las plantas con riego indicaron que hay diferencias significativas en la funcionalidad de las membranas entre las especies de *Agave* y su capacidad para regular la salida de electrolitos también podría diferir entre ellas. Los resultados de los tejidos de las plantas con riego y sin riego también pueden indicar que la composición intercelular es diferente entre las especies de *Agave*, y debido a esto el tipo y la concentración de los electrolitos liberados son diferentes entre ellas. Por ejemplo, los  $\Psi_A$  menores que  $-0.03$  MPa, considerados con déficit de humedad, incrementan la liberación de  $\text{K}^+$

en la raíz de frijoles silvestres y domesticados; así, el sustrato con menor  $\Psi_A$  incrementó 2.5 veces la liberación de  $K^+$  en las tres variantes.

Las alteraciones por el estrés hídrico en las membranas celulares pueden estar asociadas a cambios en la estructura física o composición químicas de los lípidos (contenido, composición, saturación y fluidez) y las proteínas dan forma y función a cada membrana en la célula. Al respecto, este estudio mostró que el índice de daño en las membranas celulares es un parámetro adecuado para identificar diferencias y semejanzas entre especies de maguey y que la estabilidad de las membranas celulares en respuesta al déficit de humedad es un carácter relativamente común (cerca de 60%) en el género *Agave*.

Independientemente de la cantidad y tipo de electrolitos liberados al medio, la conductividad eléctrica generada por los tejidos foliares, o alteraciones en las membranas celulares es razonable suponer que las plantas jóvenes de las siete especies de *Agave*, en las condiciones de este estudio, toleraron la humedad restringida en el sustrato ( $\Psi_A < -5$  MPa) durante 20 meses sin riego, y permanecieron vivas, pues después de ese tiempo se reactivó el riego y las plantas continuaron su crecimiento. El efecto parcial de la humedad restringida en el crecimiento de las plantas de las mismas especies evaluadas en este estudio fue documentado por Ramírez-Tobías *et al.* (2014). La disminución relativa de la funcionalidad de las membranas celulares de *A. striata*, *A. cupreata* y *A. salmiana* puede ser evidencia de que estas especies son menos tolerantes a la sequía prolongada en comparación con *A. americana*, *A. lechuguilla*, *A. angustifolia* y *A. asperrima*.

El déficit de humedad prolongado en plantas jóvenes de maguey provoca ajustes en la estabilidad, integridad y funcionalidad de las membranas celulares que les permite sobrevivir a esa condición durante 20 meses. Independientemente de la condición de riego *A. striata* presentó la permeabilidad menor de las membranas celulares ( $15.56$  y  $33.51 \mu S \text{ cm}^{-1} 100 \text{ mg}^{-1}$ ), mientras que *A. lechuguilla* y *A. salmiana* presentaron los valores mayores ( $101$  y  $137.71 \mu S \text{ cm}^{-1} 100 \text{ mg}^{-1}$ ) con riego y sin riego, respectivamente. Los resultados aportan evidencia de la mayor estabilidad de las membranas celulares de las plantas de *A. americana*, *A. angustifolia* y en contraste con *A. striata*, *A. salmiana* y *A. cupreata*, lo que permite sugerir que las especies tienen mecanismos diferentes para enfrentar el estrés por déficit de humedad.

### Innovación, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Innovación sostenible	Desarrollo de modelos que permitan conocer los mecanismos que le confieren resistencia al déficit de humedad prolongado en especies de <i>Agave</i> .	Gobierno de los Estados. Productores. Comunidades Agrarias.	Primario: Agricultura, Secundario: Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación.	Social. Económico. Ambiental.	Educación. Responsabilidad ambiental.	Recursos naturales. Capacitación.	Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico.



# Tolerancia de la progenie de frijol silvestre y domesticado a temperaturas extremas

Martha E. Morales Santos<sup>1</sup>; Cecilia B. Peña-Valdivia<sup>2\*</sup> ; Antonio García-Esteva<sup>2</sup>   
Gisela Aguilar Benítez<sup>3</sup> ; Rodolfo García Nava<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Programa de Recursos Genéticos y Productividad, Fisiología Vegetal, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 56264. México.

<sup>2</sup> Programa de Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 56264. México.

<sup>3</sup> Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 78377. Altair 200, Colonia del Llano, San Luis Potosí, México.

LGAC-CP: Cambio Climático, Estrés en Plantas y Mitigación

Fisiología Vegetal para la Innovación en la Producción Agrícola Sustentable

\* Autor para correspondencia: cecilia@colpos.mx

## Problema

De acuerdo con los modelos predictivos, el cambio climático global impactará negativamente el desarrollo, la reproducción y el rendimiento en ecosistemas naturales y agrícolas. Esto debido a condiciones ambientales poco favorables para las plantas, particularmente por sequías, aumento de la temperatura media anual global y las olas de calor; además, los episodios atípicos de temperaturas bajas, precipitaciones y heladas siguen presentándose en diversas regiones globalmente. Los efectos de las temperaturas que generan estrés en las plantas depende de la duración y tiempo de exposición, la sensibilidad de las especies, la etapa de desarrollo en la que se encuentre la planta y de su adaptación a esa condición; las alteraciones se describen como estrés por frío o estrés por calor. Ambos inducen disfunción de los sistemas de membranas (plasmalema, tonoplasto, envoltura y tilacoide en los cloroplastos, mitocondrias, retículo endoplásmico y aparato de Golgi), que pierden la capacidad de mantener iones (como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{PO}_4^-$  y otros) y ciertas moléculas (como azúcares, aminoácidos y otras) dentro de los espacios celulares. Por esto, el contenido celular puede ser expulsado al medio en el que se encuentren los tejidos. Esa liberación, específicamente de los electrolitos, es equivalente a la conductividad eléctrica del medio en el que se encuentren los tejidos, la que se incrementa con el nivel de daño en las membranas y es una indicadora de resistencia o sensibilidad al estrés. Esa evaluación ha permitido identificar genotipos tolerantes o sensibles al estrés abiótico en soya (*Glycine max*), arroz (*Oryza sativa*), maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y chile (*Capsicum annuum*) (Kovaleski y Grossman, 2021).

**Cómo citar:** Morales-Santos, M.E., Peña-Valdivia, C.B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G., García-Nava, R. (2024). Tolerancia de la progenie de frijol silvestre y domesticado a temperaturas extremas. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.431>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 89-99.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



Las temperaturas extremas afectan al cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), ya que alteran el establecimiento del cultivo, el ciclo completo de desarrollo y la productividad. Los frijoles silvestres han mostrado resistencia al estrés por calor, déficit de humedad y algunas plagas, en contraste con los domesticados. Sin embargo, la tolerancia de la progenie de estos últimos con los silvestres ha sido poco documentada.

### Solución planteada

El efecto de la temperatura, entre 5 y 40 °C, en la permeabilidad de las membranas celulares de frijol domesticado, silvestre y su progenie fue evaluado en la cinética de liberación de electrolitos y los índices de daño en sus hojas.

### Materiales evaluados

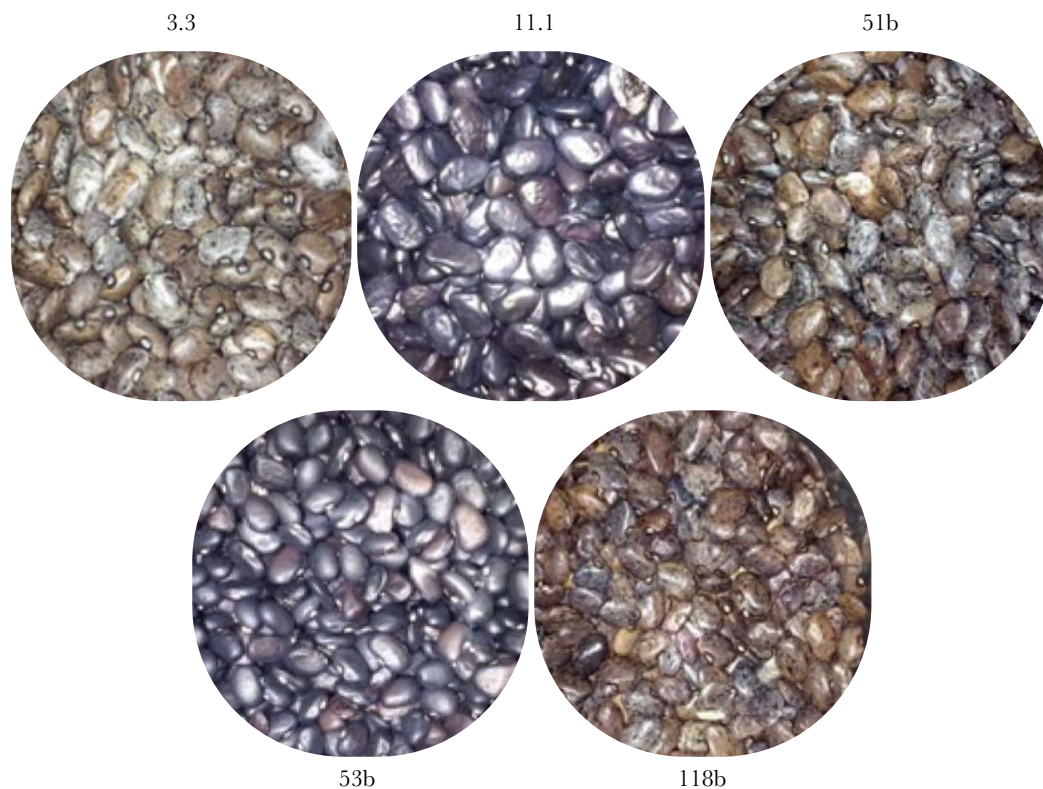
Plantas de las siguientes variantes de *P. vulgaris* L. fueron cultivadas en un invernadero de polietileno, en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México (19° 31' N, 98° 53' O; 2353 m de altitud); (a) domesticados (Figura 1): cultivares Bayo Mecentral y Negro Tacaná; (b) silvestres (Figura 2): Chihuahua, Durango Típico y S13 y (c) líneas derivadas de la cruce entre el cv. Negro Tacaná y el silvestre S13 (Figura 3), identificadas como 3.3, 11.1, 51b, 53b y 118b por el Dr. Jorge Acosta Gallagos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.



**Figura 1.** Semillas de frijol domesticado de los cultivares Bayo Mecentral y Negro Tacaná.



**Figura 2.** Semillas de frijol silvestre de las recolectas Chihuahua, Durango Típico y S13.



**Figura 3.** Semillas de líneas, 3.3, 11.1, 51b, 53b y 118b, derivadas de la cruce del cv. Negro Tacaná con el silvestre S13.

Las semillas (escarificadas con un corte en la testa, en el lado opuesto al micrópilo, con bisturí) fueron sembradas a 4 cm de profundidad en tezontle (tamaño de partícula  $\leq 0.5$  cm), contenido en charolas de material plástico (49×36×18 cm; 15 semillas por charola con seis repeticiones). El tezontle se mantuvo húmedo mediante riego con agua dos o tres veces por semana, desde la siembra hasta que las hojas primarias estuvieron completamente desplegadas. Luego las plantas se regaron con solución Steiner (presión osmótica de 0.018, 0.036, 0.054 MPa.) por 8 días, y durante el resto del cultivo el riego fue con dicha solución a 0.072 MPa.

### **Evaluación de la permeabilidad de las membranas celulares mediante la conductividad eléctrica (CE)**

La liberación de electrolitos fue evaluada en el tejido foliar mediante la CE generada en el medio acuoso (Kovaleski y Grossman, 2021). La longitud y anchura del primer trifolio fueron registradas diariamente hasta su máximo crecimiento. Estos trifolios fueron cosechados (entre las 9 y 10 am), enjuagados con agua destilada y colocados individualmente en tubos de ensayo de vidrio. Los tubos se colocaron en una cámara con ambiente controlado (Seedburo; Modelo ATTGPT-B; con luz blanca, equivalente a radiación fotosintéticamente activa de  $18.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y temperatura constante de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 o  $40 \pm 1$  °C durante 3 h. Después, cuatro círculos fueron obtenidos de los folíolos, con un sacabocados ( $0.636 \text{ cm}^2$ ), enjuagados brevemente con agua destilada (para eliminar los

residuos de la zona de corte) y pesados en una balanza analítica (Scentiech; SA120; precisión de  $\pm 0.0001$  g). Los círculos fueron colocados en vasos de vidrio con 5 mL de agua desionizada y con agitación orbital (120 rpm), a  $25 \pm 2$  °C, durante 3 h. La CE del medio acuoso fue cuantificada al inicio (tiempo cero) y cada 30 min, en 100  $\mu$ L del medio, con un conductímetro (Horiba B-173); estos valores correspondieron a la CE del tejido vivo (CETV). Después de 3 h de lecturas, el tejido foliar fue extraído del medio acuoso, empaquetado con “papel aluminio” y congelado con nitrógeno líquido. El tejido se transfirió a 5 mL de agua desionizada y la CE del medio acuoso fue cuantificada en la forma descrita para el tejido vivo. Esta CE correspondió al total de electrolitos del tejido muerto (CETM). La conductividad fue expresada en  $\mu$ S  $\text{cm}^{-1}$  100  $\text{mg}^{-1}$  de tejido.

### Evaluación del daño en las membranas celulares

La funcionalidad e integridad de las membranas celulares fue cuantificada mediante el índice de daño (*Id*) con la siguiente ecuación:

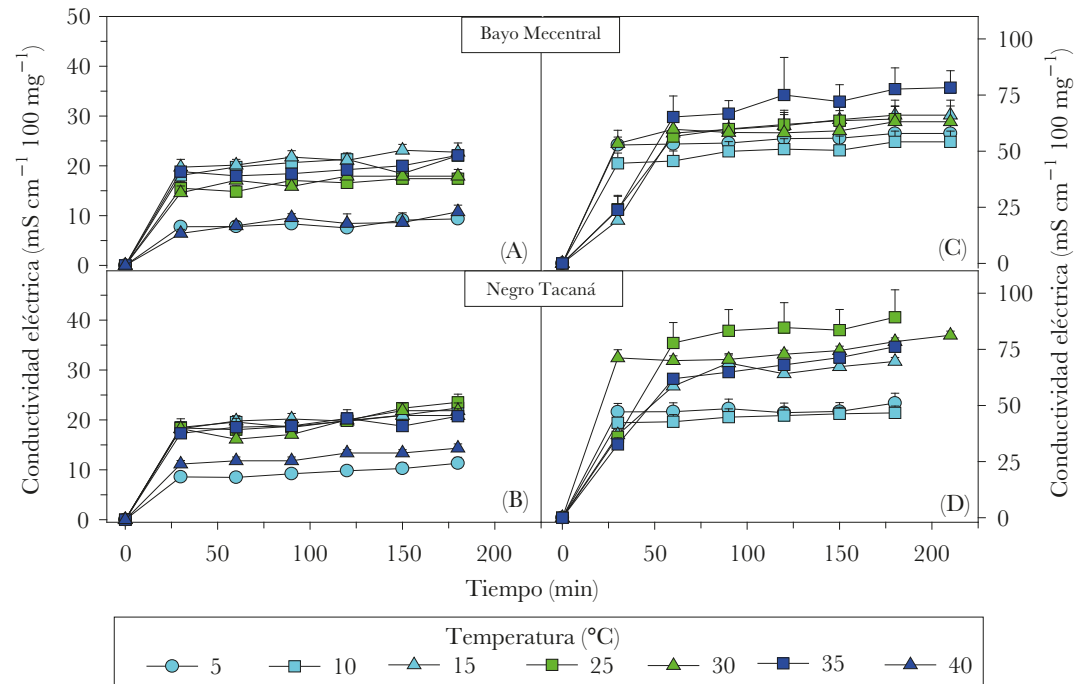
$$Id(\%) = \left( \frac{CETV - CE0}{Rf - CE25} \right) \times 100$$

donde *Id*: índice de daño, *CETV*: CE del medio con el tejido vivo con cada temperatura entre 5 y 40 °C (excepto 25 °C), *CE0*: CE inicial (tiempo cero), *CE25*: CE con la temperatura óptima (25 °C) y *CETM*: CE del medio con el tejido muerto (Kovaleski y Grossman, 2021).

El estudio fue desarrollado con un diseño experimental completamente al azar, con 81 tratamientos (derivados de la combinación de nueve variantes y nueve temperaturas) y seis repeticiones, cada una representada por una planta. Los resultados fueron analizados con ANDEVA y comparación múltiple de medias de Tukey. Los resultados fueron graficados con el software SigmaPlot 11.00 (versión libre).

