



# Desde el Herbario CICY

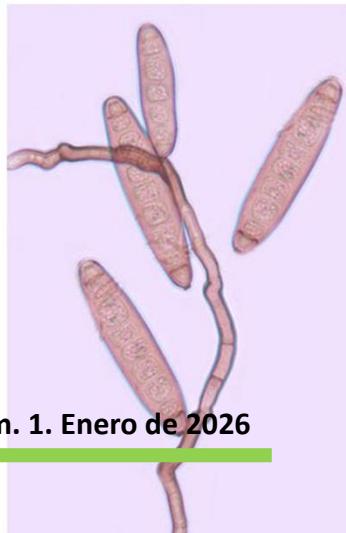
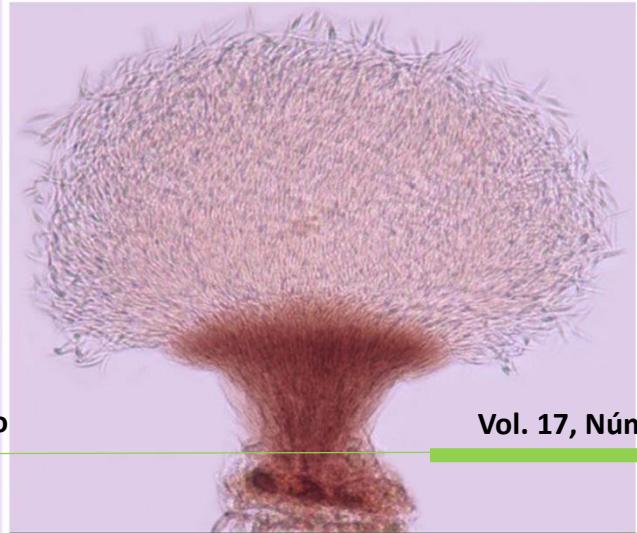
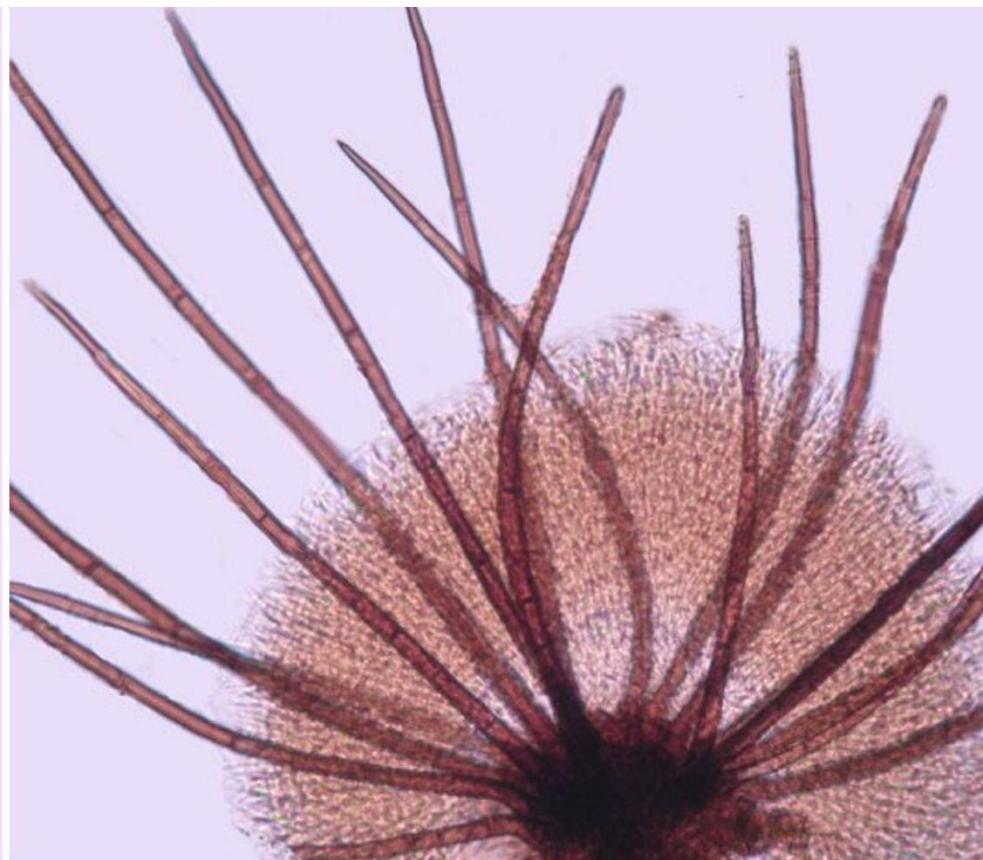
Revista de divulgación científica editada por la Unidad de Recursos Naturales

**La importancia de los herbarios  
en la era digital**

**Hongos microscópicos en los  
folíolos del Tinto  
(*Haematoxylum campechianum* L.)**

**Microalgas: Pequeños  
organismos, grandes impactos**

**Modificando las rutas  
metabólicas por biología sintética**



ISSN: 2395-8790

[https://www.cicy.mx/sitios/desde\\_herbario](https://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario)

Vol. 17, Núm. 1. Enero de 2026

# Contenido

## 4 Desde el comité editorial

## 5 Celebraciones del mes

**5** 25 de enero, día del Biólogo y de la Bióloga

**6** 26 de enero, día Mundial de la Educación Ambiental

## 7 Ensayos del mes

**7** La importancia de los herbarios en la era digital

**14** Hongos microscópicos en los folíolos del tinto (*Haematoxylum campechianum*)

**20** Microalgas: Pequeños organismos, grandes impactos

**25** Modificando las rutas metabólicas por biología sintética

## 30 Próximo número

## 31 Agradecimiento a revisores



## Directorio

### COMITÉ EDITORIAL 2026-2027

#### Editor General

Jaime Martínez Castillo

#### Editores de producción

Alfredo Dorantes Euan  
Ariadna Ibarra Morales

#### Editores Asociados

Germán Carnevali Fernández-Concha  
Ivón M. Ramírez Morillo  
Luz María del Carmen Calvo Irabien  
Manuel Martínez Estévez  
Juan Manuel Dupuy Rada  
Luis Alexander Peña Peniche  
Pilar Angélica Gómez Ruiz  
Mariana Chávez Pesqueira  
Ivonne Sánchez del Pino  
Casandra Reyes García  
Rodrigo Duno de Stefano  
Javier Orlando Mijangos Cortés  
Patricia Rivera Pérez  
José Luis Andrade Torres  
José Luis Hernández Stefanoni  
María Guadalupe Carrillo Galván  
José Viccon Esquivel  
Virginia Aurora Herrera Valencia

#### Diseño Editorial

Norma Marmolejo Quintero

#### Sitio web

José Fernely Aguilar Cruz

#### Diseño para redes sociales y difusión

Erika Gabriela Cano León

**Desde el Herbario CICY** es una publicación mensual editada por la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Desde el Herbario CICY – DHCICY – © 2026 by Editor General DHCICY is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura de los editores. La responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos corresponde a los autores de los ensayos.

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

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

## Desde el comité editorial

### Estimados lectores de la revista Desde el Herbario CICY –DHCICY–

Antes que todo, les damos una cordial bienvenida a este nuevo año que inicia con muchos cambios en nuestra revista DHCICY. Uno de los principales cambios es qué a partir de enero del 2026, DHCICY tendrá números mensuales que estarán integrados por al menos cuatro ensayos. También, se contará con un grupo de editores asociados que permitirá un manejo más rápido y eficiente de los manuscritos sometidos. Con estos cambios buscamos acortar los tiempos de publicación. Esperamos recibir muchos mensajes de Ustedes en nuestro correo institucional para que esta retroalimentación mejore cada vez más nuestra revista.

En este número de enero contamos con cuatro ensayos que nos muestran parte de la diversidad de temas que aborda DHCICY. El primer ensayo, y en honor al origen de nuestra revista, nos habla de la importancia de los herbarios como colecciones científicas en donde se puede realizar investigaciones biológicas, y como en la actualidad la tecnología emergente y la reducción de los costos de muchos equipos facilitan que estas colecciones estén disponibles para todo el mundo. Nuestro segundo ensayo aborda la importancia de los hongos microscópicos en la descomposición de materia vegetal y en el reciclaje de nutrientes, tomando como ejemplo a los micromicetos presentes en el palo de tinte, una especie característica de zonas inundables del sureste de México. El tercer ensayo nos presenta a las microalgas, organismos unicelulares fotosintéticos con diversos usos potenciales, entre estos: indicadores de contaminación por microplásticos, uso en el tratamiento de aguas residuales y en la producción de proteínas recombinantes para su uso en investigación, así como en aplicaciones que van desde aditivos alimenticios hasta vacunas. Nuestro cuarto ensayo nos habla de la biología sintética y la ingeniería metabólica como disciplinas clave para optimizar la producción de metabolitos de interés biotecnológico, tomando como ejemplo la obtención de artemisinina, un avance significativo en la producción de este compuesto que posee aplicaciones médicas y que llevó a la científica que lideró este descubrimiento a ganar el premio Nobel de medicina en 2015.