### Alteraciones en la liberación de electrolitos por temperaturas extremas

La cinética de la liberación de electrolitos, equivalente a la CE del medio, del tejido vivo de las nueve variantes mostró dos fases, en cada una se identificó la CE mínima (a los 30 o 60 min) y la máxima (a las 3 h). La primera fase fue acelerada y en la segunda la CE se estabilizó o incrementó lentamente en la mayoría de los tratamientos (Figura 4A-B, Figura 5A-C, Figura 6A-D). La primera fase de las líneas 3.3 y 11.1 no fue acelerada y la liberación inicial de electrolitos, con las ocho temperaturas (de 5 a 40 °C), se presentó después de los primeros 30 min. La cinética de liberación de electrolitos del tejido vivo de ambos cultivos mostró que con 5 y 40 °C la CE inicial y la final fue significativamente ( $P \leq 0.05$ ) menor comparada con el intervalo entre 10 y 35 °C. Además, únicamente en Bayo Mecentral las cinéticas no fueron diferentes con ambas temperaturas extremas. Con 5 y 40 °C la CE inicial en este cultivar fue  $7.10 \mu\text{S cm}^{-1}$  100  $\text{mg}^{-1}$  e incrementó, en promedio, al triple o más con 10 a 35 °C. Sin embargo, la liberación máxima de electrolitos en Bayo Mecentral mostró los valores mayores ( $22 \mu\text{S cm}^{-1}$  100  $\text{mg}^{-1}$ ) con 15 y 35 °C y en Negro Tacaná ( $23.5 \mu\text{S cm}^{-1}$  100  $\text{mg}^{-1}$ ) fue con 25 °C (Figura 4A-B). Las diferencias indicaron efecto de la temperatura dependiente del cultivar.

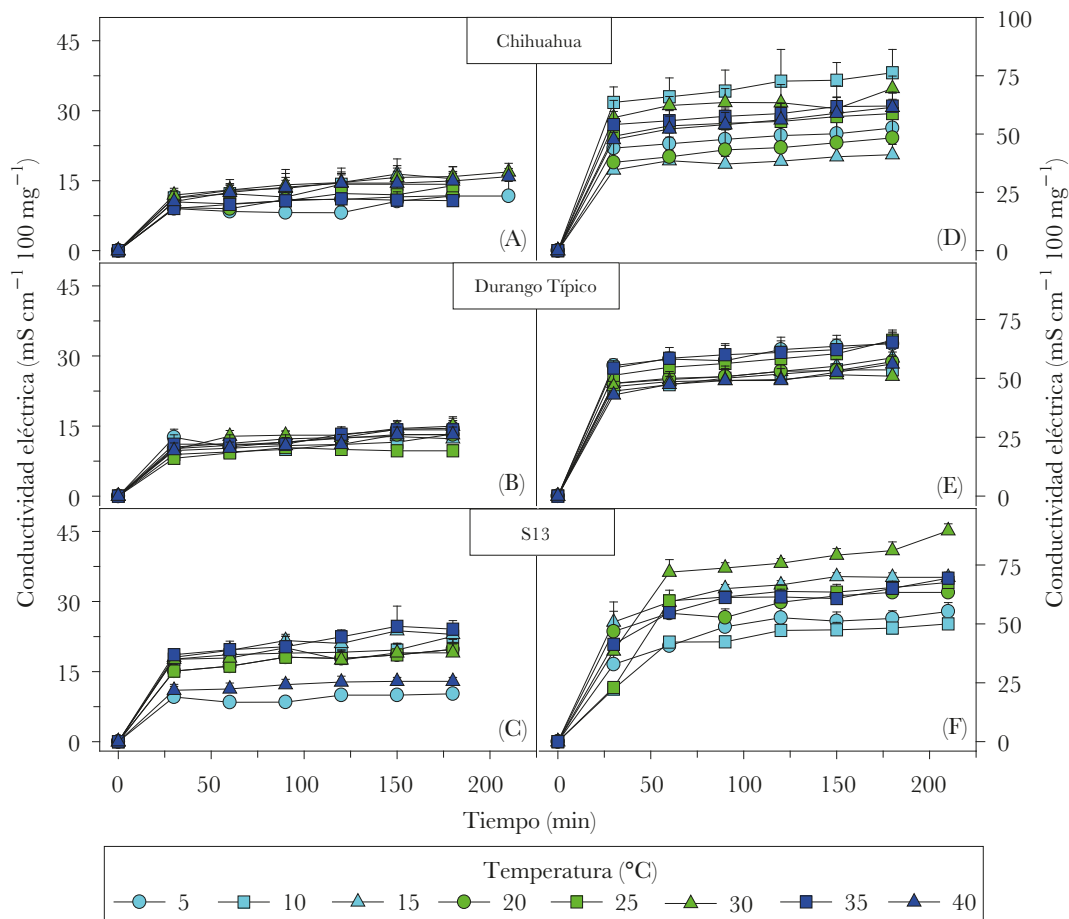


**Figura 4.** Conductividad eléctrica (+e.e.) del medio acuoso con tejido foliar vivo (A, B) o tejido muerto (C, D) de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) domesticado, previamente mantenido durante 3 h con las temperaturas señaladas (n=6).

Las variantes silvestres Chihuahua y Durango Típico no mostraron diferencias ( $8.0$  a  $13.8 \mu\text{S cm}^{-1} 100 \text{ mg}^{-1}$ ) en la CE inicial entre las temperaturas, aunque no hubo una tendencia única. En contraste, en CE inicial S13 sí mostró un gradiente dependiente de la temperatura, con la CE menor con  $5$  y  $40$  °C ( $10 \mu\text{S cm}^{-1} 100 \text{ mg}^{-1}$ ) y las mayores ( $15$  a  $19 \mu\text{S cm}^{-1} 100 \text{ mg}^{-1}$ ) con  $15$ ,  $30$  y  $35$  °C. La CE máxima en algunos tratamientos de los frijoles silvestres no cambió respecto a CE inicial (Figura 5A-C). Este fue el caso de Durango Típico; en contraste S13 tuvo incrementos de hasta 30% con  $25$  a  $35$  °C (Figura 5A-C).

Lo anterior indica que el tejido foliar de las variantes silvestres del estudio fueron afectadas parcialmente diferente con las temperaturas entre  $5$  y  $40$  °C y es evidencia indirecta de que los electrolitos liberados al medio difieren en cantidad, tipo o ambos. La cinética de liberación de electrolitos de las líneas 3.3 y 11.1 fue atípica si se compara con las del resto de tratamientos; ya que, ambas tuvieron una fase lag, sin cambio en los primeros 30 min, otra fase de incremento acelerado entre los 30 o 60 min y luego la fase de liberación lenta que se extendió por 120 o 150 min. La CE inicial de las cuatro selecciones de la progenie fue menor con  $35$  °C. La fase lenta prácticamente no fue modificada por las temperaturas ( $P > 0.05$ ) en las selecciones (Figura 6A-C).

La selección 3.3 con el incremento mayor con algunas temperaturas, comparada con las otras selecciones, mostró 19% de incremento de la CE entre la primera y tercera hora, con  $10$  y  $35$  °C (Figura 6A-B). La CE mayor de los tejidos foliares vivos de Negro Tacaná y de S13 con temperatura entre  $10$  y  $35$  °C fue de alrededor de  $22 \mu\text{S cm}^{-1} 100 \text{ mg}^{-1}$

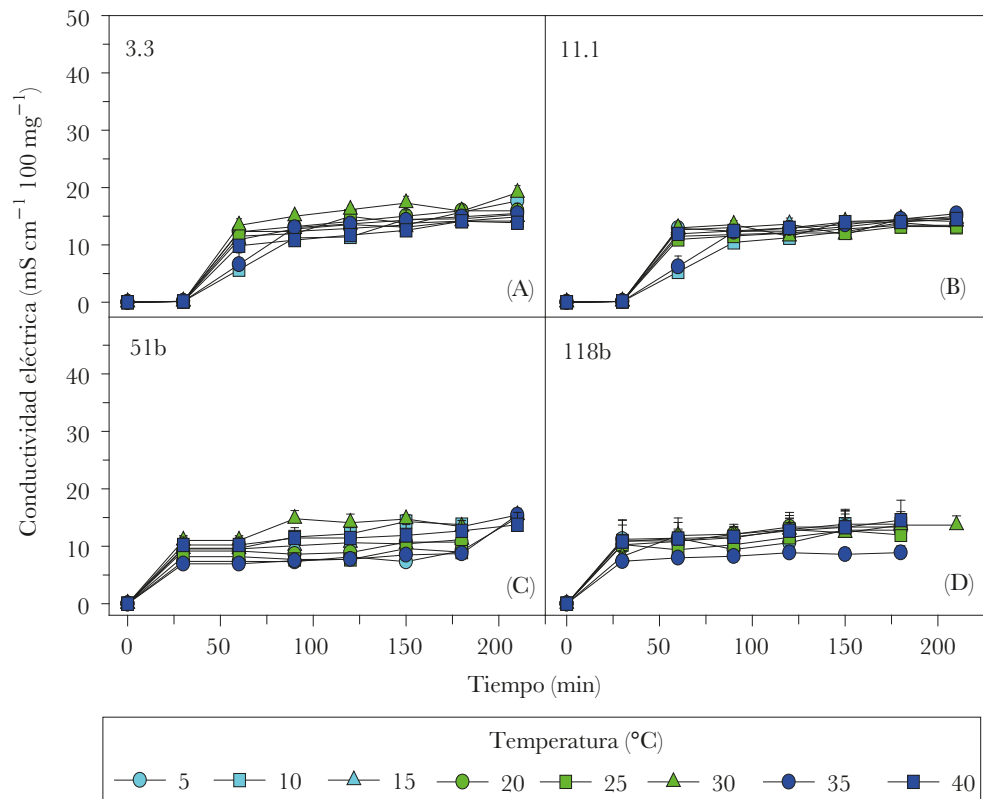


**Figura 5.** Conductividad eléctrica (+e.e.) del medio acuoso con tejido foliar vivo (A-C) o tejido muerto (D-F) de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, previamente mantenido durante 3 h con las temperaturas señaladas (n=6).

y ninguna de las selecciones de su progenie alcanzó esos valores; en promedio las cuatro selecciones mostraron 33% menos liberación de electrolitos comparadas con los progenitores (Figura 4-6). Estos resultados indican que la progenie de frijol silvestre y domesticado, puede expresar características excepcionales diferentes a las de los progenitores en la funcionalidad de las membranas celulares y su alteración por frío y calor. Además, los tejidos foliares de los cultivares mostraron más susceptibilidad a pérdida de funcionalidad de sus membranas y aumento de su permeabilidad por temperaturas extremas, en comparación con los silvestres y las selecciones.

### Conductividad eléctrica del tejido por liberación total de electrolitos (tejido muerto)

La liberación de electrolitos del tejido muerto por congelación permite reconocer indirectamente el contenido total de estos en los tejidos; ya que, las membranas celulares habrán perdido totalmente su funcionalidad en el tejido después de descongelarse. Así, la liberación pasiva de electrolitos permite reconocer la pérdida de la funcionalidad de las membranas celulares en los tejidos muertos (Kovaleski y Grossman, 2021).

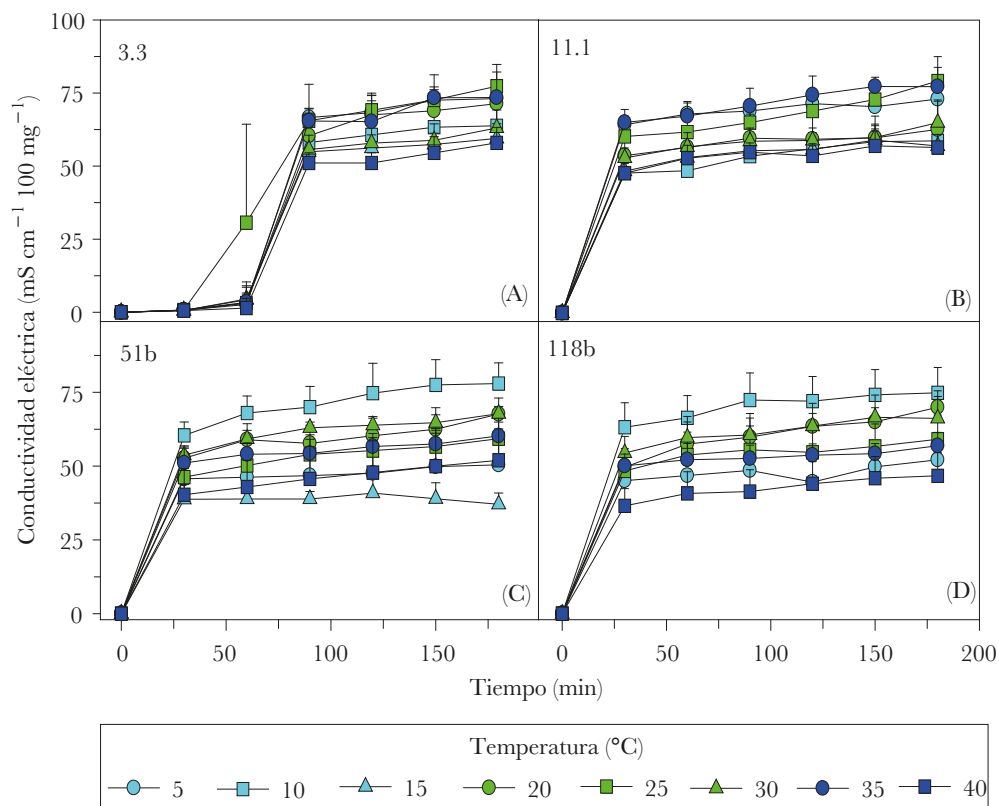


**Figura 6.** Conductividad eléctrica (+e.e.) del medio acuoso con tejido foliar vivo, previamente mantenido durante 3 horas con las temperaturas indicadas, de las líneas de la cruz del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre S13 y el domesticado Negro Tacaná (n=6).

La cinética de liberación total de electrolitos (en tejido muerto), independientemente de la temperatura a la que se expusieron previamente las hojas, mostró dos fases, la única excepción fue la progenie 3.3, con tres fases. En la mayoría de los tratamientos, la CE durante los primeros 30 o 60 min había alcanzado el valor máximo o cercano a él; por lo que, durante las siguientes 2.5 h el incremento fue lento cuando lo hubo. Los tratamientos en los que la fase inicial se alargó a 60 min fueron Bayo Mecentral, Negro Tacaná y S13 con temperaturas diferentes. Entre los tratamientos que mantuvieron sin cambio su CE en la segunda fase estuvieron Negro Tacaná con 5, 10, 15 y 30 °C y la línea 51b con 15 °C (Figura 4C-D, Figura 5D-F y Figura 7).

La línea 3.3 mostró al inicio una fase tipo lag, con incremento mínimo, que se extendió a 60 min con la mayoría de las temperaturas y el incremento en los siguientes 30 min, en la siguiente fase, fue significativo ( $P \leq 0.05$ ) respecto al inicial. La CE inicial, en los tejidos previamente congelados, varió ampliamente ( $P \leq 0.05$ ) dentro y entre las variantes y no se identificaron tendencias dependientes de la temperatura.

La variabilidad en CE máxima dentro de las variantes silvestres, en la mayoría de los tratamientos mantuvo las mismas tendencias que en la primera fase. La CE máxima del tejido muerto incrementó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) comparada con el tejido vivo, en todos los tratamientos. Los incrementos variaron sin una tendencia identificable, entre el doble, en el cv. Negro Tacaná con 10 °C, y cerca de siete veces, en el silvestre Durango



**Figura 7.** Conductividad eléctrica (+e.e.) del medio acuoso con tejido foliar muerto por congelación, después de haber permanecido durante 3 horas con las temperaturas indicadas, de las líneas de la cruz del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre S13 y el domesticado Negro Tacaná (n=6).

Típico con 25 °C y la selección 51b con 25 y 35 °C. Esto indica que, el tejido vivo de todos los tratamientos, aunque estuviera con estrés por frío o calor, mantuvo la funcionalidad parcial de sus membranas (Figura 4C-D, Figura 5D-F y Figura 7A-D).

Las dos fases de liberación de electrolitos se han documentado en raíz de frijol y de maíz, cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y hojas de café (*Coffea* sp.). La liberación lenta de electrolitos y el incremento paulatino de CE del medio por efecto de temperaturas bajas en tejidos vivos están asociados a los procesos físico-químicos pasivos de difusión de iones en el apoplasto. Los cambios lentos de CE en la segunda etapa se atribuyen a la actividad funcional de la membrana plasmática (o plasmalema) y la tasa de salida de electrolitos puede indicar pérdida de control de su permeabilidad. La impermeabilidad, o permeabilidad selectiva, es una de las funciones más relevante de las membranas celulares, por lo que su alteración conduce al funcionamiento incorrecto del tejido y puede causar su muerte. La cinética de liberación de electrolitos de los tejidos vivos mostró un gradiente de permeabilidad entre los tipos de frijol evaluados. Las membranas celulares foliares de la progenie mantuvieron parcialmente su permeabilidad selectiva (o impermeabilidad) independiente de la temperatura, al menos dos de las variantes silvestres mantuvieron parcialmente ese control y las de los frijoles domesticadas fueron las más alteradas o susceptibles al daño.

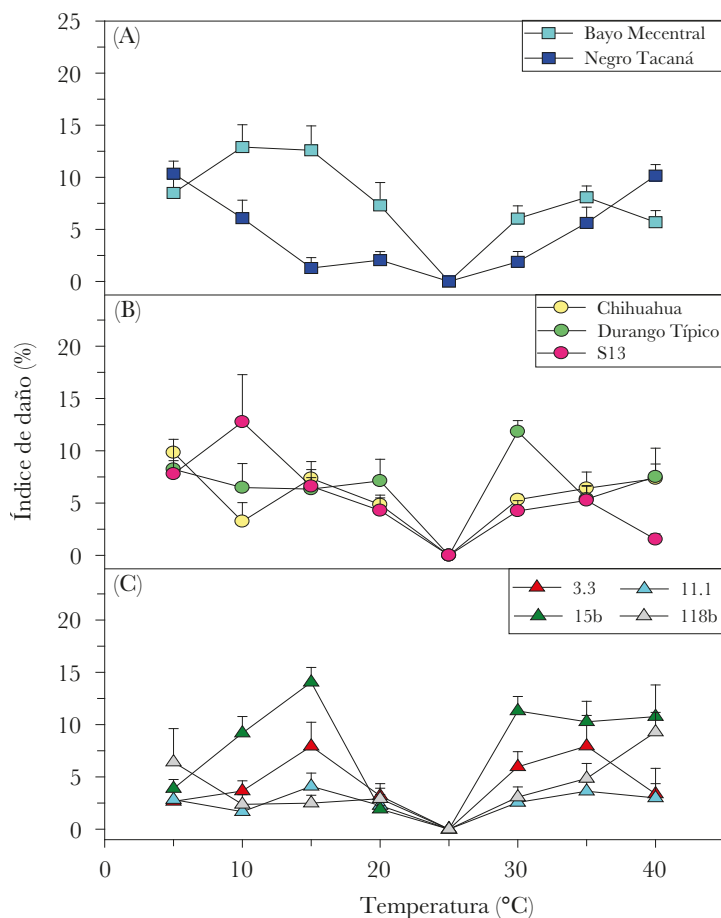
### Índice de daño (Id)

Los índices de daño (Id) entre las variantes domesticadas, fluctuaron ( $P \leq 0.05$ ) con las temperaturas. El cv. Bayo Mecentral mostró valores entre 5% con 40 °C y 13% con 10 y 15 °C; en general, los valores mayores se obtuvieron con las temperaturas menores. Esto indica que Bayo Mecentral es menos sensible a las temperaturas cálidas en comparación con las frías. El cv. Negro Tacaná mostró Id entre 1.2 y 10.35%; los valores mayores (alrededor de 10%) se obtuvieron con las temperaturas extremas (5 y 40 °C); los Id con valores intermedios (6%) correspondieron a temperaturas menos extremas (10 y 30 °C) y las moderadas (entre 15 y 30 °C) generaron los Id menores (entre 1 y 2%) en este cultivar. Esto indica que el tejido foliar del cv. Negro Tacaná es sensible al calor y al frío y reacciona diferente al cv. Bayo Mecentral que es mayormente sensible al frío (Figura 8A).

El Id del silvestre Chihuahua fluctuó entre 3 y 10% con 10 y 5 °C. Lo que indica estabilidad relativa de sus membranas celulares foliares a temperaturas entre 10 y 40 °C. Los Id del silvestre Durango Típico fueron mayores (8.3%) con las temperaturas extremas 5 y 40 °C, pero se observó un máximo que parece atípico a 30 °C; además, las fluctuaciones del Id de esta variante fueron poco pronunciadas, alrededor de 6 % con la mayoría de las temperaturas. La silvestre S13 fue la única que mostró un gradiente del Id relacionado con la temperatura; los mayores (10%) correspondieron a las temperaturas menores y disminuyeron (2%) con las temperaturas mayores (Figura 8B).

Los Id de las líneas de la cruz mostraron tendencias parcialmente parecidas entre sí. Con 20 °C se obtuvieron los Id menores (entre 2 y 3%) de las cuatro líneas. En contraste, con 15, 30 y 35 °C las líneas 3.3 y 51b incrementaron ( $P \leq 0.05$ ) su Id (8% en 3.3 y 4% en 51b). Sin embargo, el efecto de las temperaturas extremas no mantuvo esa tendencia y la línea 3.3 presentó algunos Id menores con 5, 10, 40 °C.

Las líneas 11.1 y 118b mostraron estabilidad mayor en sus membranas y los Id se mantuvieron entre 1.7 y 4.1% en el primer caso y entre 2 y 6.6% en el segundo caso, independientemente de la temperatura (Figura 8C). En general entre las cuatro selecciones, las membranas celulares foliares de 51b reaccionaron mayormente a las temperaturas extremas y la línea 11.1 fue la más tolerante al frío y al calor (Figura 8C). Con excepción de la línea 51b, la progenie del frijol domesticado y silvestre mostró Id menores con todas las temperaturas (en promedio 4%) comparados con los domesticados (en promedio 7%) y los silvestres (en promedio 6%), con excepción de Durango Típico. La cuantificación de la alteración celular en los tejidos vegetales expresada como pérdida de la integridad de la membrana permite correlacionarla con los cambios que ocurren en la estructura y composición de la célula con su funcionalidad. Esto se comprobó con el incremento de la CE máxima de los tejidos muertos de todos los tratamientos, la que se triplicó o cuadruplicó respecto al tejido vivo. Los resultados experimentales comprobaron esa relación y que la relación fisiológica con la ultraestructura de la célula también puede utilizarse para medir el daño en los tejidos, aunque los síntomas no sean visuales. Las diferencias en las cinéticas de liberación de electrolitos y los Id entre las variantes de frijol de este estudio se basan en modificaciones complejas en la organización y características fisicoquímicas de los lípidos de todas las membranas celulares y en alteraciones en la funcionalidad de las proteínas de membrana encargadas del transporte de solutos a través de ellas. La liberación mayor de



**Figura 8.** Índice de daño (+e.e.) de tejido foliar, mantenido por 3 horas a las temperaturas indicadas, de frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.) domesticados (A), silvestres (B) y líneas de la cruce del silvestre S13 y el domesticado Negro Tacaná (n=6).

electrolitos a menudo se relaciona con la fluidez de la membrana; con temperaturas bajas su fluidez disminuye y estos cambios son dependientes de la composición lipídica. Debido a que la composición de lípidos del plasmalema y las otras membranas celulares es distinta dentro entre tejidos y dentro y entre especies, su fluidez y permeabilidad se afecta diferente por las temperaturas, pero los efectos sumados darán como resultado la inestabilidad o daño de los tejidos en la planta. Además de los lípidos, las proteínas en las membranas que están relacionadas con los procesos de transporte, como una de sus funciones principales, es el intercambio de solutos y modifican su funcionalidad por la temperatura y por los cambios de la fluidez de los lípidos.

El gradiente de los Id de los frijoles domesticados, silvestres y progenie por efecto de la temperatura mostró que las lesiones causadas por temperaturas extremas pueden ocurrir en las hojas de todas las variantes de frijol, pero los mecanismos y tipos de daños son diversos. Por lo que, el genotipo en dependencia de sus características bioquímicas, biofísicas y fisiológicas permite mantener la integridad de la membrana o reparar el daño causado por estrés por calor y frío en algunos de ellos.







### Innovación, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Innovación sostenible	Estudio sobre la resistencia al estrés por calor, déficit de humedad y plagas, de frijoles silvestres y domesticados.	Productores. Comunidades Agrarias.	Primario: Agricultura, Secundario: Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación.	Social. Económico. Ambiental.	Económico. Responsabilidad ambiental.	Recursos naturales. Capacitación.	Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico.





# Calidad postcosecha de tuna partenocárpica con pericarpelo comestible

Flores-Hernández, Berenice<sup>1</sup>; Arévalo-Galarza, Ma. de Lourdes<sup>1</sup>; Livera-Muñoz, Manuel<sup>1\*</sup>; Martínez-Hernández, Aída<sup>2</sup>; Peña-Valdivia, Cecilia<sup>1</sup>; Calderón-Zavala, Guillermo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo, Texcoco, México. C.P. 56264.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. Carretera Federal Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, Champotón, Campeche, México. C.P. 24450.

\* Autor para correspondencia: mlivera@colpos.mx

## Problema

El género *Opuntia* spp. es el más grande de la familia Cactaceae, la planta produce un fruto llamado tuna, que tiene importancia económica en diversas regiones del país. México es el principal productor mundial de tuna, con una superficie plantada de 45,033 ha, seguido por Italia con 8,300 ha. Las tunas son conocidas por su sabor dulce y beneficios nutricionales, tales como el alto contenido de vitamina C, compuestos antioxidantes como polifenoles (ácido protocatequico, ácido piscídico, ácido cafeico 4-O-glucurónico, kaempferol-glucosil ramnósido, isoramnetina glucosil-ramnósido, rutina y ácido eucómico), además de alto contenido en fibra (4.65-5.83%). Sin embargo, las tunas tienen gran cantidad de semillas con cubierta lignificada que, dependiendo de la especie y genotipo, pueden representar hasta 20% del peso del fruto. Estas semillas pueden causar daños a la salud o ser molestas al masticarlas o tragarlas, representando una limitante para su comercialización y aceptación, principalmente en mercados internacionales.

## Solución planteada

La eliminación o reducción de semillas ha sido uno de los objetivos en los programas de mejoramiento de tuna, se ha mostrado que la partenocarpia además de eliminar las semillas incrementa la vida de anaquel del fruto. En este sentido, se han aplicado diversos reguladores de crecimiento con dosis variables en tuna a fin de provocar el aborto de semillas, sin embargo, los frutos obtenidos, aunque tenían semillas abortivas su cubierta era dura, además, la proporción de pulpa disminuía parcial o totalmente. Después de varios años de investigación, finalmente se logró obtener frutos de tuna partenocárpica con calidad comestible (Figura 1).

**Cómo citar:** Flores-Hernández, B., Arévalo-Galarza, Ma. de L., Livera-Muñoz, M., Martínez-Hernández, A., Peña-Valdivia, C., & Calderón-Zavala, G. (2024). Calidad postcosecha de tuna partenocárpica con pericarpelo comestible. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.432>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 101-104.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



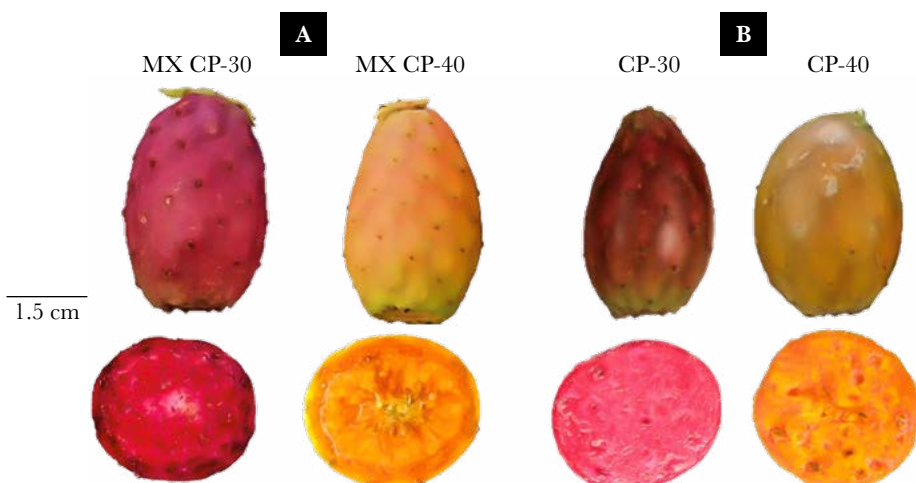


**Figura 1.** Huerta experimental de tuna partenocárpica en el estado de México.

Para lograrlo se realizaron estudios previos con 11 genotipos de tuna a fin de evaluar su tendencia a la partenocarpia, para ello utilizaron yemas florales en preantesis. Se eliminaron los órganos sexuales (estilo y estigma) además de los tépalo y estambres de 30 yemas florales para cada genotipo en esta cavidad se aplicó la solución de ácido giberélico ( $250 \text{ mg L}^{-1}$ ) + benciladenina ( $75 \text{ mg L}^{-1}$ ) + ácido indol butírico ( $15 \text{ mg L}^{-1}$ ). Se tuvo un testigo (polinización natural); y un control emasculado sin la aplicación de la solución. De los 11 genotipos analizados, solo dos genotipos, MX-CP-30 Rojo y MX-CP-40 Amarillo, produjeron frutos partenocárpicos con calidad comercial.

Con el fin de evaluar la calidad y vida postcosecha de los frutos partenocárpicos (MX-CP-30 Rojo y MX-CP-40 Amarillo) con su contraparte no partenocárpico (CP-30 y CP-40) (Figura 2 A y B), se cosecharon 60 frutos en madurez hortícola de cada genotipo. Se realizaron análisis de pulpa y pericarpelo (cáscara). Los frutos seleccionados se mantuvieron a una temperatura de  $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $61 \pm 2\%$  humedad relativa (HR) para su evaluación.

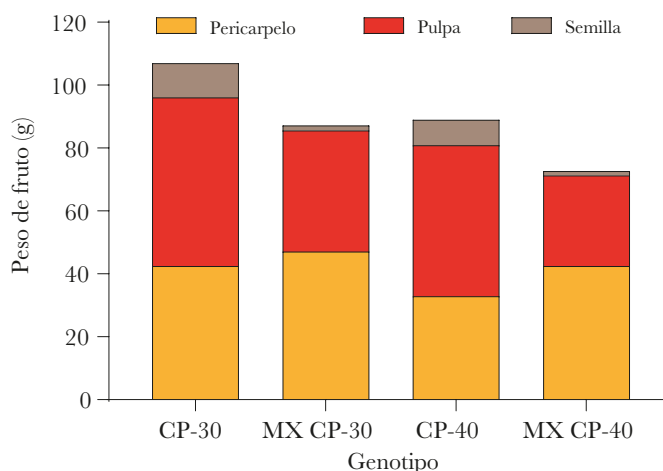
Los resultados mostraron que la partenocarpia genera frutos 20% más pequeños, sin embargo, en los frutos no partenocárpicos, el 40 y 50% de su peso corresponde a semillas y pericarpelo. Mientras que los frutos partenocárpicos, sólo el 2% del peso del fruto fue de



**Figura 2.** Frutos de tuna (*O. ficus-indica* L. (Mill). A) Partenocárpicos (MX CP-30 y MX CP-40) B) No partenocárpicos (CP-30 y CP-40).

residuos seminales imperceptibles, y el resto correspondió a un pericarpelo comestible y pulpa (Figura 3).

La vida de anaquel de los frutos partenocárpicos fue el doble de la que presentaron los frutos normales con semilla, lo que representa una característica importante para el manejo postcosecha. La vida de anaquel de los frutos MX- CP-30 rojo aumentó de 14 a 33 días y en MX CP-40 Amarillo de 16 a 30 días. La mayor vida de anaquel en frutos partenocárpico probablemente se debe al contenido endógeno de reguladores de crecimiento derivados de su aplicación en una etapa temprana. Los frutos partenocárpicos presentaron características de calidad postcosecha similares a los frutos normales (Cuadro 1), sin afectar el sabor de estos, además que la cáscara o pericarpelo es comestible. Por lo anterior es importante dar a conocer a aquellos productores interesados en producir frutos de tuna partenocárpicos y ampliar la oferta en el mercado nacional y de exportación.