Esperamos que cada uno de nuestros lectores disfruten de esta publicación.

Editor General

## Celebraciones del mes

En enero de cada año celebramos dos días muy importantes que están relacionados con la labor de quienes formamos parte de DHCICY, y en esta sección queremos recordarlos:

### 25 de enero, día del Biólogo y de la Bióloga



En México, esta celebración data del 25 de enero de 1961, fecha en que fue creado el Colegio de Biólogos de México por científicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Entre los primeros biólogos formados en México podemos mencionar a Alfonso L. Herrera, Teófilo Herrera Suárez y Helia Bravo Hollis. Pero en la historia de la biología mexicana existen otras figuras que también merecen ser mencionadas por haber abierto brecha en diversas áreas de la biología, entre estas: José Sarukhán Kermez, Arturo Gómez Pompa, María Elena Caso, Gonzalo Haffter, Alejandra Bravo de la Parra, Antonio Lazcano Araujo, Laura Huerta Múzquiz y Alfonso Larqué Saavedra, por mencionar solo algunas.

Hoy, el papel de los Biólogos y las Biólogas adquiere mayor importancia en la protección y la conservación de nuestro planeta ante la llamada sexta extinción y la compleja problemática ambiental que afectan a todos los seres vivos que habitamos la Tierra. Si queremos salvar a nuestro planeta y heredar a las siguientes generaciones un mundo ecológica y ambientalmente más sano, debemos entender que todas las disciplinas biológicas son importantes, desde aquellas que abordan la ciencia básica, pasando por las que llevan el conocimiento a aplicaciones biotecnológicas, hasta las disciplinas en donde convergen las comunidades humanas con su particular cosmovisión de la vida.

Para motivarnos y seguir celebrando cada año este día, aquí les dejo algunas frases célebres sobre la biología:

“La biología es la ciencia de la vida, y la vida es un proceso dinámico y complejo” Francis Crick

“La naturaleza es el libro de la biología” Carl Linnaeus

“Hay biología en todo, incluso cuando se siente espiritual” Helen Fisher

“La biología es la partitura, la evolución es la sinfonía y cada especie es una nota en la melodía de la vida” Jane Goodall

“Nada tiene sentido en la biología, excepto a la luz de la evolución” Theodosius Dobzhansky

Editor General



## Celebraciones del mes

### 26 de enero, día Mundial de la Educación Ambiental



No se sabe con exactitud de donde surgió la chispa – si del tren que cruzaba el río o de alguna fábrica cercana –, pero el 3 de noviembre de 1952 ocurrió algo difícil de imaginar: el río Cuyahoga en Cleveland, Estados Unidos, se incendió. Durante 30 minutos, las llamas cubrieron la superficie del agua; muelles y bodegas ardieron, y el puente del ferrocarril quedó dañado. La causa era evidente: por décadas, numerosas fábricas siderúrgicas, refinerías y plantas químicas habían vertido sus desechos directamente al río. Petróleo, solventes, residuos aceitosos, alquitrán y desechos industriales sin tratar habían convertido al Cuyahoga en un cuerpo de agua altamente contaminado e inflamable. Casos como el del río Cuyahoga, junto con otros como derrames petroleros, el uso indiscriminado de pesticidas y el deterioro acelerado de ecosistemas, despertaron una preocupación ambiental sin precedentes y motivó el impulso de tomar medidas a nivel global. En 1975, como resultado del Seminario Internacional de Educación Ambiental, se publicó la Carta de Belgrado, documento que estableció por primera vez principios, objetivos y metas internacionales para la educación ambiental. Desde entonces, esta disciplina ha crecido y se ha diversificado, dando lugar a enfoques muy variados: perspectivas naturalistas, conservacionistas, humanísticas, críticas, feministas, morales y holísticas, entre otras. Hoy sabemos que la educación ambiental no solo se trata de conocer la naturaleza, sino de comprender nuestras relaciones con ella y actuar de manera informada y responsable. No obstante, aún estamos lejos de lograr una verdadera conciencia ambiental, un ejemplo claro es la generación de residuos sólidos. Según datos del INEGI, en México se generaron 86,342 toneladas de residuos sólidos urbanos en 2010; para 2020, la cifra aumentó a 106,000 toneladas. Aunque a nivel nacional el 90% de los hogares cuenta con servicio de recolección de basura, gran parte de los residuos termina en el ambiente o se quema, y solo el 43% de los hogares realiza alguna práctica de separación de residuos. Es evidente que generamos cada vez más residuos, pero seguimos gestionándolos de forma inadecuada.

Cada 26 de enero conmemoramos el Día Mundial de la Educación Ambiental, una oportunidad para recordar, renovar y fortalecer los esfuerzos necesarios para formar sociedades más responsables con su entorno. Te invitamos a que te acerques a instituciones dedicadas a la educación ambiental: jardines botánicos, espacios de cultura del agua, reservas naturales, museos de ciencias y áreas verdes urbanas. Conoce sus programas, participa en sus actividades y comparte lo que aprendas... todos los esfuerzos que hagamos cuentan.

Isai Olalde Estrada



# La importancia de los herbarios en la era digital

Eire Ramírez-García, Roberto Castro-Cortés y Thorsten Krömer\*

Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana, Calle José María Morelos No. 44 y 46, Zona Centro, 91000, Xalapa, Veracruz, México.

\*[tkromer@uv.mx](mailto:tkromer@uv.mx)

## Resumen

Los herbarios son colecciones científicas que resguardan plantas secas. Este material se acompaña de una etiqueta que contiene información de las características de la especie vegetal y el sitio donde fue recolectada. Gracias a los ejemplares herborizados preservados desde mediados del siglo XVI en todo el mundo, es posible realizar investigaciones biológicas novedosas. En la actualidad, la tecnología emergente y la reducción de los costos de muchos equipos, han facilitado que las colecciones científicas estén disponibles para todo el mundo a través de la digitalización. Esto ha ampliado el acceso a los espécímenes y posibilitado que un mayor número de usuarios puedan consultarlos.

**Palabras clave:** Colección científica, diversidad vegetal, educación, espécimen herborizado, imágenes digitales.

Un herbario es similar a una biblioteca que, en lugar de libros, resguarda plantas secas o partes de estas. Las muestras se preservan sobre cartulinas y se depositan en gabinetes. Cada ejemplar es acompañado de una etiqueta que proporciona información clave: el nombre científico (un nombre único y universal dado por los biólogos que usualmente es en

latín), los colectores, el número de colecta, la localidad, fecha de colecta, así como características observadas en la planta (Fig. 1A). Estos se encuentran en instituciones de investigación, de educación superior, museos y algunos sitios privados de coleccionistas. Se estima que en el mundo existen más de 3,850 herbarios y en ellos están depositados alrededor de 400 millones de ejemplares de plantas, también denominadas especímenes (Thiers 2025), que han sido recolectados desde mediados del siglo XVI (Sarmiento-Parra & Carbón de la Hoz 2020).

Los herbarios preservan datos de la diversidad vegetal de distintas regiones y países del mundo, esto los convierte en una fuente de información biológica invaluable. En México, las primeras colectas importantes de plantas fueron realizadas por los botánicos y naturalistas Martín de Sessé, José Mariano Mociño y Vicente Cervantes, durante la Real Expedición Botánica a Nueva España a finales del siglo XVIII (Fig. 1B) (Lozoya 1984). Otros personajes relevantes fueron Alexander von Humboldt y Aimé Bonpland, quienes exploraron el país durante un año hasta marzo de 1804, colectando poco más de 900 especies (Fig. 1C), principalmente en la región central y nombrando a varias especies nuevas para la ciencia (Romoleroux 2010, Cruz 2017). Tras ellos, el trabajo de incontables colectores





**Figura 1.** Ejemplares de herbario colectados en diferentes épocas. **A.** *Pseudalcantarea viridiflora*, por T. Krömer et al. en 2008 con el número 3131 en el Herbario CITRO; **B.** *Pseudalcantarea viridiflora*, por M. de Sessé et al. entre 1787-1795 con el número 5459 en el Herbario MA; **C.** *Ocotea psychotrioides*, por A. von Humboldt y A. Bonpland en 1804 con el número 4434 en el Herbario HAL (Fotografías: A. Roberto Castro-Cortés, B. y C. Thorsten Krömer.)

ha contribuido a la formación de casi 90 herbarios existentes hoy en México (Rzedowski et al. 2009, Thiers 2025).