**Figura 3.** Peso y relación pulpa/semilla/pericarpelo de frutos de tuna (*O. ficus-indica* L. (Mill)). CP-30: rojo no partenocárpico, MX CP-30: rojo partenocárpico, CP-40: amarillo no partenocárpico, MX CP-40: amarillo partenocárpico (n=10).

**Cuadro 1.** Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), relación SST/AT y azúcares totales de frutos de *O. ficus-indica* L. (Mill), el día 0 de almacenamiento a  $21 \pm 1$  °C y  $61 \pm 2\%$  HR.

Variable	Tejido	Genotipo			
		CP-30	MX CP-30	CP-40	MX CP-40
SST (°Brix)	Pericarpelo	14.1±2.2	13.8±1.2	14.6±3.9	12.7±1.8
	Pulpa	14.7±3.3	15.5±4.5	14.9±4.9	13.7±4.5
AT (%)	Pericarpelo	0.25±0.5	0.28±0.1	0.3±0.1	0.2±0.09
	Pulpa	0.26±0.09	0.29±0.08	0.2±0.01	0.2±0.02
Relación SST/AT	Pericarpelo	60.0±16.0	50.2±7.4	48.4±7.1 b	63.2±8.8 a
	Pulpa	61.6±10.7	61.2±10.8	73.4±3.7	74.2±4.0
Azúcares totales (g 100 g <sup>-1</sup> PF)	Pericarpelo	5.0±1.9	6.1±2.02	5.5±1.7	14.5±3.5
	Pulpa	11.7±3.1	11.8±2.5	7.0±2.1	12.8±2.8

Valores con diferente letra indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). CP-30: Rojo no partenocárpico, MX CP-30: Rojo partenocárpico, CP-40: Amarillo no partenocárpico, MX CP-40: Amarillo partenocárpico. (n=5±DE).




Si desea consultar la metodología para la obtención de frutos partenocárpicos encontrará el artículo completo en: Livera-Muñoz, M., Muratalla-Lúa, A., Flores-Almaraz, R., Ortiz-Hernández, Y. D., González-Hernández, V. A., Castillo-González, F., ... y Ramírez-Ramírez, I. (2023). Parthenocarpic Cactus Pears (*Opuntia* spp.) with Edible Sweet Peel and Long Shelf Life. *Horticulturae*, 10(1), 39. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010039>

**Innovaciones, impactos e indicadores**

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Productores independientes	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería  Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)	Social	Ciencia y Tecnología  Económico  Educación  Responsabilidad Ambiental	Competitividad  Recursos Humanos  Comercio	Registro solicitado y concedido
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible			Económico			Certificaciones
Innovación disruptiva	Ayuda a crear un nuevo mercado y que es capaz de perturbar de tal forma un mercado existente que en pocos años lo desplaza o desaparece.			Ambiental Conocimiento			Patentes solicitadas y concedidas
							Numero de tesis
							Número de egresados (Lic. M.C., D.C.)
							Número de publicaciones
							Transferencias tecnológicas



# Análisis sobre estudios de la vegetación de dunas costeras en la Península de Yucatán

Acosta-Och, Maria R.<sup>1</sup>; Guadarrama-Chávez, M. Patricia<sup>2</sup>; Vázquez-Sánchez, Monserrat<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa de Posgrado en Botánica. Carretera México- Texcoco Km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México; México. C.P. 56264.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Sisal, Yucatán; México. C.P. 97356.

\* Autor de correspondencia: vazquez.monserrat@colpos.mx

Los ecosistemas costeros están sujetos a presiones antrópicas que han ido menguando los servicios ambientales que proporcionan. Dentro de ellos se encuentra el ecosistema de dunas costeras (DC), blanco de desarrollos turísticos que han eliminado áreas estimadas en 400,000 ha aumentando su vulnerabilidad. Entre los principales impactos resaltan los levantamientos urbanos (construcción de casas de verano, hoteles, caminos, etc.), incremento de sistemas agropecuarios, y de infraestructura portuaria. Este manejo inadecuado en las DC provoca en primer lugar la destrucción de la cubierta vegetal y con ello la pérdida de la biodiversidad costera, así como también la compactación, detrimento del sustrato, y limitación para lograr la regeneración del ecosistema dunar ocasionando un desequilibrio en el ecosistema.

**Cómo citar:** Acosta-Och, M. R., Guadarrama-Chávez, M. P., Vázquez-Sánchez, M. (2024). Análisis sobre estudios de la vegetación de dunas costeras en la Península de Yucatán. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.433>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 105-109.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International

## Solución planteada

Realizar un análisis bibliométrico que condense todas las publicaciones que se han desarrollado sobre la vegetación de DC y presentar un panorama general de la Península de Yucatán (PY), y demostrar la importancia de generar información sobre la conservación de este ecosistema. Los estudios bibliométricos permiten conocer mejor el estado actual de ecosistemas clave bajo la visión de varios expertos de manera interdisciplinaria, visualizar el panorama que enfrenta la vegetación de las DC en particular, y con ello orientar las investigaciones a las brechas de interés científico para la recuperación de áreas vulnerables.

## Registro histórico de los estudios de vegetación en dunas costeras

Uno de los primeros registros de especies vegetales de las DC en la península de Yucatán fue realizado por Espejel (1986), en la Reserva de la biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Posteriormente, Rico-Gray (1987) explicó la interacción estabilidad-sucesión de la vegetación de plantas en dunas, donde registro un total de 19 especies de plantas pioneras



y 32 de matorral de DC para San Benito, Yucatán. En ese mismo año, Espejel (1987) realizó el registro de plantas y la zonificación de DC, reportando un total de 237 especies para este ecosistema en la Península de Yucatán. Ese número representa el 14% de plantas en las DC, descritas para todo el país por Moreno-Casasola *et al.*, (1998). En 1991 Castillo-Argüero, además de hacer un listado florístico, realizó una de las primeras descripciones de la estructura de DC en Campeche, donde sus resultados revelaron un gradiente de vegetación, en respuesta al aumento en la distancia media desde la costa y la elevación, y que es covariante con la riqueza de especies, la cobertura vegetal media y la altura media de la vegetación.

Hasta 2008 Andueza-Briceño, realizó una condensación de la información sobre las plantas en dunas más comunes de acuerdo a una zonificación en Sisal, Yucatán, en la primera zona de pioneras en donde predomina el hábito prostrado, registró a las especies: *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt., *Sesuvium portulacastrum* (L.) L., *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br., *Cakile lanceolata* (Willd.) O. E. Schulz, *Euphorbia buxifolia* Lam., *Canavalia rosea* (Sw.) DC., *Sporobolus virginicus* (L.) Kunth, *Tribulus cistoides* L. y *Distichlis spicata* (L.) E. Greene. A la segunda zonificación se le denominó zona de matorral por Espejel (1984) y se destacaron a las especies: *Agave angustifolia* Haw., *Bravaisia berlandieriana* (Nees) T.F. Daniel, *Metopium brownei* (Jacq.) Urb., *Capparis incana* Kunth, *Pithecellobium keyense* Britton, *Caesalpinia vesicaria* L., *Thrinax radiata* Lodd. ex Schult. & Schult. f., *Gossypium hirsutum* L., *Coccoloba uvifera* (L.). Es importante señalar, que esta descripción es similar a lo publicado en las costas yucatecas por Durán-García *et al.*, (2010), para cada zonificación; con la diferencia que el autor reporta 19 especies de plantas endémicas de la Península de Yucatán en la vegetación de DC (*Bonellia albiflora* (Lundell) B. Ståhl & Källersjö, *Bonellia flammea* (Millsp. ex Mez) B. Ståhl & Källersjö, *Cakile lanceolata* (Willd.) O. E. Schulz, *Coccothrinax readii* H. J. Quero R., *Chromolaena lundellii* R.M. King & H. Rob., *Crossopetalum gaumeri* (Loes.) Lundell, *Croton chichenensis* Lundell, *Diospyros cuneata* Standl, *Echites yucatanensis* Millsp. ex Standl., *Hintonia octomera* (Hemsl.) Bullock., *Mammillaria gaumeri* (Britton & Rose) Orcutt, *Matelea yucatanensis* Standl., *Neea choriophylla* Standl., *Nopalea gaumeri* Britton & Rose, *Nopalea inaperta* Schot ex Griffiths, *Pilosocereus gaumeri* (Britton & Rose) Backeb., *Pterocereus gaumeri* (Britton & Rose) Th. MacDoug. & Miranda, *Selenicereus donkelaari* (Salm Dyck) Ralf Bauer y *Solanum yucatanum* Standl.). Sin embargo, aun cuando existen estos trabajos que describen la vegetación que se establece en las DC, al pasar los años han sufrido alteraciones en su estructura y por ende se han perdido. Por ejemplo, en la Figura 1 se muestran los cambios en la vegetación y estructura de las dunas de Sisal, Yucatán en un periodo de nueve años.

Posteriormente de 2009 a 2013, las publicaciones se centraron en alguna especie característica de la DC en la PY o una zonificación en particular, con el objetivo de describir las especies presentes por zona. Uno de los primeros trabajos, fue realizado por Duno de Stefano (2009), quien detalló una nota sobre *Pithecellobium keyense*, una especie característica de la DC que se distribuye en áreas con una fuerte presión urbanística en la PY. Torres (2010) describió la estructura, composición y diversidad del matorral de DC en el litoral yucateco, que incluye las siguientes localidades: Celestún, Sisal, Chuburná, Tulix, La Casona, San Benito, Holchit, Punta Cancunito, Alegrías y El Cuyo. Este trabajo permitió



**Figura 1.** A) Vista de la duna costera en Sisal, Yucatán, con una gran cobertura de vegetación aun conservada (obtenida en julio 2015); B) Vista obtenida en julio 2024, donde se puede observar la erosión y pérdida de vegetación en la misma ubicación.

exponer la heterogeneidad que presenta la florística y estructura de este ecosistema a lo largo del litoral costero en Yucatán. López-Contreras (2012) escribió sobre el riesgo de desaparición de todo un género: el caso de *Suriana maritima* en la línea costera de la Península de Yucatán, esto debido a la pérdida de la línea de costa y al desarrollo urbanístico que se genera de manera inconsciente. Polanco (2013) se enfocó en la asociación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en *Coccothrinax readii* para explicar si las condiciones ambientales y características donde se establece, con la anatomía de sus raíces, están relacionadas con la colonización por HMA en tres diferentes épocas a lo largo de un año.

Entre 2014 y 2017, se iniciaron estudios sobre la importancia de la interacción de los polinizadores con las plantas de DC, al existir evidencia sobre la dominancia de las especies exóticas como *Bidens pilosa*, *Tribulus cistoides* y *Dactyloctenium aegyptium*, en las costas de Yucatán, y puesto que la mayoría tienen la capacidad de introducirse en las redes de interacción planta-polinizador, se sugirieron efectos a nivel comunitario. Existen publicaciones que destacan en el tema planta-polinizador, que analiza los recursos florales y colibrís durante la época seca en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, Yucatán, México, descubriendo que la floración de *Dicliptera sexangularis* fue la más visitada por *Doricha eliza*. Otra publicación analiza las interacciones planta-colibrí en la DC de Rio Lagartos en la época invernal, en ella se muestra que existen cuatro especies de colibrís (*Doricha eliza*, *Amazilia rutila*, *Amazilia yucatanensis* y *Archilochus colubris*) con interacciones

en seis especies de plantas principales de la DC (*Malvaviscus arboreus*, *Agave angustifolia*, *Bravaisia berlandieriana*, *Dicliptera sexangularis*, *Ernodea littoralis* y *Cordia sebestena*). Abordar la temática de la interacción planta-polinizador es necesario para determinar, cuáles son las plantas importantes en el proceso de polinización, y también ayudan a entender el impacto que tienen los polinizadores y son una herramienta para vincular las consecuencias de sus interacciones con las plantas en modelos de regeneración de vegetación.

En el periodo del 2018 al 2023, las publicaciones tuvieron mayor enfoque hacia los efectos negativos producidos por los factores ambientales (temperatura, cantidad de luz solar y pH del agua y suelo) y al cambio climático sobre la vegetación; ya que al ser las DC ecosistemas con clima extremo, las plantas han desarrollado adaptaciones morfológicas y fisiológicas, que les permiten resistir las condiciones ambientales a las que se enfrentan. Sin embargo, las altas temperaturas han afectado considerablemente la estructura de la vegetación de este ecosistema. El enfoque de estas publicaciones pudo deberse a que en ese periodo en la península de Yucatán se habían perdido 43 km<sup>2</sup> (16.6%) de dunas, por el mal manejo de las obras de urbanización (cultivos de cocotero, establecimientos de salineras y la expansión de los poblados costeros) y el mal aprovechamiento de recursos naturales.

Aún con esa destrucción, se pudo tener un hallazgo importante para la vegetación en las dunas en 2019 por Castillo-Campos, con el registro de una nueva especie *Scaevola riagartensis* Cast.-Campos, considerada endémica. Con este último dato y con los trabajos recabados se alcanzó un total de 184 especies de plantas estrictas de DC, lo que representa el 5% de toda la flora en la PY. Este dato es alentador, ya que de toda la flora del país se reporta un 4.6 % que preferentemente son de DC. Comparado con Cuba, que presentan una similitud en las especies, y que presentan gran dominancia de especies sinantrópicas y con alta presencia de exóticas, la PY aun presenta un porcentaje favorable para la recuperación de la vegetación.

Por otro lado, para determinar en cuál de los tres estados que conforman la PY (Yucatán, Campeche, Quintana Roo), se han realizado más investigaciones, considerando todas las localidades por estado donde se registraron trabajos publicados. En la Figura 2, podemos observar que en gran parte de la costa yucateca se han registrado puntos de estudio, que puede ser un dato estratégico para que en un futuro se logren hacer comparaciones sobre esas áreas.

### **Retribución social**

Aunque los primeros trabajos se publicaron en 1983, es un tema que recientemente ha tomado mayor importancia debido a la pérdida de este ecosistema, sobre todo para los ecólogos que son los que mayor interés han mostrado. Investigaciones sobre las descripciones de este ecosistema, son necesarias por la importancia que presenta y por los servicios ambientales que brinda a la población y para la costa en general en toda la PY. Por tanto, a partir de esta revisión bibliométrica se pueden identificar las áreas en donde se puede incidir y generar conocimiento sobre el ecosistema de DC y contribuir a llenar los vacíos de información y fomentar trabajos sobre la conservación de la vegetación.





# Transferencia de tecnología a los productores de *Bixa orellana* en San Juan Comaltepec, Oaxaca

Ruiz-Posadas, Lucero del Mar<sup>1</sup>; Guerrero-Lagunes, Luz Adela<sup>1</sup>; Cadena-Íñiguez, Jorge<sup>2</sup>; Salazar-Aguilar, Sandra<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Fisiología Vegetal. Montecillo, Texcoco, México. C.P. 56264.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Posgrado en Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. C.P. 78620.

<sup>3</sup> Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus II. Batalla 5 de Mayo s/n., C.P. 09230

\* Autor de correspondencia: luzadelag@gmail.com

## Problema

En México, el recurso genético achiote (*Bixa orellana* L.), es valioso debido a que puede proporcionar un ingreso económico significativo por su uso como condimento y como colorante debido al alto contenido de bixina y norbixina en las semillas. El colorante obtenido se utiliza en las industrias farmacéutica, de derivados lácteos, cárnicos, grasas, helados, condimentos, cosméticos, cerámica, pintura, tintes, esmaltes, barnices y textiles. Aunado a lo anterior, el achiote es una fuente de metabolitos secundarios bioactivos que podrían incrementar el valor comercial de la especie. Se ha reportado su acción antitumoral, antibacteriana, antifúngica, leishmanicida, antipirética y antimalárica. Sin embargo, a pesar de que es una especie con gran relevancia económica en otras partes del país, en San Juan Comaltepec, Oaxaca, el achiote se cultiva en traspacios de hasta 0.5 ha y no es aprovechado en todo su potencial. Con las semillas, los productores elaboran una pasta colorante y saborizante de alimentos llamada luchos, que tienen poca demanda en el mercado local por el sabor amargo que aporta. Aparte de los luchos, las personas de esa comunidad beben infusiones de hojas de achiote cuando se les ha diagnosticado problemas de próstata. La falta de conocimiento para la elaboración de otros productos comerciales basados en las semillas de achiote no permite el incremento del desarrollo económico de la región.