## ¿Por qué son importantes los herbarios?

En las ciencias biológicas, la mayoría de las investigaciones tiene como objeto de estudio a las diferentes especies de flora y fauna y, en el caso de la botánica, los herbarios son una de las principales fuentes de información de las especies vegetales. Las etiquetas contienen datos valiosos como la ubicación (coordenadas geográficas), el hábitat (altitud, tipo de vegetación, sustrato o tipo de suelo) y, generalmente, descripciones breves de sus características morfológicas (hábito o forma de vida, flores y frutos) e incluso sus usos; datos que en conjunto se denominan como información de campo. Esto establece las bases para iniciar la comprensión de la biología y ecología de las especies, además de cualquier conocimiento tradicional asociado a ellas. A través del análisis de los datos vinculados al espécimen,

men, es posible determinar, por ejemplo, su distribución geográfica y, con ello, conocer el número de especies vegetales en un territorio. Esta información es de vital importancia para las especies, especialmente para las endémicas, quienes tienen áreas de distribución limitada y presentan requerimientos de hábitat específicos para su desarrollo y permanencia, por lo que son más vulnerables a los disturbios o la pérdida de sus entornos naturales, aspectos que podrían afectar a sus poblaciones y causar su extinción (Suárez-Mota & Villaseñor 2011).

Históricamente, los herbarios han tenido mayor peso en las disciplinas de taxonomía y sistemática, donde los ejemplares son una fuente de material biológico con el cual es posible realizar análisis morfológicos, anatómicos y moleculares para describir, identificar, clasificar y comprender las relaciones de parentesco entre estos organismos (Davis 2023). Generalmente, el descubrimiento de nuevas especies vegetales es resultado de la recolecta de plantas en regiones naturales; no obstante, los herbarios aún resguardan miles de especies esperando a

## Desde el Herbario CICY

ser descubiertas (Bebber *et al.* 2010). Por otra parte, se reconoce la importancia de continuar realizando exploraciones botánicas en regiones geográficas florísticamente poco conocidas, para recolectar plantas y preservarlas en colecciones biológicas, que sin duda en el futuro serán una fuente de información crítica para monitorear los cambios presentados en los ecosistemas resultado del cambio climático (Davis & Ellison 2018).

Es un hecho histórico que, hasta antes del siglo XX, una gran parte de las colectas botánicas en México y otros países latinoamericanos fueran realizadas por exploradores, científicos o naturalistas europeos o norteamericanos, quienes depositaron los ejemplares en los grandes herbarios de sus respectivas naciones. Debido a esto, en muchas ocasiones al realizar la revisión taxonómica de una familia o un género de plantas, es decir, un estudio exhaustivo de la clasificación de un grupo de organismos para aclarar sus relaciones de parentesco, a menudo se requería visitar herbarios o solicitar préstamos entre instituciones. Sin embargo, esto resultaba costoso y demandante de tiempo y, sobre todo, expónia a los valiosos ejemplares a daños irreparables; no obstante, las nuevas tecnologías están cambiando toda esta dinámica.

Los herbarios también son importantes porque la información de los sitios de recolecta de los especímenes puede asociarse a datos ambientales (clima, topografía, tipo de suelo, entre otros), lo que la convierte en una fuente básica para construir modelos de distribución, es decir, zonas donde potencialmente podría encontrarse un organismo; estos modelos permiten predecir la presencia de una especie en áreas determinadas y en diferentes tiempos (pasado, presente y futuro) (Soltis 2017). Un ejemplo de ello son las predicciones a futuro, las cuales tienen importantes implicaciones en la conservación, ya que permiten saber qué espacios geográficos serían idóneos para establecer Áreas Naturales Protegidas o extender las ya existentes. Aunado a esto, la información de los especímenes presentes en los herbarios permite hacer registros de cambios en la fenología de las plantas asociados a variaciones en

## La importancia de los herbarios en la era digital

el clima, lo cual puede tener repercusiones en la permanencia de las especies (Davis & Ellison 2018).

Los herbarios también son un elemento importante de la educación y formación académica, ya que los ejemplares son parte del patrimonio natural de cada región, proporcionan material de enseñanza, permiten la apreciación de la diversidad botánica al facilitar a estudiantes y profesores un acceso a la flora local; además de ser un sitio de formación de estudiantes de pregrado y posgrado. Algunos ejemplos donde los herbarios tienen un impacto directo en el área de la educación son: a) el entrenamiento para la identificación de especies bajo la dirección de taxónomos experimentados; b) la colaboración y el apoyo para la elaboración de tesis de los diferentes grados académicos; c) la elaboración de materiales impresos o digitales relacionado con la difusión de la ciencia y la botánica y, d) la preservación del patrimonio cultural documentando y colaborando con instituciones para difundir el conocimiento tradicional del uso de las plantas (Barrera-Catalán *et al.* 2022, Castro-Cortés & Krömer 2024, Châteaureynaud *et al.* 2024).

### Si la información que proporcionan los especímenes de herbario es fundamental en la investigación ¿cómo es posible acceder a ella de manera sencilla, rápida y eficiente?

Ante el avance de la tecnología surgieron nuevas herramientas y protocolos que hicieron posible la disponibilidad en línea de los datos biológicos de colecciones científicas. Algunos herbarios nacionales importantes en Europa y los Estados Unidos de América, que preservan ejemplares recolectados desde hace siglos, comenzaron a digitalizar su material herborizado. Entre los pioneros se encuentran el Herbario de París (Muséum National d'Histoire Naturelle 2025), el Herbario de Berlín (Botanischer Garten Berlin 2025) y el Herbario Nacional de los Estados Unidos de América, mejor conocido como Instituto Smithsonian (Smithsonian Institution 2025). Estos herbarios fueron los primeros en digitalizar



## Desde el Herbario CICY

sus especímenes, sobre todo los ejemplares tipo—el espécimen de referencia sobre el cual se realizó la descripción original de una especie—, que son de gran valor para la ciencia. El proceso de digitalización consiste en transcribir los datos de las colecciones en un formato electrónico, incluyendo una imagen de alta calidad (Thiers *et al.* 2016). En el proceso se emplearon equipos de primera generación dispuestos, entre ellos, escáneres específicos o cámaras digitales, y se desarrollaron bases de datos y protocolos especializados en la administración de información biológica. En este sentido, en México, el Herbario Nacional (MEXU) del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, fue la primera institución en dedicarse a esta tarea (Universidad Nacional Autónoma de México 2025).

En los últimos años, los precios de las cámaras digitales se han vuelto más accesibles, favoreciendo que instituciones con herbarios regionales o locales puedan adquirir este tipo de equipo. Además, existen diversas iniciativas que dan acceso a repositorios virtuales para la exploración y, sobre todo, publicación de colecciones científicas que en conjunto resguardan una inmensa cantidad de ejemplares. Entre ellos se encuentra la Red de Herbarios Mexicanos (RHM; Red de Herbarios Mexicanos 2025), que es parte de la Red de Portales SEINet, quienes administran más de 24 millones de registros de aproximadamente 456 colecciones (SEINet Portal Network 2025).

## La experiencia de digitalización de un herbario local –Herbario CITRO–

El Herbario CITRO, del Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana, es una colección reciente que se fundó en el año 2009 (Castro-Cortés & Krömer 2024). En la actualidad, este cuenta con aproximadamente 2,000 ejemplares, todos ellos ya digitalizados y siendo anexados progresivamente a la RHM (Fig. 2). Esta iniciativa surgió a partir de la Reunión Nacional de Herbarios de México en el 2023, donde se expusieron algunas opciones de digitalización asequibles con el fin de ampliar

## La importancia de los herbarios en la era digital

el acceso público a los especímenes herborizados a un mayor número de usuarios. El proceso de digitalización consta de dos procedimientos: 1) la captura de imágenes digitales, y 2) el almacenamiento ordenado de estas con su respectiva información de campo en la base de datos de la colección científica del CITRO, Herbarium.D (Fig. 3). Esto facilita su exportación a la RHM, la cual comparte la información mediante Symbiota, una plataforma digital para la administración de datos relacionados con la biodiversidad (Symbiota 2025).

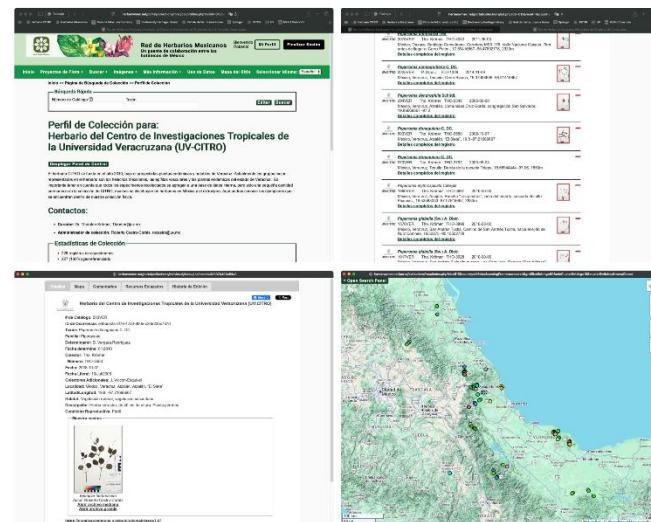


Figura 2. Perfil asignado al Herbario CITRO en el portal de la Red de Herbarios Mexicanos. Las fotografías de los especímenes y la información asociada se visualizan de distintas formas generadas automáticamente (Screenshot: Roberto Castro-Cortés).