## Solución planteada

Dar un valor agregado, consiste en la transformación del recurso para que obtenga un mayor valor comercial. La transferencia de tecnologías sobre el procesamiento y mejor aprovechamiento del recurso achiote es importante para que los productores conozcan el potencial comercial que tiene el cultivo. Por medio de cursos y talleres se ofreció a los

**Cómo citar:** Ruiz-Posadas, L. del M., Guerrero-Lagunes, L. A., Cadena-Íñiguez, J., & Salazar-Aguilar, S., (2024). Transferencia de tecnología a los productores de *Bixa orellana* en San Juan Comaltepec, Oaxaca. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.434>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Íñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 111-113.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



productores información sobre el cultivo, las características generales sobre su manejo y las tecnologías para la elaboración de algunos productos que pueden comercializar tanto en su comunidad, como en otros municipios del estado (Figura 1A y B). Con las tecnologías compartidas aprendieron a preparar, un oleato de semillas de achiote (figura 2A) y con esa base, se formularon y prepararon un bálsamo labial, un ungüento contra el dolor muscular y una crema corporal. La capacitación incluyó la extracción del colorante de las semillas y el proceso de tinción de textiles (Figura 2B). Aunado a lo anterior, se les compartió las tecnologías para la elaboración de tascalate y pasta de achiote condimentada. Todo lo anterior favorece el aprovechamiento del recurso, diversificando los productos ofrecidos haciéndolo más atractivo a los consumidores, favoreciendo su acceso a mercados más amplios y reduciendo el impacto ambiental al utilizar componentes naturales. La capacitación de los productores mejora sus habilidades y conocimiento, les ayuda a aumentar sus márgenes de ganancia incrementando la competitividad del cultivo del achiote en el mercado y su permanencia en la comunidad.



**Figura 1.** (A) Sección de la infografía que se entregó a los productores de achiote y Presidente Municipal de San Juan Comaltepec; (B) Fotografía grupal con algunos de los participantes del taller donde se llevó a cabo la transferencia de tecnología para la elaboración de productos con *Bixa orellana*.



**Figura 2.** (A) Obtención del oleato de semillas de *Bixa orellana*; (B) Proceso de tinción de textiles con colorante obtenido a partir de semillas de achiote.

### Retribución social

Los cursos y talleres impartidos a los productores de achiote de San Juan Comaltepec, Oaxaca, se realizaron sin costo alguno, todos los productos realizados y las tecnologías fueron entregadas a los asistentes, así como 90 plántulas de achiote de la variedad GabiFer V1 con la finalidad de que continúen incrementando el número de plantas en sus parcelas.

### Innovaciones, impactos e indicadores

Tipo de innovación	Descripción	Transferido	Actividad sustantiva	Impacto		Indicador general	Indicador específico
				Sector	Ámbito		
Incremental	Transferencia de tecnologías para la elaboración de productos que contribuyan el incremento de los ingresos familiares	Productores Poblaciones en particular Comunidades Agrarias	Cursos talleres	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería, Procesos de investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i)	Social Conocimiento Económico Ambiental	Ciencia y tecnología	Competitividad
Innovación sostenible	Desarrollo de protocolos y procesos para la elaboración de productos que contribuyen con el uso sostenible del recurso genético					Económico	Recursos Humanos
	Variedad de productos					Educación Responsabilidad ambiental	Comercio Capacitación
Servicios	Ampliación de mercados						





# Transición agroecológica del cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) en el estado de Veracruz

Argüello-García, Elizabeth<sup>1</sup> , Martínez-Herrera Jorge<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, 91690, Veracruz, México.

<sup>2</sup> Secretaría de Desarrollo Agropecuario Rural y Pesca, Salvador Díaz Mirón No. 33. Col. Centro, 91000, Xalapa, Veracruz, México.

\* Autor para correspondencia: jmartin62@hotmail.com

## Problema

En Veracruz, México, existe una notable diversidad de frutales, muchos de los cuales han sido introducidos como alternativas a aquellos con baja rentabilidad, como el café. En localidades como Blanca Espuma, en el municipio de Alto Lucero, y Coyolillo, en el municipio de Actopan, se tomó la decisión de cultivar maracuyá desde hace más de diez años. Este cultivo ha ido consolidándose como una opción viable en la región. Sin embargo, al principio, los productores carecían de asesoría técnica para combatir plagas y enfermedades, lo que limitaba su conocimiento sobre las medidas efectivas de control. Utilizaban un manejo agronómico convencional, con el uso de fertilizantes químicos, además de plaguicidas de todo tipo, lo que incrementaban los costos de producción, mientras que el precio del fruto se mantenía muy bajo, al igual que el rendimiento. También tenían un impacto en la salud de los productores por el uso de agroquímicos, que se aplicaban sin ninguna protección y en dosis muy elevadas. En el aspecto social, aunque eran vecinos, no se comunicaban ni formaban grupos para trabajar en sus cultivos, ya que cada uno gestionaba su trabajo de manera individual.

## Solución planteada

Frente a estos problemas la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca (SE-DARPA) del estado de Veracruz ha jugado un papel clave mediante la contratación de 500 técnicos extensionistas. Estos profesionales no solo facilitaron la capacitación de los productores, quienes aprendieron a organizarse mejor y a delegar responsabilidades de manera más efectiva en sus comunidades, además promovieron la creación de las Escuelas Campesinas (Figura 1). A través de esta iniciativa, los productores ahora trabajan en

**Cómo citar:** Argüello-García, E., & Martínez-Herrera J. (2024). Transición Agroecológica del cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) en el estado de Veracruz. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.407>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 115-118.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International





**Figura 1.** Actividades de capacitación a los productores.

equipo y adquieren nuevos conocimientos sobre el manejo del cultivo de maracuyá. Este esfuerzo ha sido fundamental en la transición agroecológica que se presenta como alternativa viable para promover prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes, especialmente en maracuyá producido en Veracruz. Este enfoque, se adaptó a las condiciones de cada región, aborda múltiples problemáticas relacionadas con la sostenibilidad del suelo y la reducción del uso de insumos químicos.

Como parte de este proceso, los productores comenzaron a producir bioinsumos orgánicos a partir de estiércol de ganado vacuno, aserrín, ceniza, pulpa de café, y la adición de microorganismos de montaña (comunidades de bacterias, hongos y otros organismos benéficos presentes en suelos forestales ricos en materia orgánica, que contribuyen a la descomposición de residuos, el reciclaje de nutrientes y la regeneración del suelo), tierra y hojarasca de diversas plantas. Estos abonos se aplican tanto en viveros como en parcelas de maracuyá, permitiendo no solo mejorar la calidad y la eficiencia del suelo si no también fomentar la sostenibilidad de las tierras de cultivo, disminuyendo significativamente la dependencia de fertilizantes químicos. Así, el uso de abonos orgánicos no solo fortalece la productividad, sino que también fomenta un modelo agrícola más resiliente y respetuoso con el medio ambiente. Asimismo, los productores incorporan la fabricación de bioles e insecticidas a base de chile habanero, ajo, árnica, clavos de olor, hojas de neem, cempasúchil, pimienta negra, vinagre y alcohol, esto les ha permitido controlar plagas de manera más eficiente (Figura 2). A través del aprendizaje continuo, lograron identificar el momento óptimo para aplicar los tratamientos, maximizando su efectividad. Como resultado, los costos de producción se redujeron al elaborar sus propios bioinsumos, tanto sólidos como líquidos.

Esta transición agroecológica ha permitido a los productores establecer precios más competitivos para la venta del fruto de maracuyá en fresco, que puede alcanzar precios entre \$10-\$30 por kilogramo (US \$0.50-\$1.50), mientras que la pulpa se puede vender entre \$30-\$90 pesos por kilo (US \$ 1.50-\$4.50), dependiendo de la temporada y la demanda (Figura 3). Además, como resultado de la capacitación por los extensionistas, los productores aprendieron a dar valor agregado, al elaborar productos como: mermeladas, atoles, nieves, manjar, toritos (bebida con alcohol), panadería, gelatinas y aguas frescas a base de maracuyá. Este avance se logró gracias al apoyo de la Secretaría



**Figura 2.** Elaboración y aplicación de bioinsumos y viales para el cultivo de maracujá



**Figura 3.** Escuela Campesina Afrodescendientes: Sistematización de casos sobresalientes respecto a la “Transición Agroecológica”, en Loc. Coyolillo, Actopan, Veracruz, México.









de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca (SEDARPA) del estado de Veracruz que a través de la capacitación, adquisición de equipos y congeladores, logrando optimizar su producción, lo que les permitirá, en el futuro, acceder a mercados más amplios y ofrecer productos de mayor calidad.

**Innovaciones, impactos e indicadores**

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca mejorar los rendimientos del cultivo y haciéndolos más rentables.	Escuelas Campesinas de la SEDARPA	Primario: Agricultura, ganadería	Social	Ciencia y Tecnología	Competitividad	Número de familias beneficiadas
Procesos	Implementación de un nuevo modelo agronómico, transitar del modelo convencional a una transición agroecológica libres de agroquímicos.	Asociaciones de Productores	Secundario: Actividades económicas que transforman las materias primas en productos elaborados (Agroindustria)	Económico	Económico	Recursos Humanos	Empresas rurales formadas
Modelo de negocio	Creación o reinención de un negocio	Gobierno de los Estados		Ambiental	Educación	Comercio	Transferencias tecnológicas
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible	Productores independientes		Uno, o la combinación de dos o más de las opciones anteriores	Responsabilidad Ambiental	Generación de empleos	Desarrollo de productos y servicios para la sociedad
		Programas Federales como Sembrando vida y Producción para el Bienestar				Capacitación	Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico
						Uno o combinación de dos o más de las opciones anteriores	Reducción de mortalidad
							Número de empleos generados



# Nanasoup, sopa deshidratada a base de hongo seta (*Pleurotus ostreatus*) como alternativa de valor agregado

Limón-Rivera, Rogelio<sup>1</sup> ; González-Contreras, Xiadani Aramara<sup>1</sup> ; Magallanes-Hernández, María Fernanda<sup>1</sup> ; Cruz-Rosas, Rafael<sup>1</sup> ; Estrada-Amaro, Yaritza<sup>1</sup> ; Martínez-Castillo, Susana Isabel<sup>1</sup> ; García-Martínez, Hilario<sup>1</sup> ; Hernández-Arzaba, Juan Cristóbal<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Km. 4 Carretera S/N Tepetitlanapa. 95005 Zongolica, Veracruz, México.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz. Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94946.

\* Autor para correspondencia: jc.hernandez@colpos.mx

**Cómo citar:** Limón-Rivera, R., González-Contreras, X. A., Magallanes-Hernández, M. F., Cruz-Rosas, R., Estrada-Amaro, Y., Martínez-Castillo, S. I., García-Martínez, H., & Hernández-Arzaba, J. C. (2024). Nanasoup, sopa deshidratada a base de hongo seta (*Pleurotus ostreatus*) como alternativa de valor agregado. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.409>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 119-121.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



## Problema

De acuerdo con la Procuraduría Federal del Consumidor (2021), en México existe una oferta de 17 productos en la categoría de sopas instantáneas en vasito o tazón y 16 en sobres (tipo ramen y fideos). Sin embargo, el exceso de saborizantes y condimentos derivan en altos niveles de sodio, perjudiciales para la salud. Además, la porción de vegetales presentes en estas sopas es mínima (0.085% a 5.0%), del contenido del envase. De igual modo, se identifica la falta de opciones que consideren ingredientes tradicionales de México. La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2019) menciona que los quelites y los hongos constituyen una opción nutritiva, por lo que recomienda su consumo a fin de fomentar la riqueza cultural mantener su cultivo bajo la agricultura tradicional mexicana.

Ante esta situación, surge la necesidad de alternativas saludables y ecológicas, como la sopa Nanasoup, basada en hongos seta, quelites y otros ingredientes naturales, producidos por agricultores locales. Además, esta propuesta, promueve el uso de tecnologías ecológicas (deshidratador solar), lo que ahorra costos de insumos de producción y, en el aspecto de los consumidores, fomenta el desarrollo de hábitos alimenticios saludables, sostenibles y bioculturales.

## Solución planteada

Se generó un nuevo producto llamado Nanasoup; esta sopa tiene como base ingredientes deshidratados como: hongo seta (*Pleurotus ostreatus*), quelites (*Amaranthus* spp.), calabaza larga (*Curcubita pepo*), zanahoria (*Daucus carota*), berros (*Nasturtium officinale*),



harina de trigo, huevo y aceite de oliva. Los ingredientes presentan alto contenido nutricional, aportando vitaminas A, B-3, B-9, C, E y K, además de antioxidantes y calcio. Lo anterior refleja los aportes nutrimentales que coadyuvan a la mejora en la nutrición de los consumidores.

El proceso de elaboración de esta sopa, consiste en la deshidratación solar de los ingredientes frescos, e incorporarlos posteriormente a una masa hecha a base de harina de trigo. Esta masa se porciona y se deshidrata para posteriormente pesarse y envasarse.

La materia prima, con excepción de la harina, huevo y aceite de oliva, se produce en la zona indígena de las Altas Montañas del estado de Veracruz, por lo que el producto promueve la inclusión, la disminución de la brecha de desigualdad y la valoración de productos tradicionales producidos de manera natural. El proceso de deshidratado permite que los ingredientes conserven sus propiedades nutrimentales, al mismo tiempo que mejoran las condiciones para el transporte, tales como el volumen y peso.

Este producto articula la producción de alimentos tradicionales con alto valor nutricional y las necesidades de mejora en las condiciones de acceso y calidad de alimentos en las zonas urbanas aledañas y de la región de las altas montañas de Veracruz. En un marco sustentable, es posible que se genere sinergia entre los pequeños productores, actores sociales y en si todos los involucrados (*stakeholders*) que permita una mejora en las condiciones de producción, transformación, comercialización (Véase Figura 2), distribución (logística) de la sopa Nanasoup.

En la Figura 1, se observa la propuesta de agregación de valor, considerando los beneficios que el producto agroalimentario aporta en aspectos bioculturales y nutricionales, las propiedades inmunológicas que posee, así como los procesos de producción artesanal y ecológicos.



**Figura 1.** Aristas de la agregación de valor de Nanasoup, elaboración propia.










**Figura 2.** Primer prototipo de producto empacado en su presentación de 200 gramos con potencial para comercialización y exportación.

### Innovaciones, impactos e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Innovación frugal	Hacer más con menos. Idear estrategias de bajo costo para sortear las complejidades institucionales o limitaciones de recursos, conseguir innovar, desarrollar y entregar productos y servicios a los usuarios de bajos ingresos con poco poder adquisitivo	Pequeños productores de café, maíz y frijol de la Sierra de Zongolica Estudiantes universitarios de la Sierra de Zongolica y de la Región de las Altas Montañas de Veracruz.	<p>Primario: Agricultura y Explotación forestal: recolección de hongos.</p> <p>Secundario: Actividades económicas que transforman las materias primas (hongo seta, quelites, calabaza larga, zanahoria, berros, harina de trigo, huevo y aceite de olivo) en productos elaborados: sopa deshidratada (Agroindustria).</p> <p>Terciario: Servicios que se prestan a la sociedad: Desarrollo de <i>soft skills</i> entre ellas habilidades para la comercialización.</p> <p>Cuaternario: Servicios basados en el conocimiento que prestan instituciones: Instituto Tecnológico Superior de Zongolica (ITSZ) y centros públicos de investigación: Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba en consultoría empresarial, de planificación financiera y de investigación científica.</p> <p>Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I): Traducido en un nuevo producto denominado Nanasoup, sopa deshidratada a base de hongo seta.</p>	<p>Social</p> <p>Económico</p> <p>Ambiental</p> <p>Conocimiento</p> <p>Biocultural</p>	<p>Ciencia y Tecnología</p> <p>Económico</p> <p>Educación</p> <p>Responsabilidad Ambiental</p> <p>Seguridad alimentaria</p> <p>Salud Pública</p> <p>Acorde con el comunicado CONAH-CYT: Educación superior será coordinada por SEP y próxima Secretaría de Ciencia y Tecnología.</p> <p>Mediante el Modelo Ecos de trabajo colaborativo, se implementará con instituciones de educación superior como es el caso del ITSZ, centros públicos: COLPOS Córdoba y Universidades Autónomas. Y la Política Ciencia Tecnología e Innovación (CTI) se orientará al bienestar compartido en temas de relevancia nacional como sostenibilidad alimentaria entre otros. La política pública 2024-2030 tiene como eje al CTI enfocado al bienestar compartido y a la ciencia y educación como derechos humanos prioritarios de México.</p> <p>Junto con la Red Ecos de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación modelo colaborativo con instituciones de educación superior (IES) ITSZ y del sector educativo (COLPOS).</p>	<p>Competitividad: Propone una alternativa agroalimentaria sana, local y accesible.</p> <p>Recursos Humanos: Con conocimiento local y habilidades de negocio en desarrollo con el soporte de IES y Centros Públicos de Investigación.</p> <p>Comercio: Alto potencial de comercialización y exportación.</p> <p>Generación de empleos: Autoempleo y escalabilidad en función del crecimiento del agroemprendimiento.</p> <p>Capacitación: Constante por parte de la IES Y CPI involucrados.</p> <p>Finanzas Públicas: Formalización ante el SAT, amplia la base de recaudación de impuestos.</p>	<p>Registro de marca en proceso.</p> <p>Certificaciones: en búsqueda para acceder a mejores mercados.</p> <p>Numero de tesis: Se espera que el proyecto se fortalezca con una tesis de maestría en curso en el ITSZ.</p> <p>Número de publicaciones: 1 artículo de agro-divulgación en proceso.</p> <p>Número de familias beneficiadas: El desarrollo de la cadena agroalimentaria puede beneficiar directamente cuando menos a 5 familias de comunidades rurales de las Altas Montañas del estado de Veracruz.</p> <p>Transferencias tecnológicas: Desarrollo de productos para la sociedad: 1, Nanasoup de 200 gramos.</p> <p>Exportación incremento (%): Potencial para ser exportada.</p> <p>Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico: Técnica de deshidratación.</p> <p>Número de empleos generados: Inicialmente se pueden generar hasta cinco empleos directos derivados de la formalización del agro-emprendimiento.</p>



# Impregnación de semillas con nanomateriales metálicos de óxido de Zn

Ramírez-López, Rocío M.<sup>1</sup>; Álvarez-Vázquez, Perpetuo<sup>1</sup>; Vázquez-Badillo, Mario<sup>1</sup>; Ruiz-Torres, Norma A.<sup>1</sup>; Ramírez-Barrón, Sonia N.<sup>1</sup>; Mendoza-Pedroza, Sergio I.<sup>2</sup>; García-López, Josué I.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Municipio de Texcoco, México. C.P. 56264.

\* Autor para correspondencia: g.lopezj90@gmail.com

## Problemática

Las semillas son el principal insumo agrícola a nivel mundial, por ello el éxito de los sistemas de producción intensivos dependen totalmente de la germinación y el crecimiento de las plantas que nos brindan alimento. Las semillas necesitan de condiciones adecuadas para producir plantas vigorosas, considerando la temperatura, humedad y oxígeno como preponderantes. Sin embargo, los impactos potenciales del cambio climático han generado que los factores de estrés bióticos y/o abióticos se intensifiquen, como las altas temperaturas, la alta radiación, la escasez de agua, plagas y enfermedades, que pueden llegar a afectar a la germinación y por ende el desarrollo de las plantas. Ante esta problemática, es conveniente desarrollar prácticas agronómicas que permitan contrarrestar los factores de estrés a los que pueden estar expuestas las semillas cuando son sembradas a campo abierto.

## Solución planteada

Frente a las condiciones de estrés bióticos y/o abióticos, la impregnación de semillas es una técnica simple y fácil que consiste en imbibir las semillas en una solución/suspensión, la cual contiene macro y micronutrientes antes de sembrarlas. Actualmente, se ha documentado que la impregnación de semillas con nanofertilizantes en cultivos de cereales básicos y hortalizas permiten incrementar el vigor de las semillas y el crecimiento de las plántulas, a través de la biofortificación para el incremento de micronutrientes como el hierro (Fe) y el zinc (Zn) en los brotes, a fin de mejorar funciones fisiológicas y respuestas agronómicas. Con la aplicación de estos nanofertilizantes, se busca mejorar el proceso de germinación, respuestas de vigor, crecimiento vegetativo, acumulación de compuestos bioactivos y tolerancia a estrés (Figura 1).

La impregnación de semillas con nanomateriales se lleva a cabo dejando en remojo a las semillas con la solución/suspensión que contiene los nanomateriales por un tiempo determinado, lo cual depende de la especie y/o tipo de semilla. Durante el proceso de la germinación, la fase I es la imbibición y esta involucra una rápida absorción de agua debido al potencial hídrico de las semillas a los espacios apoplásticos, por esta razón, los tratamientos con nanofertilizantes se deben aplicar en esta fase, a fin de que influyan

**Cómo citar:** Ramírez-López, R. M., Álvarez-Vázquez, P., Vázquez-Badillo, M., Ruiz-Torres, N. A., Ramírez-Barrón, S. N., Mendoza-Pedroza, Sergio I., García-López, J. I., (2024). Impregnación de semillas con nanomateriales metálicos de óxido de Zn. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.410>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 123-125.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



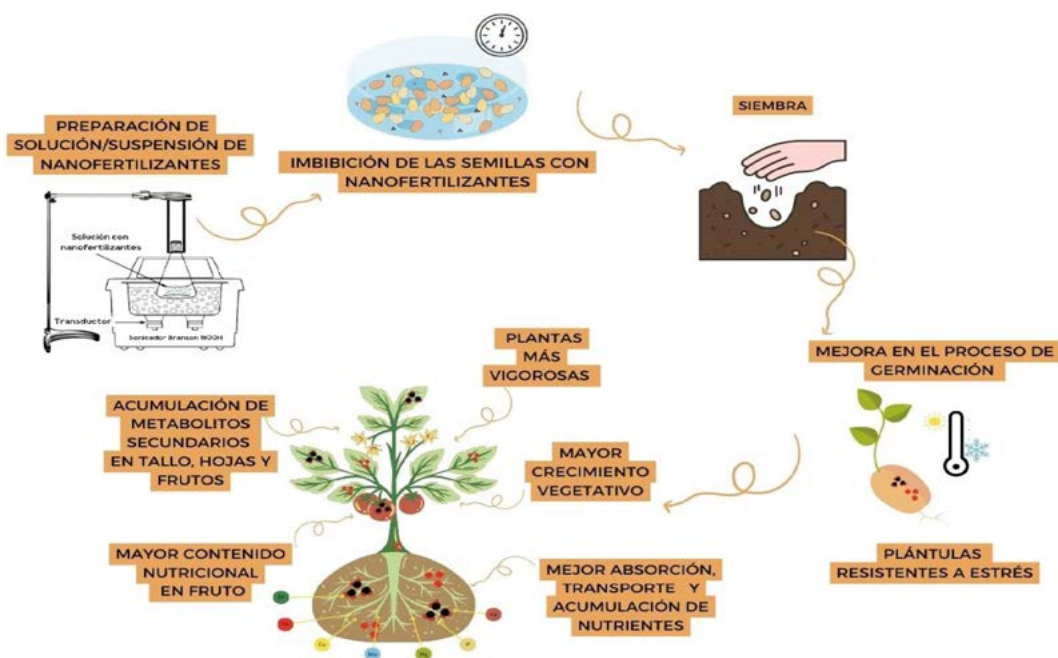


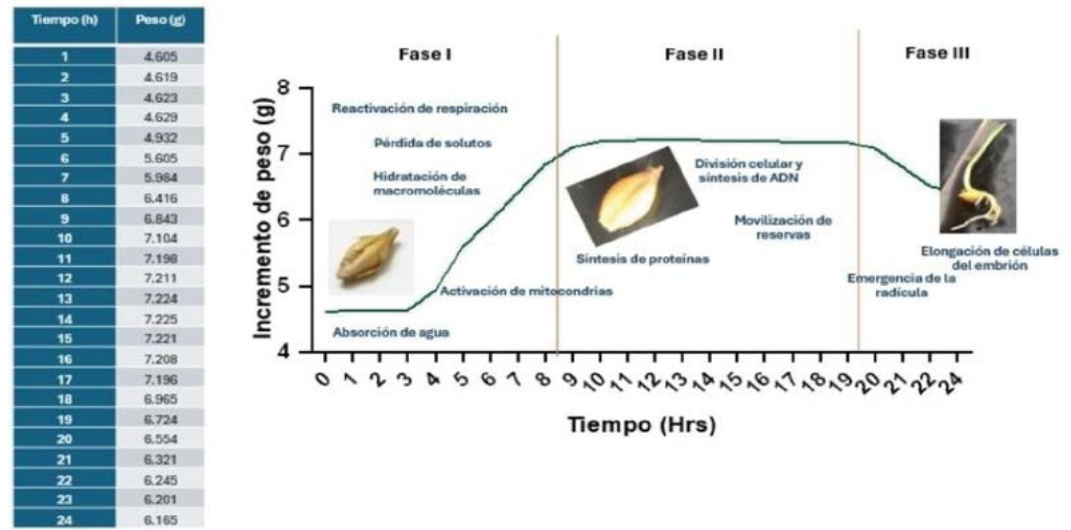
Figura 1. Impregnación de semillas con nanofertilizantes para biofortificación de plantas.

en el metabolismo de la semilla en las fases II y III en las cuales se sintetizan proteínas y comienza la división celular.

Para realizar la aplicación de los nanomateriales en la impregnación de semillas, primero se debe obtener una curva de imbibición, esto se lleva a cabo tomando el registro del peso inicial de una muestra de semillas, antes de ser sometida a las suspensiones/soluciones con nanopartículas. Posteriormente, las semillas son sometidas a los tratamientos con nanopartículas y se registra el peso cada hora por un mínimo de 24 h, de esta manera se determina el tiempo exacto en dónde el proceso de imbibición termina. Durante el proceso de la germinación, la fase I es la imbibición y esta involucra una rápida absorción de agua debido al potencial hídrico de las semillas a los espacios apoplásticos, por esta razón, se aplican los tratamientos con nanomateriales en esta fase, a fin de que el ingrediente activo (Zn y/o Fe) influyan en el metabolismo de la semilla en las fases II y III, en las cuales se sintetizan proteínas y comienza la división celular.

En la Figura 2 se presenta un ejemplo de una curva de imbibición en semillas de cebada, en dónde podemos observar que el peso de la semilla se mantuvo constante a partir de las 13 h, tiempo que se tomó como referencia para someter posteriormente las semillas de cebada a las soluciones/suspensiones con nanomateriales de Zn. Importante es mencionar, que esta metodología puede ser aplicada para cualquier tipo de semilla y de esta forma poder determinar el tiempo que debe ser sometida a nanofertilizantes.

La impregnación de semillas con nanomateriales se inicia con el proceso de imbibición ya mencionado anteriormente, luego se hace la preparación de las soluciones/suspensiones de nanomateriales con Zn, pesando los nanofertilizantes y mezclándolos con agua destilada, se coloca la muestra de semillas en una caja de Petri y se adiciona la solución/sus-



**Figura 2.** Determinación del peso de las semillas de cebada sometidas a solución/suspensión con nanomateriales de Zn para graficar la curva de imbibición.

pensión con nanomateriales, dejando imbibir durante el tiempo que se haya determinado en la curva de imbibición, una vez trascurrido el tiempo, las semillas ya impregnadas con nanomateriales pueden ser utilizadas para la siembra.

**Innovación, impactos e indicadores**

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc.	Asociaciones de Productores	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería	Social	Ciencia y Tecnología	Competitividad	Numero de tesis
Procesos	Implementación de una nueva o significativa mejora de un método de producción o de suministro.	Productores independientes		Económico			
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible	Comunidades Agrarias	Secundario: Actividades económicas que transforman las materias primas en productos elaborados (Agroindustria)	Ambiental Conocimiento	Educación	Comercio	Número de publicaciones
Innovación disruptiva	Ayuda a crear un nuevo mercado y que es capaz de perturbar de tal forma un mercado existente que en pocos años lo desplaza o desaparece.		Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)		Responsabilidad Ambiental Salud Pública		Número de familias beneficiadas Empresas rurales formadas Empresas formadas Transferencias tecnológicas



# Agenda de investigación-innovación en la captura de carbono en masas forestales

Aragón-Magadán, Mayra<sup>1</sup>; Martínez-Montoya, Juan Felipe<sup>1\*</sup>; Quiñonez-Barraza, Gerónimo<sup>2</sup>; Peredo-Rivera, Ernesto<sup>1</sup>; Rössel-Ramírez, David Walter<sup>3</sup>; Rodríguez-Herrera, Jorge Guillermo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Posgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Iturbide 73, C.P. 78600. Salinas de Hidalgo, SLP, México.

<sup>2</sup> Campo Experimental Valle del Guadiana. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

<sup>3</sup> Tech México, Universidad Tecnológica, Avda. Ejército Nacional 843B, Corp. Antara I piso 5 Of. 013, Col. Granada, Alcaldía Miguel Hidalgo, 11520, Ciudad de México.

\* Autor para correspondencia: fmontoya@colpos.mx

## Línea de investigación 1

*Reservorio de carbono en masas forestales estimado mediante sensores LIDAR*

### Contexto general del tema

Desde hace años, los inventarios forestales se han utilizado para conocer/estimar la biomasa forestal, con fines de aprovechamiento, conservación, protección, restauración u otros objetivos ecológicos; en la actualidad existen métodos novedosos para los inventarios forestales y estimación de reservorios de carbono, tal como las imágenes LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging), con las que se reduce el capital humano y el económico, así como los riesgos y se garantiza el acceso a lugares inaccesibles, sin embargo, estas técnicas aún no son aceptadas para la realización de dichos inventarios, por lo que hace falta demostrar su eficiencia, ventajas y utilidad.

**Cómo citar:** Aragón-Magadán, M., Martínez-Montoya, J. F., Quiñonez-Barraza, G., Peredo-Rivera, E., Rössel-Ramírez, D. W., & Rodríguez-Herrera, J. G. (2024). Agenda de investigación para la innovación de captura de carbono en reservorios de masas forestales. *Agro-Divulgación*, 4(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i6.441>

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Diciembre 2024.

*Agro-Divulgación*, 4(6). Noviembre-Diciembre. 2024. pp: 127-140.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International

### Objetivo general

- Determinar la eficiencia de los sensores LIDAR para estimar el reservorio de carbono de masas forestales de zonas áridas y templadas.

### Objetivos específicos

- Realizar inventarios forestales en zonas áridas y templadas mediante el método tradicional y usando sensores LIDAR.
- Conocer la eficiencia de los sensores LIDAR para estimar el reservorio de carbono de masas forestales de zonas áridas y templadas.
- Comparar el método tradicional de inventarios forestales con los sensores LIDAR para estimar reservorios de carbono.
- Estimar el error estadístico de los sensores LIDAR en la estimación de reservorios de carbono.



### Metas

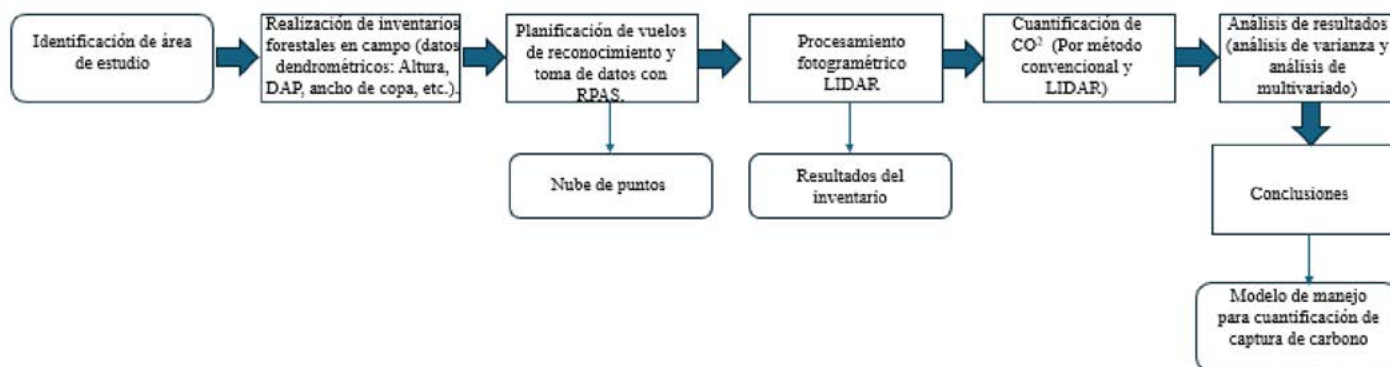
- Determinar la eficiencia del sensor LIDAR en la captura de carbono en masas forestales en zonas áridas y templadas.
- Realizar dos inventarios forestales en zonas áridas y templadas mediante sensores LIDAR.
- Estimar la similitud del método tradicional de inventarios forestales para captura de carbono contra sensores LIDAR.
- Cuantificar el error estadístico de los sensores LIDAR en la captura de carbono.