En el Herbario CITRO, el equipo para la digitalización de ejemplares consta de una cámara de luz, trípode y cámara fotográfica digital de 24 megapíxeles con objetivo 50 mm f 1.8 (Fig. 4), un equipo de un costo accesible cercano a los \$25,000 MXN (\$1,350 USD). La cámara se enlaza a un equipo de cómputo básico mediante un cable USB, donde ocurre la captura directa de fotografías, la edición básica de las imágenes, la organización de la información y exportación de todo el conjunto de datos al portal de la RHM en internet. También se cuenta con un sistema de respaldo (DVD y disco duro externo). La cámara de luz facilita colocar ejemplares vivos o herborizados y permite un control de la calidad de la iluminación. Una vez ajustado ese parámetro, desde el equipo de

## Desde el Herbario CICY

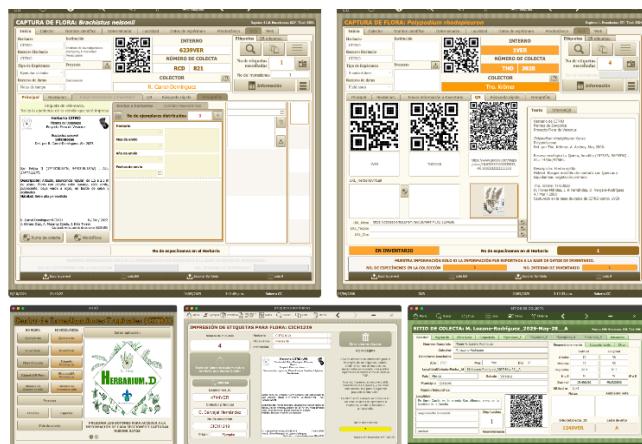


Figura 3. Herbarium.D, aplicación del Herbario CITRO donde se llevan los registros de campo de los ejemplares y la colección (Screenshot: Roberto Castro-Cortés).

de cómputo se establecen valores fijos para el ISO (sensibilidad del sensor de la cámara a la luz), la apertura y la velocidad de obturación. Desde el mismo equipo se realiza la captura de las fotografías en formato RAW, término en inglés (crudo) que hace referencia a un archivo que almacena toda la información capturada por el sensor de la cámara, sin procesar, ni compresión y sin ajuste en color y contrastes, por lo que la fotografía se observa oscura o con colores tendiendo a tonalidades cálidas, frías o grisáceas. Debido a ello y con el propósito de no alterar la percepción visual, ni la interpretación, así como el realismo de la imagen, se hacen los ajustes básicos de color previos a su exportación, también se eliminan los espacios innecesarios y se establecen la resolución a 300 píxeles por pulgada (ppp) para que la imagen sea nítida, y finalmente se exportan en formato JPG para su uso en internet. Lo anterior, se facilita con las automatizaciones que permiten la herramienta de código abierto Darktable, una aplicación diseñada para el revelado y la gestión de imágenes RAW.

El registro de información de campo se gestiona en la base de datos de Herbarium.D, y se exporta en formato de texto plano. Posteriormente, se importa dentro del perfil asignado en la RHM, donde cada ficha de un ejemplar se anexa con su fotografía, usando el mismo número catálogo establecido en

## La importancia de los herbarios en la era digital



Figura 4. Equipo para la digitalización de ejemplares de herbario: computadora, cámara de luz, trípode y cámara fotográfica digital (Fotografía: Roberto Castro-Cortés).

la base de datos. Una última verificación ocurre al colocar la dirección web de la información de cada ejemplar en Herbarium.D. Todo el proceso se respalda periódicamente.

## Conclusión

La digitalización de los ejemplares de herbario permite un acceso rápido, fácil y menos costoso a millones de especímenes. Entre otras cosas, esto facilita obtener un mayor número de registros de una especie de interés, evita la necesidad de realizar viajes costosos y hace posible acceder a información de especies raras o incluso extintas. La digitalización de las colecciones científicas ha abierto nuevas posibilidades de investigación y educación que en el pasado eran inviables debido a la limitada accesibilidad a los datos biológicos. Los avances tecnológicos han permitido que colecciones locales, como el Herbario CITRO, comiencen a digitalizar su material. Como se ha explicado, el equipo empleado no es excesivamente costoso y, con conocimientos básicos de fotografía e informática, es posible iniciar este proceso. Por ello, incentivamos a más curadores de herbario a sumarse a esta iniciativa. Si tienen dudas o inquietudes específicas, los invitamos a contactarnos y con gusto les ofreceremos más información detallada.

### Referencias

- Barrera-Catalán E., Herrera-Castro N.D., Blancas Calva E. 2022. Herbario UAGC: Una aportación al conocimiento biológico y cultural de la flora del estado de Guerrero. *Tlamatí sabiduría* (13): 100-108.  
[https://tlamatí.uagro.mx/images/Archivos/Tlamati\\_Vol\\_13\\_2022/Barrera-Catalán\\_et\\_al\\_2022.pdf](https://tlamatí.uagro.mx/images/Archivos/Tlamati_Vol_13_2022/Barrera-Catalán_et_al_2022.pdf)
- Bebber D.P., Carine M.A., Wood J.R.I., Wortley A.H., Harris D.J., Prance G.T., Davidse G., Paige J., Pennington T.D., Robson N.K.B., Scotland R.W. 2010. Herbaria are a major frontier for species discovery. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(51): 22169-22171.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1011841108>
- Botanischer Garten Berlin. 2025. General Herbarium.  
<https://www.bgbm.org/en/herbarium/general-herbarium> (consultado: 3 de junio 2025).
- Castro-Cortés R., Krömer T. 2024. El Herbario CITRO: sus aportaciones a lo largo de una década y media de existencia. *Conservationem & Naturae. Revista del Cuerpo Académico UVCA345 “Conservación Biológica”* 4(1): 7-17.  
[https://www.researchgate.net/publication/385943289\\_El\\_Herbario\\_CITRO\\_sus\\_aportaciones\\_a\\_lo\\_largo\\_de\\_una\\_decada\\_y\\_media\\_de\\_existencia](https://www.researchgate.net/publication/385943289_El_Herbario_CITRO_sus_aportaciones_a_lo_largo_de_una_decada_y_media_de_existencia)
- Châteaureynaud M.-A., Figeac-Monthu M., Piot C. 2024. El herbario entre botánica y lenguas: experiencias escolares. Cabás: Revista Internacional sobre Patrimonio Histórico-Educativo (31): 221-231.  
<https://doi.org/10.1387/cabas.26155>
- Cruz A. 2017. Humboldt en México, la mirada del explorador. Documental.  
<https://www.youtube.com/watch?reload=9&app=desktop&v=l59Bqlcj46Q> (consultado: 11 de julio 2025).
- Davis C.C. 2023. The herbarium of the future. *Trends in Ecology and Evolution* 38(5): 412-423.  
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.11.015>

### La importancia de los herbarios en la era digital

- Davis C.C., Ellison A.M. 2018. The brave new world of the digital herbarium. *Revista. Harvard Review of Latin America* 18(1): 8-11.  
<https://revista.drclas.harvard.edu/the-brave-new-world-of-the-digital-herbarium/>
- Lozoya X. 1984. *Plantas y luces en México. La real expedición científica a Nueva España (1787-1803)*. Ediciones del Serbal, Barcelona, España. 224 pp.
- Muséum National d'Histoire Naturelle. 2025. Muséum National d'Histoire Naturelle,  
<https://www.mnhn.fr/en/botany-collections> (consultado: 3 de junio 2025).
- Red de Herbarios Mexicanos. 2025. Red de Herbarios Mexicanos.  
<https://herbanwmex.net/portal/collections/index.php> (consultado: 3 de junio 2025).
- Romoleroux K. 2010. El impacto de Humboldt en la botánica y fitogeografía del Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas* 31(1 y 2): 114-117.
- Rzedowski J., Calderón de Rzedowski G., Butanda A. 2009. *Los principales colectores de plantas activos en México entre 1700 y 1930*. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán, México. 144 pp.
- Sarmiento-Parra F., Carbón de la Hoz E. 2020. Los herbarios: una historia. *Boletín Cultural y Bibliográfico* 55(20): 5-17.
- SEINet Portal Network. 2025. SEINet Arizona-New Mexico Chapter.  
<https://swbiodiversity.org/seinet/> (consultado: 3 de junio 2025).
- Smithsonian Institution. 2025. Smithsonian National Museum of Natural History. Search the Department of Botany Collections.  
<https://collections.nmnh.si.edu/search/botany/> (consultado: 3 de junio 2025).
- Soltis P.S. 2017. Digitalization of herbaria enables novel research. *American Journal of Botany* 104(9): 1281-1284.  
<https://doi.org/10.3732/ajb.1700281>



## Desde el Herbario CICY

**Suárez-Mota M.E., Villaseñor J.L. 2011.** Las compuestas endémicas de Oaxaca: diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 88: 55-66.  
<https://doi.org/10.17129/botsci.308>

**Symbiota.** 2025. Symbiota. Open-Source Biodiversity Data Management Software.  
<https://symbiota.org/> (consultado: 3 de junio 2025).