### Hipótesis

- La estimación de los reservorios de carbono mediante tecnología LIDAR es similar a la obtenida con la tecnología de campo o método tradicional.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Titulo	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
<p>¿Con los sensores LÍDAR se puede cuantificar el reservorio de carbono en las masas forestales?</p>	<p>Evaluar la estimación del reservorio de carbono con sensores LÍDAR</p>	<p>Reservorio de carbono en masas forestales estimado mediante sensores LÍDAR.</p>	<p>Realizar inventarios forestales en zonas áridas y templadas mediante sensores LIDAR.</p> <p>Determinar la eficiencia de los sensores LIDAR en la estimación del reservorio de carbono en masas forestales de zonas áridas y templadas.</p> <p>Comparar el método tradicional de inventarios forestales para captura de carbono contra sensores LIDAR.</p> <p>Estimar el error estadístico de los sensores LIDAR en la captura de carbono.</p>	<p>Levantamiento de inventarios forestales con medición directa en campo, en parcelas de muestreo (tamaño de parcela, de árboles).</p> <p>Variables ambientales (geoposición, pendiente, orientación, fisicoquímico de suelo, vientos).</p> <p>Variables dasométricas (especie, altura total, DAP, altura y ancho de copa, geoposición, vigor, defectos en fuste, copa y ramas).</p> <p>Cálculo de volumen, biomasa y captura de carbono (tradicional).</p> <p>Fotografías aéreas con drones de la masa forestal con sensores LIDAR.</p> <p>Fotointerpretación de las masas forestales.</p> <p>Cálculo de volumen, biomasa y reservorio de carbono (LIDAR).</p> <p>Comparación entre los métodos LIDAR y Tradicional</p> <p>Comparación de resultados en zonas áridas y templadas</p>	<p>Análisis de varianza de los dos métodos, zonas y de estudio.</p> <p>Análisis multivariado con todas las variables de suelo, especies, zonas de estudio, geoposición (LN, LO, altitud) y valores de captura.</p>	<p>Se espera similitud entre zonas y métodos de estudio.</p> <p>Se esperan diferencias entre método tradicional y LIDAR.</p> <p>Se esperan diferencias en la estimación del reservorio de carbono en función de la biomasa; sin embargo, se espera documentar la importancia de las especies en los reservorios de carbono.</p> <p>Se espera identificar la(s) variable(s) que influyen en la eficiencia para el cálculo los reservorios de carbono.</p>	<p>Modelo de manejo para estimar reservorio de carbono (inductor).</p> <p>Desarrollo tecnológico para zonas áridas y templadas de calculo de captura de carbono.</p>

## Línea de investigación 2

*Propuesta de un método para estimar reservorios de carbono en masas forestales usando sensores LIDAR*

### Contexto general del tema

Los créditos de carbono son un instrumento internacional que permite a empresas y países compensar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), surgen como una alternativa a la disminución de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que la industria y quema de combustibles fósiles, etc. emite a la atmósfera, son una medida de compensación en donde cada crédito de carbono equivale a la emisión de una tonelada de carbono equivalente (tCO<sub>2e</sub>), o su gas equivalente de GEI. La generación de estos créditos debe de ser el resultado de proyectos sostenibles que certifiquen la reducción de estas emisiones a la atmósfera, a su vez deben estar avalados por organismos internaciones, tales como la Reserva de acción climática, Verra, Gold Estándar, Norma ISO, entre otras.

La metodología que cada protocolo adopta para la cuantificación del reservorio de carbono es variable, con estos métodos se debe asegurar que la credibilidad de la cuantificación de los créditos, con los que se garanticen la contabilidad legítima y que los valores no sobreestimen o subestimen estos créditos; sin embargo, en la actualidad aún no se han adoptado medios, materiales o tecnologías alternativas para la cuantificación, tal como los sensores remotos, donde el capital humano no sea la única fuente de trabajo.

### Objetivo general

- Proponer una metodología, que involucre a los sensores LIDAR, para la estimación de masas forestales, como parte del protocolo de mayor uso en México.

### Objetivos específicos

- Identificar e implementar protocolos para estimar el reservorio de carbono de masas forestales en zonas áridas y templadas.
- Comparar los resultados de la estimación del reservorio de carbono forestal, utilizando sensores LIDAR contra varios protocolos convencionales.

### Metas

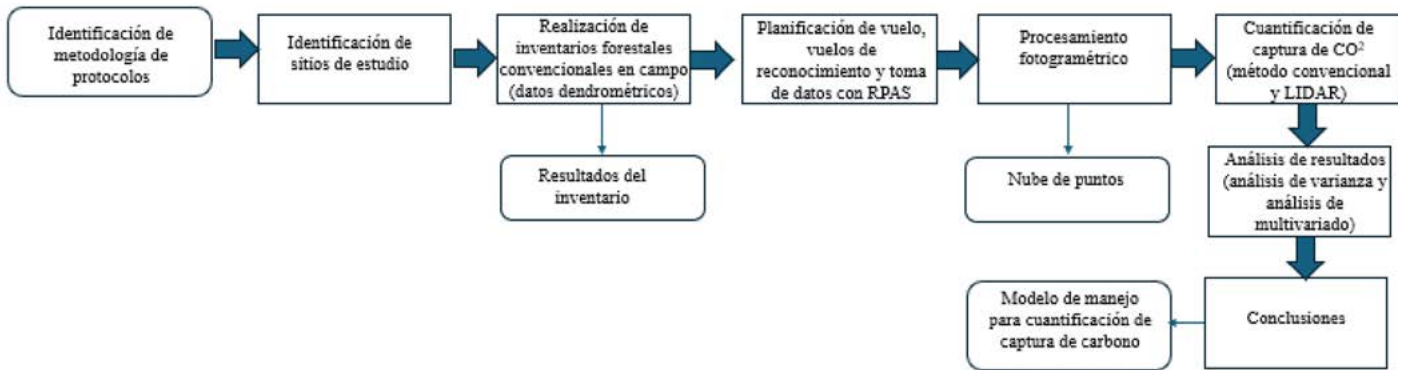
- Identificar e implementar al menos dos protocolos de estimación del reservorio de carbono de masas forestales en zonas áridas y templadas.
- Nueva propuesta metodológica para estimar el reservorio de carbono en masas forestales.
- Programa de capacitación y sensibilización de la nueva metodología para estimar el reservorio de carbono en masas forestales.

### Hipótesis

- La metodología para estimar el reservorio de carbono en masas forestales de zonas áridas y templadas basada en sensores LIDAR, es igual de eficiente, técnica y operativamente, que la metodología del Protocolo de mayor uso en México.

**Tiempos (fases)**

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Cómo proponer que los sensores LIDAR sean aceptados en los protocolos de estimación del reservorio de carbono.	Proponer una nueva metodología mediante sensores LIDAR como parte de los protocolos de estimación de reservorios de carbono	Propuesta de un método para estimar reservorios de carbono en masas forestales usando sensores LIDAR	<p>Identificar los protocolos de estimación de reservorio de carbono de masas forestales.</p> <p>Desarrollar una metodología mediante el uso de sensores LIDAR para estimar las masas forestales.</p> <p>Comparar los resultados de la estimación de reservorio de carbono forestal utilizando varios protocolos.</p>	<p>Levantamiento de inventarios forestales de acuerdo con la metodología propuesta en varios protocolos.</p> <p>Variables ambientales: georreferencias, pendiente, orientación, fisicoquímico de suelo, viento.</p> <p>Variables dasométricas: especie, altura total, DAP, altura y ancho de copa, geoposición, vigor, defectos en fuste, copa y ramas.</p> <p>Estimación del volumen, biomasa y reservorio de carbono por método utilizado.</p> <p>Información LIDAR obtenida con sensores montados en drones de la masa forestal.</p> <p>Análisis de la información LIDAR de las masas forestales.</p> <p>Comparación entre los métodos LIDAR y Tradicionales</p> <p>Propuesta de metodología LIDAR.</p>	<p>Análisis de varianza entre los protocolos tradicionales y sensor LIDAR.</p> <p>Análisis multivariado con todas las variables de suelo, especies, zonas de estudio, geoposición (LN, LO, altitud) y reservorio de carbono.</p>	<p>Se esperan diferencias entre las metodologías propuestas tradicionales contra los sensores LIDAR.</p> <p>Se esperan diferencias en el cálculo del reservorio de carbono en función de la biomasa y ecosistemas.</p>	<p>Metodología para estimar el reservorio de carbono.</p> <p>Desarrollo del programa de capacitación y sensibilización de la nueva metodología para estimar el reservorio de carbono en masas forestales, para que sea aceptada y usada en México.</p>

### Línea de investigación 3

#### *Aplicación y validación de sensores para la estimación del reservorio de carbono en zonas áridas*

##### **Contexto general del tema**

En la actualidad, el principal sector emisor de créditos de carbono en el mercado son provenientes de proyectos forestales de bosques templados, en donde *Pinus* y *Quercus* son los principales géneros de estos bosques, seguido de selvas tropicales, siendo ambos los mayores reservorios de carbono vegetal, esto debido a las características fenológicas de estas especies, un mayor desarrollo y crecimiento anual, traducido en mayor absorción de carbono. Siguiendo esta dinámica, la vegetación de zonas áridas no ha sido de interés en el desarrollo de este tema en particular, las metodologías actuales son estándares, sin embargo, no se adaptan a las zonas áridas y semiáridas.

##### **Objetivo general**

- Desarrollar metodología para la estimación del reservorio de carbono en masas forestales de zonas áridas y semiáridas, con base en la aplicación y validación de diferentes sensores remotos.

##### **Objetivos específicos**

- Identificar, proponer técnicas y actividades para mejorar la eficiencia de metodologías para la estimación del reservorio de carbono en masas forestales de zonas áridas y semiáridas.
- Determinar la eficiencia de uso de sensores (RGB, NDVI, LIDAR terrestre, térmico) en la estimación del reservorio de carbono en masas forestales en zonas áridas y semiáridas.
- Realizar inventarios forestales mediante el uso de sensores para estimar el reservorio de carbono de masas forestales de zonas áridas y semiáridas.
- Comparar la aplicación de los sensores remotos para realizar inventarios forestales para la estimación de reservas de carbono en zonas áridas.

##### **Metas**

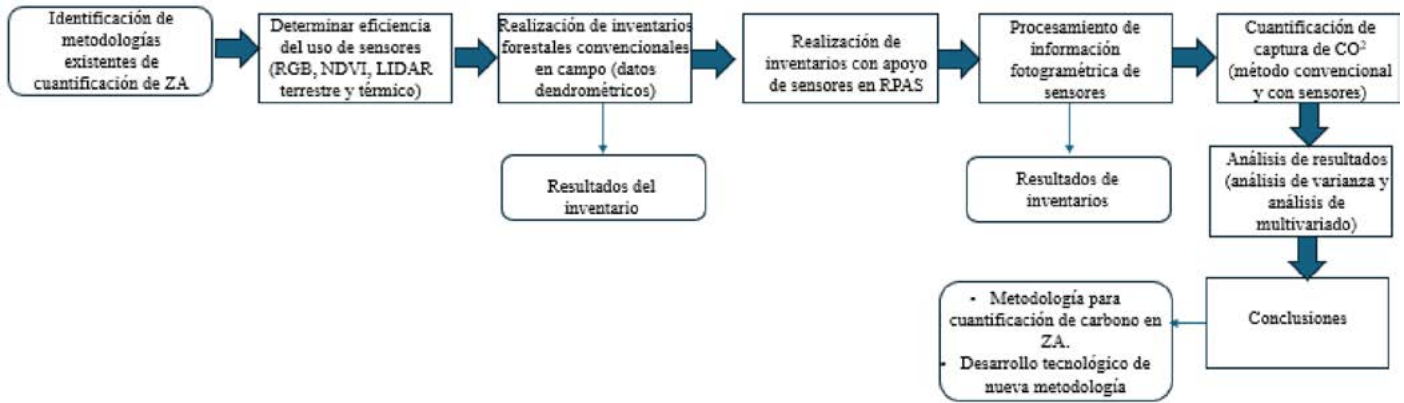
- Tener al menos dos metodologías, y mejorar su eficiencia para estimar reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.
- Determinar la eficiencia de cuatro sensores remotos (RGB, NDVI, LIDAR terrestre, Térmico), para estimar las reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.
- Tener la estimación de las reservas de carbono en dos zonas áridas mediante el uso de sensores remotos.
- Comparar cuatro sensores remotos para realizar inventarios forestales para estimar las reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.

##### **Hipótesis**

- La combinación de sensores remotos en las metodologías de uso actual para la estimación del reservorio de carbono puede mejorar la eficiencia y generar el desarrollo de una nueva metodología.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Cómo implementar una metodología que estime los reservorios de carbono en zonas áridas y semiáridas	Implementar una metodología para la estimación de reservas de carbono en las zonas áridas y semiáridas.	Aplicación y validación de sensores para la estimación del reservorio de carbono en zonas áridas	<p>Identificar los métodos de estimación de reservas de carbono en las zonas áridas y semiáridas.</p> <p>Realizar inventarios forestales en zonas áridas mediante el uso de sensores remotos.</p> <p>Determinar la eficiencia de los sensores remotos en la estimación de reservas de carbono en masas forestales de zonas áridas.</p> <p>Comparar los métodos existentes de inventarios forestales para captura de carbono contra uso de sensores.</p> <p>Proponer una metodología para la estimación de reservas de carbono en zonas áridas.</p>	<p>Inventarios forestales con metodología usada actualmente.</p> <p>Variables dasométricas: especie, altura total, DAP, altura y ancho de copa, geoposición, vigor, defectos en fuste, copa y ramas.</p> <p>Volumen, biomasa y reservas de carbono con las metodologías usadas actualmente (de combustión, cuantificación, etc).</p> <p>Obtención de datos de la masa forestal con el uso de varios sensores remotos.</p> <p>Volumen de biomasa y reservas de carbono estimados con sensores remotos.</p> <p>Comparación entre métodos (existentes y propuesto)</p> <p>Nueva metodología.</p>	<p>Análisis de varianza entre los métodos existentes y método desarrollado</p> <p>Análisis multivariado con todas las variables de suelo, especies, zonas de estudio, geoposición (LN, LO, altitud) y valores de reserva de carbono.</p>	<p>Se esperan diferencias entre metodologías.</p> <p>Se esperan similitud entre método existente y el propuesto con base en los sensores remotos.</p> <p>Se espera identificar la(s) variable(s) que influyen en la estimación de reservas de carbono.</p>	<p>Propuesta de nueva metodología con sensores remotos.</p> <p>Desarrollo tecnológico de nueva metodología para estimar reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.</p>

## Línea de investigación 4

*Estimar las reservas de carbono por especie forestal de zonas áridas y semiáridas*

### Contexto general del tema

La importancia de las zonas áridas y semiáridas en el territorio mexicano radica en que el 70% de México tiene esas condiciones, sin embargo, los estudios en cuanto a las dinámicas de la reserva de carbono en estos ecosistemas se basan en métodos que han sido desarrollados para zonas templadas o de trópicos. La relevancia de conocer las especies y su retención de carbono estriba en que se comprende y justifica la conservación y protección de estas especies, para mantener la absorción de carbono y de esta manera mitigar los impactos del cambio climático. Los ecosistemas han jugado un papel importante en cuanto a la convivencia, autoconsumo y desarrollo cultural, las comunidades han encontrado maneras de poder convivir y subsistir dentro de ellos, haciéndolos sus principales fuentes de empleo y arraigo dentro de las generaciones.

### Objetivo general

- Estimar la reserva de carbono por especie y estrato (herbáceo, arbustivo y arbóreo) en masas forestales de zonas áridas y semiáridas.

### Objetivos específicos

- Identificar las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas dominantes en zonas áridas.
- Estimar las reservas de carbono por especie de las zonas áridas.
- Comparar la reserva de carbono entre especies vegetales de zonas áridas.
- Conocer las especies con mayor fragilidad ecológica con relación a su nivel de captura de carbono, que sean indicadores para evitar la deforestación.
- Identificar las especies que por su nivel de reserva de carbono son viables para promover la reforestación productiva en ejidos y comunidades agrarias.

### Metas

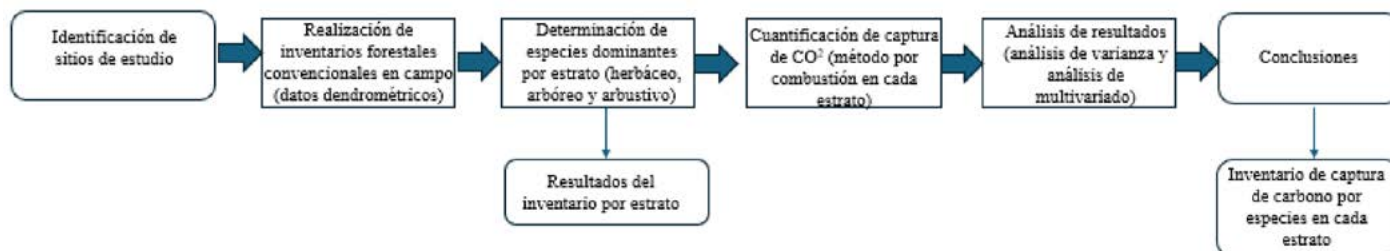
- Identificar las principales tres especies por estrato en zonas áridas.
- Tener el reservorio de carbono en las tres especies principales de cada estrato en zonas áridas.
- Comparar la reserva de carbono entre las primeras tres especies de cada estrato en las zonas áridas.
- Conocer las tres especies principales de mayor fragilidad ecológica, con relación a su nivel de reservas de carbono.
- Identificar tres especies nativas relevantes en su reservorio de carbono y viables para la reforestación productiva en ejidos y comunidades agrarias.

### Hipótesis

- No hay diferencia en el reservorio de carbono entre especies ni entre estratos de las masas forestales en zonas áridas y semiáridas.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Qué especies por estrato vegetal, en masas forestales de zonas áridas, tienen el mayor reservorio de carbono.	Estimar el reservorio de carbono en las masas forestales de zonas áridas.	Estimar las reservas de carbono por especie forestal de zonas áridas y semiáridas	<p>Identificar las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas dominantes en zonas áridas.</p> <p>Determinar la especie y estrato con mayor reserva de carbono en zonas áridas.</p> <p>Cuantificar la reserva de carbono en las especies dominantes en las zonas áridas.</p> <p>Comparar la reserva de carbono entre especies dominantes de las zonas áridas.</p> <p>Identificar las especies con mayor fragilidad (abundancia, riqueza y diversidad contra captura de CO<sub>2</sub>) ecológica, en relación con su nivel de reserva de carbono.</p> <p>Identificar las especies viables para promover la reforestación productiva en ejidos y comunidades agrarias.</p>	<p>Inventario de los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo (Número de especies, altura, diámetro, vigor, diámetro de poca, altura de fuste limpio, volumen).</p> <p>Identificación de especies dominantes de zonas áridas (índices para riqueza, diversidad y estructura).</p> <p>Estimación del volumen, biomasa y reserva de carbono (método combustión para cuantificar carbono).</p> <p>Comparación de la reserva de carbono por especies y estrato (tCO<sub>2</sub> e).</p> <p>Comparación de resultados y determinación de principales especies.</p>	<p>Análisis de varianza entre especies y estratos.</p> <p>Análisis multivariado con todas las variables por estrato.</p>	<p>Se esperan diferencias entre estratos y especies.</p> <p>Se esperan diferencias en la reserva de carbono en función de la riqueza, abundancia y diversidad de las especies.</p> <p>Se espera identificar la(s) variable(s) que influyen en la reserva de carbono.</p>	<p>Nueva metodología para estimar reservas de carbono en zonas áridas y semiáridas.</p> <p>Desarrollo tecnológico de nueva metodología para estimar reservorio de carbono en zonas áridas y semiáridas.</p>

## Línea de investigación 5

### *Sistema de comercialización de créditos de carbono para las zonas áridas de México*

#### Contexto general del tema

A partir de la creación de los créditos de carbono ha surgido el mercado voluntario de carbono, como su nombre lo indica, por iniciativa, diversas empresas compensan la emisión de sus GEI, comprando estos créditos producto de diversos proyectos, en donde se establecen precios, volúmenes y vintage (año de emisión) de estos, siendo un nuevo mecanismo de comercio. En general, la generación de créditos de carbono ha sido un mecanismo que se ha adoptado para la detención del cambio climático, lo cual trae beneficios importantes a los actores del medio, pero, sobre todo, deben conducir a un mundo libre de emisiones. Con esto se espera poder llegar a la meta Net Zero 2030 como se ha establecido en la COP25 (25<sup>th</sup> Conference Of Part), durante la conferencia de las naciones unidas sobre el cambio climático celebrada en 2019.

#### Objetivo general

- Implementar un sistema de comercialización de créditos de carbono eficiente, transparente y justo, adaptado a las zonas áridas del país.

#### Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema de comercialización para México, relacionado con los créditos de carbono.
- Identificar los segmentos industriales y de servicios públicos y privados obligados a adquirir créditos de carbono.
- Desarrollar esquemas de comercialización de créditos de carbono con base en el marco jurídico mexicano, que integren el sistema general de comercio para México.
- Determinar la eficiencia del sistema de comercialización de créditos de carbono.
- Identificar grupos sociales del ámbito rural para la obtención y comercialización de créditos de carbono de zonas áridas del país.

#### Metas

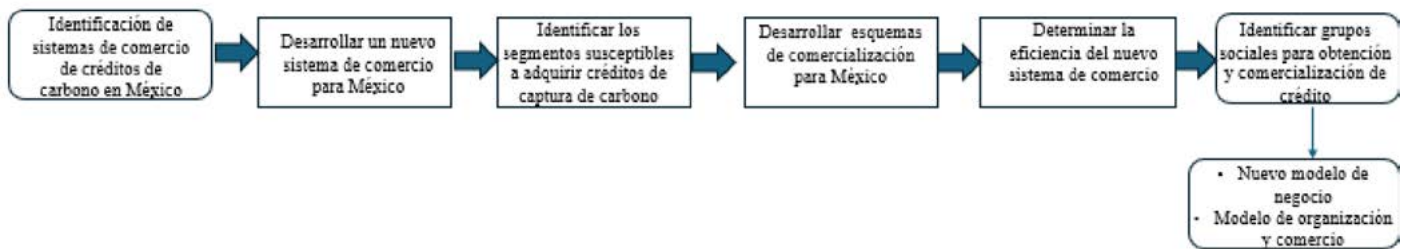
- Desarrollar al menos un sistema de comercialización de créditos de carbono para México.
- Identificar en dos años al menos cinco segmentos industriales y de servicios públicos y privados susceptibles de la obligación de adquirir créditos de carbono.
- En dos años desarrollar al menos cinco esquemas de comercialización de créditos de carbono con base en el marco jurídico mexicano, que integren el sistema general de comercio para México.
- Determinar la eficiencia del sistema de comercialización de créditos de carbono, que esté funcionando en al menos dos años.
- En dos años identificar al menos cinco grupos sociales del ámbito rural para la obtención y comercialización de créditos de carbono de zonas áridas del país.

### Hipótesis

- Los esquemas que integran el sistema de comercialización de créditos de carbono en las zonas áridas son eficientes, relevantes y congruentes con el marco jurídico de México.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Cómo implementar un sistema de comercialización de créditos de carbono en las zonas áridas.	Implementar un sistema de comercialización de créditos de carbono para las zonas áridas.	Sistema de comercialización de créditos de carbono para las zonas áridas de México	<p>Desarrollar un sistema de comercialización de créditos de carbono para México.</p> <p>Identificar los segmentos industriales y de servicios públicos y privados susceptibles de la obligación de adquirir créditos de carbono.</p> <p>Desarrollar esquemas de comercialización de créditos de carbono con base en el marco jurídico mexicano, que integren el sistema general de comercio para México.</p> <p>Determinar la eficiencia del sistema de comercialización de créditos de carbono.</p> <p>Identificar grupos sociales del ámbito rural para la obtención y comercialización de créditos de carbono de zonas áridas del país.</p>	<p>Sistemas de comercio en México.</p> <p>Nuevo sistema de comercio en México.</p> <p>Segmentos susceptibles de adquisición de créditos de carbono.</p> <p>Esquemas de comercialización de acuerdo con la legislación de México.</p> <p>Eficiencia del nuevo sistema de comercio.</p> <p>Grupos sociales del ámbito rural potenciales para la obtención y comercialización de créditos de carbono dentro del territorio nacional.</p>	Análisis de varianza entre sistemas de comercialización.	<p>Se espera la aceptación de los segmentos industriales y de servicio públicos y privados para adquirir créditos de carbono.</p> <p>Graficar la eficiencia económica, ambiental y social del sistema de comercialización de créditos de carbono.</p> <p>Precisar los requisitos mínimos necesarios para que un grupo social del ámbito rural alcance la certificación y obtenga créditos de carbono en propiedad social y privada.</p>	<p>Modelo de negocio basado en la comercialización de créditos de carbono.</p> <p>Un modelo de organización y comercio para captar ingresos económicos con impacto para el desarrollo social en comunidades rurales.</p>

## Línea de investigación 6

*Conservación biológica para mantener o incrementar el reservorio de carbono.*

### Contexto general del tema

El sector forestal es el principal reductor de emisiones de GEI, para ello se establecen proyectos que aumentan los reservorios de carbono en las masas forestales, los cuales deben de ser verificables, adicionales y permanentes. Estas masas forestales pertenecen en su mayoría a comunidades y ejidos, con pequeñas poblaciones, en su mayoría de escasos recursos, algunas veces sus dueños son los pueblos originarios. La importancia del incremento en las masas forestales es proporcional al incremento en el reservorio de carbono; es por esto que la conservación, protección, restauración y el aprovechamiento sustentable de estos ecosistemas son indispensables en la reducción de los efectos del cambio climático, el cual se ha incrementado en los últimos años.

### Objetivo general

- Implementar métodos de conservación de la diversidad biológica para incrementar los reservorios de carbono en las masas forestales.

### Objetivos específicos

- Determinar el nivel de impacto de las actividades antropogénicas sobre los recursos naturales.
- Implementar conservación biológica para incrementar los reservorios de carbono en las masas forestales y en áreas degradadas.
- Diseñar e implementar un vivero forestal de especies nativas del semidesierto con fines de reforestación productiva.
- Diseñar propuestas de reforestación productiva y áreas de restricción comunitaria que coadyuven a la restauración y conservación de la biodiversidad en las zonas áridas.
- Documentar los impactos de las actividades de restauración sobre la fauna insectil comestible.

### Metas

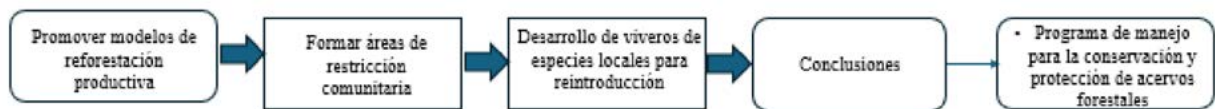
- Un manuscrito que documente el nivel de impacto por trienio de las actividades antropogénicas en los recursos bióticos y abióticos.
- Implementación de tres métodos implementados sobre conservación biológica para incrementar los reservorios de carbono de las masas forestales.
- Diseñar e implementar un vivero forestal con al menos cinco especies nativas del semidesierto con fines de reforestación productiva.
- Implementación de tres obras de conservación y restauración establecidos en áreas deforestadas.
- Documentar impactos derivados de las actividades de restauración sobre la fauna insectil comestible.

### Hipótesis

- La implementación de obras de conservación y restricción comunitaria incrementará el reservorio de carbono equivalente.

### Tiempos (fases)

- Diagramas de flujo (métodos y variables)



Pregunta simple	Pregunta de investigación	Título	Objetivos	Variables	Análisis estadístico	Discusión	Propiedad intelectual (productos)
Cómo fomentar entre los habitantes rurales la conservación biológica para el reservorio de carbono.	Fomentar la conservación biológica de los recursos forestales para el incremento del reservorio de carbono.	Conservación biológica para mantener o incrementar el reservorio de carbono.	<p>Determinar el nivel de impacto de las actividades antropogénicas en los recursos naturales en la propiedad social.</p> <p>Implementar métodos de conservación biológica para incrementar los reservorios de carbono.</p> <p>Implementar obras de conservación y restauración en áreas deforestadas.</p> <p>Documentar los impactos de actividades antrópicas en la conservación de insectos comestibles de zonas áridas.</p>	<p>Promover modelos de reforestación productiva (Agave, Opuntia, Yucca, Neltuma, Vachellia, Quercus, etc).</p> <p>Proponer áreas de restricción comunitaria para promover la recuperación de vegetación.</p> <p>Establecer viveros con especies locales para reintroducción o reforestación.</p> <p>Identificación de indicadores de éxito.</p>	<p>Análisis de varianza entre métodos de conservación</p> <p>Análisis multivariado con todos los métodos de conservación.</p>	<p>Se esperan diferencias entre zonas donde se han implementado los métodos de conservación.</p> <p>Se esperan diferencias en los reservorios de carbono en función de los métodos de conservación empleados.</p> <p>Se espera diferencias socio-económicas y ambientales en cuanto a los habitantes rurales antes y después de la aplicación.</p>	<p>Programa de manejo para la conservación y protección de acervos forestales para el aumento del reservorio de carbono.</p> <p>Desarrollo tecnológico de programa de manejo para la conservación y protección de acervos forestales que incida en el incremento del reservorio de carbono.</p>

El contenido de almacenamiento de CO<sub>2</sub> para coberturas de vegetación a un 100% así como por debajo del suelo en México, determinan una forma rápida y eficiente del cálculo de CO<sub>2</sub> en zonas donde los datos no han sido tomados en inventarios forestales, si no que se realicen con apoyo de imágenes satelitales, donde sea posible calcular el porcentaje de cobertura vegetal, estos datos se pueden encontrar de la siguiente manera:

Actividad	Autor	Descripción	N° de árboles min/ha*	N° de árboles máx/ha*	tCO <sub>2e</sub> /especie árbol min	tCO <sub>2e</sub> /especie árbol máx	Biomasa total (1.0 ha)	tCO <sub>2e</sub> /área total (1.0 ha)	Rangos de sostenibilidad: bajo, medio, alto	Codificar sostenible: 4 = muy alto; 3 = alto; 2 = medio; 1 = bajo; 0 = muy bajo (frágil)
Bosque urbano	Ruesch & Gibbs, 2008, tomado de la Reserva de Acción Climática, 2022	Bosque urbano	150	500	1.07333333	0.322	161	161	Bajo	0
Reforestación		Reforestación subtropical	1100	1600	0.16727273	0.115	184	184	Bajo	1
		Reforestación tropical	625	900	0.312	0.21666667	195	195	Bajo	1
Sistema agroforestal/silvopastoril		Sistemas subtropicales de montaña	1600	64	0.188125	4.703125	301	301	Medio	2
		Sistemas de montaña tropical	1600	64	0.188125	4.703125	301	301	Medio	2
		Desierto subtropical	800	4000	0.555	0.111	444	444	Medio	3
		Bosque seco subtropical	800	4000	0.555	0.111	444	444	Medio	3
		Estepa subtropical	800	4000	0.555	0.111	444	444	Medio	3
		Bosque seco tropical	1600	64	0.2775	6.9375	444	444	Medio	3
		Bosque húmedo tropical caducifolio	1600	64	0.281875	7.046875	451	451	Medio	3
		Selva tropical	1600	64	0.43125	10.78125	690	690	Alto	4
Zonas sin perturbación	Montero <i>et al.</i> , 2016	Zonas áridas y semiáridas	800	4000	0.0425	0.0085	34	34	Bajo	0
	Montaño, 2016	Zonas áridas y semiáridas	800	4000	0.020375	0.004075	16.3	16.3	Bajo	0

\* Números referentes tomados del manual básico de prácticas de reforestación, 2010 y del establecimiento de sistemas agroforestales, 2011 de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).