**Thiers B.M. 2025.** The World's Herbaria 2024: A Summary Report Based on Data from Index Herbariorum.  
[https://sweetgum.nybg.org/science/wp-content/uploads/2025/01/The\\_World\\_Herbaria\\_2024-.pdf](https://sweetgum.nybg.org/science/wp-content/uploads/2025/01/The_World_Herbaria_2024-.pdf) (consultado: 2 de junio 2025).

## La importancia de los herbarios en la era digital

**Thiers B.M., Tulig M.C., Watson K.A. 2016.** Digitalization of The New York Botanical Garden Herbarium. *Brittonia* 68(3): 324-333.  
<https://doi.org/10.1007/s12228-016-9423-7>

**Universidad Nacional Autónoma de México. 2025.** Portal de Datos Abiertos UNAM. Colecciones Universitarias.  
<https://datosabiertos.unam.mx/> (consultado: 3 de junio 2025).



# Hongos microscópicos en los folíolos del tinto *(Haematoxylum campechianum)*

Manuel Antonio García-García\*, Ma. Guadalupe Rivas-Acuña, Pedro Javier Pérez Silván y Silvia Cappello García

Laboratorio de Micología. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas km. 0.5, entronque a Bosques de Saloya, 86150, Villahermosa, Tabasco, México.

\*manuelito22\_77@hotmail.com

## Resumen

Los hongos microscópicos participan activamente en la descomposición de materia vegetal y en el reciclaje de nutrientes. En este artículo documentamos la presencia de estos organismos en folíolos de *Haematoxylum campechianum* (tinto), una especie característica de zonas inundables del sureste de México. El estudio muestra la diversidad de micromicetos asociados a esta especie arbórea, destacando su importancia ecológica.

**Palabras clave:** Diversidad fúngica, reciclaje de nutrientes, tintal.

## El árbol de tinto como fuente de estudio

El tinto (*Haematoxylum campechianum* L.) forma asociaciones vegetales que prosperan en suelos arcillosos de zonas bajas, propensos a inundaciones periódicas o permanentes, como es el caso de la vegetación secundaria ubicada en la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT (DACBiol)

(Fig. 1), donde esta especie es emblemática y forma una comunidad llamada tintal.



**Figura 1.** Área de la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT (DACBiol). (Fotografía: Neil Morales Rodríguez).

El área se mantiene húmeda durante la mayor parte del año, lo que crea un hábitat propicio para el establecimiento de hongos microscópicos. Asimismo,



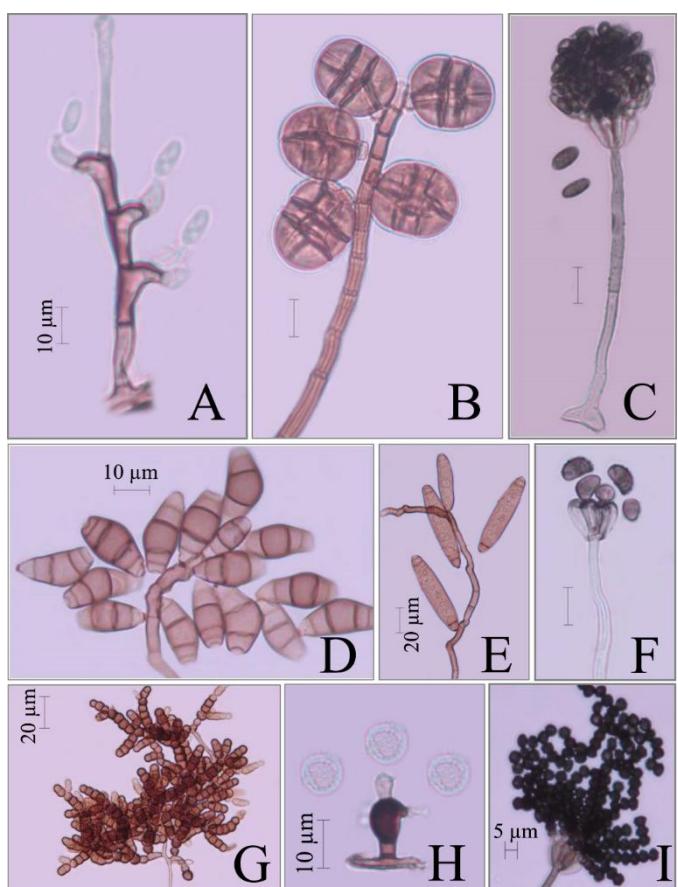
las hojas del tinto contienen moléculas de fácil degradación, como celulosa, lignocelulosa y lignina, lo que favorece la colonización de microhongos (Schinner & Sonnleitner 1996), los cuales las invaden desde las primeras etapas de desarrollo hasta su degradación en el suelo (Subramanian 1983). Cabe resaltar que *H. campechianum* es un árbol que alcanza hasta 15 metros de altura, con un follaje perenne y hojas dispuestas en espiral, compuestas por hasta cuatro pares de foliolos (Fig. 2). Estos atributos lo convierten en una fuente importante para el establecimiento de diversos organismos, incluidos los hongos (Pennington & Sarukhán 2005). Está demostrado que, independientemente del tamaño de la muestra, incluso en un pequeño fragmento de materia orgánica, puede encontrarse una gran variedad de estos organismos (Becerra *et al.* 2007).



**Figura 2.** Tinto (*Haematoxylum campechianum* L.). A. Árbol. B. Hojas con foliolos. (Fotografías: Pedro Javier Pérez Silván y Manuel Antonio García García).

### Microhongos del tinto

Mediante técnicas convencionales se examinaron numerosos folíolos del tinto, de donde se extrajeron distintos ejemplares de micromicetos. Con la ayuda de literatura especializada se determinó la taxonomía de los organismos observados (Ellis 1971; Matsushima 1993; Mercado-Sierra *et al.* 1997). El listado de especies presentes (Tabla 1) reveló que los folíolos del tinto albergan una amplia diversidad de organismos fúngicos (Figs. 3, 4 y 5), incluyendo casos en los que varias especies coexisten en un mismo folíolo.



**Figura 3.** Organismos fúngicos en el tinto. A. *Zygosprium masonii* S. Hughes. B. *Junewangia globulosa* (Tóth) WA Baker & Morgan-Jones. C. *Stachybotrys chartarum* (Ehrenb.) S. Hughes. D. *Curvularia senegalensis* (Speg.) Subram. E. *Exserohilum rostrata* (Drechsler) KJ Leonard & Suggs. F. *Stachybotrys nephrosporus* Hansf. G. *Torula herbarum* (Pers.) Link. H. *Zygosprium gibbum* S. Hughes. I. *Brevistachys subsimplex* (Cooke) L. Lombard & Crous. (Fotografías: Manuel Antonio García García y Silvia Cappello).

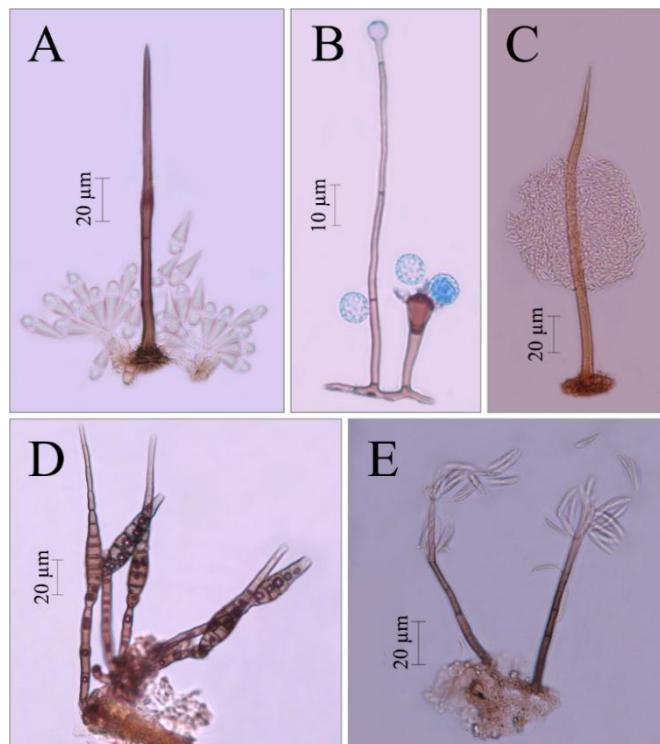


Tabla 1. Especies asociadas a los foliolos del árbol de tinto. Clasificación del Index Fungorum 2025.

Orden	Familia	Especie
<b>AMPHISPHAERIALES</b>	<b>Amphisphaeriaceae</b>	<i>Beltraniella portoricensis</i> (F Stevens) Piroz. & SD Patil
	<b>Pestalotiopsidaceae</b>	<i>Pestalotiopsis maculans</i> (Corda) Nag Raj
<b>CAPNODIALES</b>	<b>Capnodiaceae</b>	<i>Tripospermum myrti</i> (Lind) S Hughes
<b>CHAETOSPHAERIALES</b>	<b>Chaetosphaeriaceae</b>	<i>Tainosphaeria simplex</i> (S Hughes & WB Kendr.) Réblová & Hern.-Restr.
		<i>Thozetella cubensis</i> RF Castañeda & GRW Arnold
		<i>Thozetella havanensis</i> RF Castañeda
<b>CLADOSPORIALES</b>	<b>Cladosporiaceae</b>	<i>Cladosporium oxysporum</i> Berk. & MA Curtis
<b>GLOMERELLALES</b>	<b>Glomerellaceae</b>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.) Penz. & Sacc.
<b>HYPOCREALES</b>	<b>Nectriaceae</b>	<i>Calonectria morganii</i> Crous, Alfenas & MJ Wingf.
		<i>Chaetopsina fulva</i> Rambelli
		<i>Chaetopsina romántica</i> Rambelli & Lunghini
		<i>Volutellonectria consors</i> (Ellis & Everh.) J Luo, XM Zhang & WY Zhuang
		<i>Brevistachys subsimplex</i> (Cooke) L Lombard & Crous
<b>STACHYBOTRYALES</b>	<b>Stachybotryaceae</b>	<i>Stachybotrys chartarum</i> (Ehrenb.) S Hughes
		<i>Stachybotrys nephrosporus</i> Hansf.
		<i>Incertae sedis</i> <i>Gliomastix musicola</i> (Speg.) CH Dickinson
<b>MICROASCALES</b>	<b>Microascaceae</b>	<i>Graphium penicilliodes</i> Corda
<b>PARASYMPODIELLALES</b>	<b>Parasymподиеллаles</b>	<i>Parasymподiella laxa</i> (Subram. & Vittal) Ponnappa
<b>PLEOSPORALES</b>	<b>Dictyosporiaceae</b>	<i>Dictyosporium subramanianii</i> B Sutton
		<i>Didymellaceae</i> <i>Phoma sp</i> Sacc.
		<i>Pleosporaceae</i> <i>Alternaria longipes</i> (Ellis & Everh.) EW Mason
		<i>Alternaria alternariae</i> (Cooke) Woudenb. & Crous
		<i>Curvularia senegalensis</i> (Speg.) Subram.
<b>SORDRIALES</b>	<b>Tetraplosphaeriaceae</b>	<i>Exserohilum rostrata</i> (Drechsler) KJ Leonard & Suggs
		<i>Tetraploa aristata</i> Berk. & Broome
		<i>Torulaceae</i> <i>Torula herbarum</i> (Pers.) Link
		<i>Beltraniaceae</i> <i>Beltrania rhombica</i> Penz.
		<i>Beltrania onirica</i> Lunghini
<b>TUBEUFIALES</b>	<b>Tubeufiaceae</b>	<i>Helicosporium lumbricopsis</i> Linder
<b>XYLARIALES</b>	<b>Cainiaceae</b>	<i>Vesiculozygosporium echinosporum</i> (Bunting & EW Mason) Crous
		<i>Microdochiaeae</i> <i>Idriella acerosa</i> RF Castañeda & WB Kendr.
		<i>Idriella mycogonoidea</i> Matsush.
		<i>Zygosporiaceae</i> <i>Zygosporium gibbum</i> (Sacc., M Rousseau & E Bommer) S Hughes
		<i>Zygosporium masonii</i> S Hughes
<b>WIESNERIOMYCETALES</b>	<b>Wiesneriomycetaceae</b>	<i>Wiesneriomycetes laurinus</i> (Tassi) PM Kirk
<i>Incertae sedis</i>	<i>Incertae sedis</i>	<i>Penzigomyces flagellatus</i> (S Hughes) Subram.
		<i>Gonatobotryum apiculatum</i> (Peck) S Hughes
		<i>Vermiculariopsis microsperma</i> (Höhn.) Hern.-Restr. & Crous
		<i>Junewangia globulosa</i> (Tóth) WA Baker & Morgan-Jones
		<i>Repetophragma filiferum</i> (Piroz.) RF Castañeda, Gusmão & Heredia



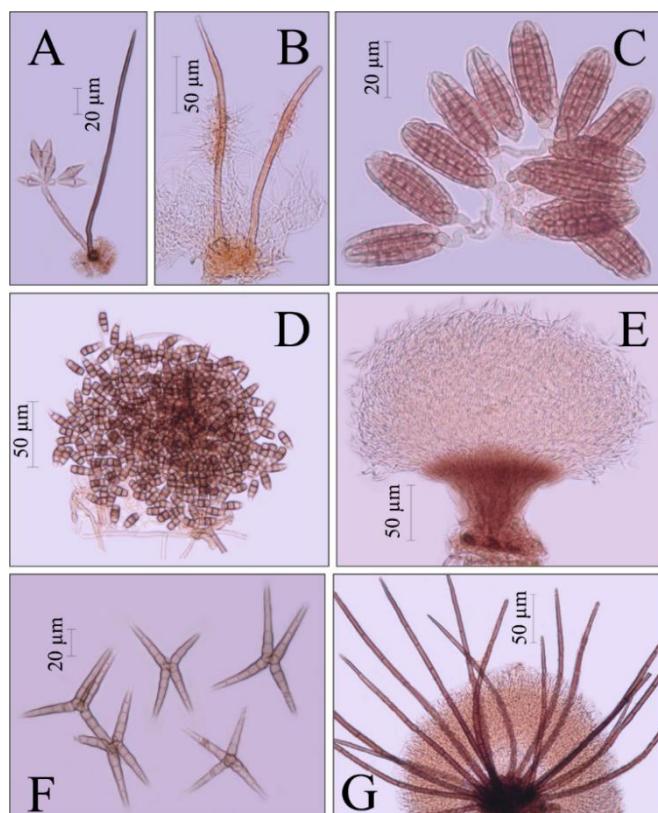
La mayoría de los hongos observados presentan estructuras pigmentadas, y en muchos casos, estructuras setosas (Fig. 4). La pigmentación les permite resistir condiciones adversas del medio, como baja humedad, exposición a luz ultravioleta y desecación (Hering 1965). Las setas fúngicas proporcionan protección a estructuras reproductivas como conidóforos y células conidiógenas (Pirozynski & Patil 1970). Entre los géneros más representativos se encontraron *Zygosporium* Mont, *Beltrania* Penz, *Chaetopsina* Rambelli, *Idriella* Nelson & Wilh, y *Thozetella* Kuntze, cada uno con dos especies distintas. Estos hallazgos confirman que los micromicetos crecen con frecuencia sobre restos vegetales (Becerra *et al.* 2007; García-García *et al.* 2013).



**Figura 4.** Organismos fúngicos en el tinto con estructuras setosas. A. *Beltraniella portoricensis* (F. Stevens) Piroz. & SD Patil. B. *Vesiculozygosprium echinosporum* (Bunting & E.W. Mason) Crous. C. *Chaetopsina fulva* Rambelli. D. *Penzigomyces flagellatus* (S. Hughes) Subram. E. *Tainosphaeria simplex* (S. Hughes & WB Kendr.) Réblová & Hern.-Restr. (Fotografías: Manuel Antonio García García y Silvia Cappello).

## Hongos microscópicos en los foliolos del tinto

En regiones tropicales es común registrar una amplia diversidad de estructuras fúngicas (Osono *et al.* 2009), ya que las condiciones climáticas favorecen el desarrollo de esporóforos, estructuras encargadas de la producción y liberación de esporas sexuales o asexuales.



**Figura 5.** Microhongos en el tinto. A. *Beltrania rhombica* Penz. B. *Chaetopsina romántica* Rambelli & Lunghini. C. *Dicytiosporium subramanianii* B. Sutton. D. *Pestalotiopsis maculans* (Corda) Nag Raj. E. *Thozetella cubensis* RF Castañeda & GRW Arnold. F. *Tripospermum myrti* (Lind) S. Hughes. G. *Wiesneromyces laurinus* (Tassi) PM Kirk. (Fotografías: Manuel Antonio García García y Silvia Cappello).

## Importancia del estudio de los microhongos

Los hongos microscópicos cumplen un papel esencial en el equilibrio de los ecosistemas naturales, gracias a su capacidad para degradar compuestos complejos como celulosa, quitina y almidón, mediante la producción de enzimas especializadas. Estas enzimas y metabolitos han sido aprovechados en diversas aplicacio-

## Desde el Herbario CICY

nes, como la industria alimentaria (quesos, panes, cervezas, vinos), textil y papelera, así como en los sectores agrícolas (biofertilizantes, bioplaguicidas, bioherbicidas) y farmacéutico. En el ámbito médico, los metabolitos secundarios producidos por hongos han demostrado un gran potencial. Ejemplos destacados son la penicilina de *Penicillium chrysogenum* Thom (antibótico), la ciclosporina de *Tolypocladium inflatum* W. Gams (inmunosupresor usado en trasplantes) y la lovastatina de *Aspergillus terreus* Thom (reductor de colesterol). Además, especies del género *Stachybotrys* Corda, como *S. chartarum* (Ehrenb.) S. Hughes, han mostrado eficacia como agentes antivirales (Esheli *et al.* 2022). Aunque detallar cada aplicación supera el alcance de este artículo, es evidente que los hongos ofrecen una amplia gama de beneficios para la salud humana, incluyendo propiedades antitumorales, cardiovasculares, antimicrobianas y neuroactivas (Heredia *et al.* 2008; Esheli *et al.* 2022). Este potencial sólo puede aprovecharse mediante un conocimiento profundo de la diversidad fúngica presente en distintos ecosistemas.

## Conclusiones

Aunque no son perceptibles a simple vista, los hongos microscópicos desempeñan funciones clave en la degradación de la materia orgánica, lo que permite el reciclaje de nutrientes esenciales para otras especies. Cualquier fragmento vegetal representa un hábitat propicio para su desarrollo, especialmente en el caso del árbol de tinto, cuyos folíolos perennes y abundantes ofrecen una base ideal para su colonización. La diversidad de especies fúngicas asociadas a esta planta podría incrementarse mediante una exploración más exhaustiva. Lo observado hasta ahora representa apenas una fracción de la diversidad microscópica, la cual debería integrarse en estrategias de conservación para evitar la pérdida de especies aún no descritas y para evaluar su potencial en distintas áreas del conocimiento.

## Referencias

Becerra Hernández C.I., Heredia Abarca G., Arias Mota R.M. 2007. Contribución al conocimiento de los

## Hongos microscópicos en los foliolos del tinto

- hongos anamorfos saprobios del Estado de Tabasco. II. *Revista Mexicana de Micología* 24: 39-53.  
<https://scientiafungorum.org.mx/index.php/micologia/article/view/991>
- Ellis M.B. 1971. *Dematiaceous Hyphomycetes*. Commonwealth Mycological Institute. Kew. 607 pp.
- Esheli M., Thissera B., El-Seedi H.R., Rateb M.E. 2022. Fungal Metabolites in Human Health and Diseases—An Overview. *Encyclopedia* 2(3): 1590–1601.  
<https://doi.org/10.3390/encyclopedia2030108>
- García-García M.A., Heredia A.G., Cappello G.S., Rosique-Gil E. 2013. Analysis of the sporulating microfungal community in decomposing fallen leaves of *Rinorea guatemalensis* (Wats.) Bartlett (Malpighiales, Violaceae) in a Mexican rainforest. *Cryptogamie, Mycologie* 34(2): 99-111.  
<https://doi.org/10.7872/crym.v34.iss2.2013.99>
- Heredia A.G., Castañeda R.F., Cappello G.S. 2008. Biología e importancia de los hongos microscópicos filamentosos. En: Heredia, A.G. Eds. *Tópicos sobre diversidad, ecología y usos de los hongos microscópicos en Iberoamérica*, pp. 6-26. Instituto de Ecología, Veracruz, México.
- Hering T.F. 1965. The succession of fungi in the litter of a lake district oakwood. *Transactions of the British Mycological Society* 48(3): 391–408.  
[https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(65\)80060-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(65)80060-2)
- Matsushima T. 1993. *Matsushima Mycological Memories No. 7*. Published by the author. Kobe. 75 pp.
- Mercado-Sierra A., Holubová-Jechová V., Mena-Portales J. 1997. *Hifomicetos dematiáceos de Cuba, Enterooblásticos*. Monograie XXIII. Museo Regionale di Scienze Naturali. Torino. 388 pp.
- Osorno T., Ishii Y., Takeda H., Seramethakun T., Khamyong S., To-Anun C., Hirose D., Tokumasu S., Kakishima M. 2009. Fungal succession and lignin decomposition on *Shorea obtusa* leaves in a tropical seasonal forest in northern Thailand. *Fungal Divers.* 36: 101-119.
- Pennington R.D., Sarukhán J. 2005. *Árboles tropicales de México. Manual de Identificación para las Principales especies*. UNAM, FCE, 3ra ed. México D. F. 413 pp.



**Pirozynski K.A., Patil S.D. 1970** Some setose Hyphomycetes of leaf litter in south India. *Canadian Journal of Botany* 48:567–581.  
<https://doi.org/10.1139/b70-079>

**Schinner F., Sonnleitner R. 1996.** *Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik*. Springer, Berlin, Germany. 450 pp.

**Subramanian C.V. 1983.** *Hyphomycetes. Taxonomy and Biology*. Academic press. 450 pp.



# Microalgas: Pequeños organismos, grandes impactos

Marta Guadalupe Lizama Gasca, Santy Peraza Echeverría, Sandy Giselle Reyes Solian y  
Virginia Aurora Herrera Valencia\*

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

\*[vicky@cicy.mx](mailto:vicky@cicy.mx); [virgiauhv@gmail.com](mailto:virgiauhv@gmail.com)

## Resumen

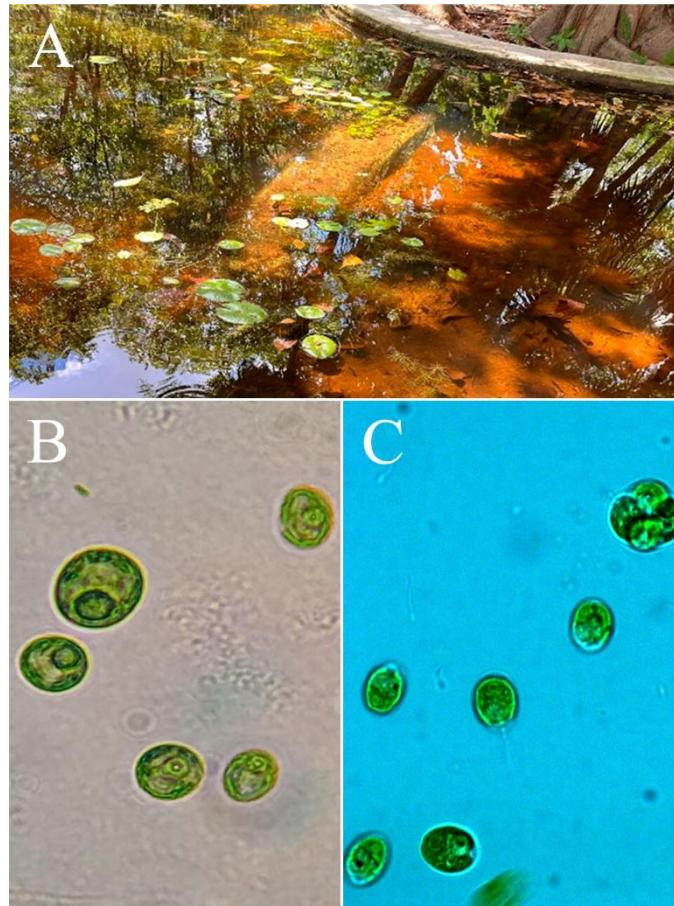
Las microalgas, organismos unicelulares fotosintéticos, desempeñan un papel crucial en los ecosistemas acuáticos, fijando el 50 % del CO<sub>2</sub> atmosférico y contribuyendo a los ciclos biogeoquímicos. Recientemente, se descubrió su importancia como indicadores de contaminación por microplásticos. Además, las microalgas, incluyendo *Chlamydomonas reinhardtii*, muestran potencial en el tratamiento de aguas residuales, removiendo contaminantes y produciendo valiosos metabolitos para diversas industrias. En *C. reinhardtii* se pueden producir proteínas recombinantes, de uso en investigación, y aplicaciones que van desde aditivos alimenticios hasta posibles vacunas contra enfermedades como el COVID-19. El estudio de estas microalgas promete descubrimientos y beneficios futuros aún mayores.

**Palabras clave:** Organismos unicelulares fotosintéticos, metabolitos, proteínas recombinantes.

¿Alguna vez te has preguntado qué es esa capa verde que aparece en las paredes internas del estanque, en el fondo del plato de agua de tu mascota o en una botella plástica olvidada al sol? Si tomamos una muestra y la observamos al microscopio, probablemente descubramos que se trata de microalgas (Fig. 1). Estos diminutos organismos unicelulares fotosintéticos habitan en una amplia variedad de ambientes acuáticos, desde lagos y ríos hasta ecosistemas marinos y zonas nevadas. Su importancia ecológica es fundamental, ya que se estima que las microalgas son responsables de la fijación de aproximadamente el 50 % del CO<sub>2</sub> atmosférico, desempeñando un papel crucial en la regulación del clima global (Prasad *et al.* 2021). En este sentido, las microalgas actúan como productores primarios en los ecosistemas acuáticos, lo que significa que son la base de la cadena alimentaria al convertir la energía solar en biomasa; además, influyen en la estructura y función de estos ecosistemas y son esenciales en la producción de oxígeno, así como en los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y el fósforo (Yaakob *et al.* 2021).



Las microalgas también pueden ser aprovechadas de varias formas, algunas de las cuales tal vez no te habrías imaginado. A continuación, te comentamos algunas de las áreas en las que las microalgas están siendo utilizadas para mejorar nuestra calidad de vida y cuidar el ambiente.



**Figura 1.** Las microalgas verdes se pueden encontrar en ambientes acuáticos con iluminación. **A.** Estanque en el que crecen microalgas. **B.** *Chlorella saccharophila* (Krüger). **C.** *Chlamydomonas reinhardtii* P.A. Dangeard. (Fotografías: **A.** Marta Guadalupe Lizama Gasca. **B-C.** Felipe Alonso Barredo Pool).

## Microalgas en el tratamiento de aguas residuales

En los últimos años, se ha prestado mayor atención al uso de microalgas en el tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad para remover contaminantes orgánicos e inorgánicos, como nitrógeno, fósforo, metales pesados y compuestos farmacéuticos. Por ejemplo, especies como *Chlamydomonas rein-*

*hardtii* P.A. Dangeard, *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing, *Chlorella pyrenoidosa* Chick y *Chlorella vulgaris* Beijerinck, han demostrado su capacidad para remover simultáneamente fósforo, nitrógeno, iones metálicos y compuestos orgánicos en aguas residuales (Zhou *et al.* 2014). Por su parte, *C. reinhardtii* es capaz de realizar lo que se conoce como "consumo de fósforo de lujo", es decir, consume más fósforo del necesario para su crecimiento inmediato. Además, gracias a su rápido crecimiento, su capacidad para aprovechar los nutrientes presentes en las aguas residuales y su eficiente acumulación de biomasa, esta especie se perfila como una candidata idónea para el tratamiento de aguas residuales, tanto en la remoción como en la recuperación de fósforo (Wang *et al.* 2023). Asimismo, se ha demostrado su capacidad para remover del agua productos farmacéuticos, incluyendo antibióticos como la ciprofloxacina y la sulfadiazina, así como diclofenaco, el cual es un medicamento antiinflamatorio no esteroideo que representa una preocupación emergente de contaminación en ambientes acuáticos (Xie *et al.* 2020, Liakh *et al.* 2023).

## Microalgas, una fuente de compuestos bioactivos

Además de su papel en los ecosistemas acuáticos, las microalgas son una fuente rica y diversa de metabolitos primarios y secundarios que tienen aplicaciones en diversas industrias, como la alimentaria, cosmética, farmacéutica y nutracéutica. Entre los productos bioactivos más valiosos de las microalgas se encuentran el β-caroteno (precursor de la vitamina A), otras vitaminas, aminoácidos, proteínas, compuestos antibacterianos y antifúngicos. Especies como *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco y *Chlorella vulgaris* Beijerinck, han sido estudiadas por su capacidad para sintetizar estos compuestos, lo que ha llevado a considerar a estas microalgas como "biofábricas verdes" para la obtención de biomasa y metabolitos de interés para la sociedad (Becker 2007, Pulz & Gross 2004, Khan *et al.* 2018).



## *Chlamydomonas reinhardtii*, un organismo modelo en ciencias biológicas

Una de las microalgas verdes más estudiadas es *C. reinhardtii*, un organismo unicelular eucariota con dos flagelos que es fácil de cultivar en laboratorio. Desde su aislamiento en 1945 en Massachusetts, EE.UU., se ha caracterizado su ciclo de vida y se ha convertido en un modelo de estudio muy importante para la investigación científica en áreas como bioquímica, biología molecular y fisiología. Los temas de estudio incluyen fotosíntesis, biogénesis y motilidad de los flagelos, ciclos de apareamiento sexual, mecanismos de regulación por factores de estrés abióticos (e. g. salinidad, deficiencia de nutrientes), respiración, metabolismo del nitrógeno, azufre, fósforo, vías biosintéticas de clorofila, almidón, lípidos y carotenoides (Harris 2001, Sasso *et al.* 2018, Shetty *et al.* 2019, Li *et al.* 2020).

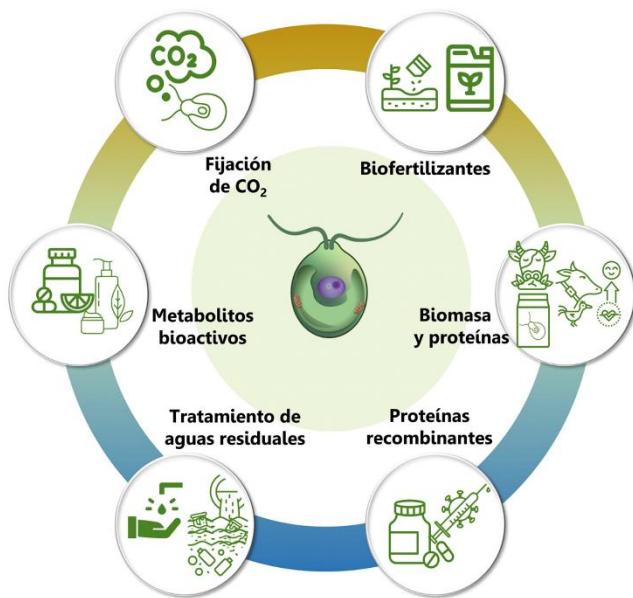
## Microalgas como bioindicadores de microplásticos en el agua

En años recientes, se ha identificado que las microalgas pueden verse afectadas por la presencia de microplásticos (partículas menores a 5 mm) en el agua. Estos microplásticos, compuestos por polímeros como polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), poliamida (PA) y polietilentereftalato (PET), han sido encontrados tanto en ambientes marinos como en ecosistemas de agua dulce como lagos y ríos, los cuales proporcionan agua para beber, regar y para uso industrial (Guilhermino *et al.* 2018, Yuan *et al.* 2019). La exposición a microplásticos puede causar efectos tóxicos sobre las microalgas, lo que las hace tener un gran potencial como indicadoras de la contaminación por microplásticos en los ecosistemas acuáticos (Zhao *et al.* 2019, Li *et al.* 2022), y de esta manera contribuir a combatir la contaminación ambiental y los riesgos a la salud.

## Microalgas para la producción de proteínas recombinantes

*Chlamydomonas reinhardtii* es el único organismo eucariota fotosintético en el que es posible la transformación génica de sus genomas de núcleo, cloroplasto y mitocondria, los cuales han sido secuenciados y se encuentran disponibles al público. Mediante transformación génica, se han logrado producir en *C. reinhardtii* diferentes tipos de proteínas recombinantes útiles tanto para investigación científica y con potencial aplicación en diversas industrias, como la alimentaria, textil, ganadera y de la salud. Para la producción de estas proteínas se utiliza la tecnología del DNA recombinante, la cual permite tomar un gen de un organismo y colocarlo en otro (llamado huésped); de esta forma, el nuevo organismo usa su propia maquinaria celular para producir la proteína que se desea obtener. Ejemplos de proteínas recombinantes producidas en esta microalga incluyen la xilanasa (utilizada en la producción de papel y textiles), la alfa-galactosidasa (importante como aditivo alimenticio para animales), la eritropoyetina (para el tratamiento de la anemia), la aloficolianina (contra el cáncer) e incluso anticuerpos como el 83K7C contra *Bacillus anthracis* Cohn, responsable de la enfermedad ántrax (Georgianna *et al.* 2013, Yusibov *et al.* 2016). En esta microalga también se ha estado estudiado la producción de la proteína espiga del virus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad COVID-19, para su uso como vacuna contra esta enfermedad (Berndt *et al.* 2021). Lo anterior destaca el potencial de *C. reinhardtii* en la biotecnología aplicada a la salud pública.

Además de las aplicaciones ya mencionadas, las microalgas también se emplean como biofertilizantes en agricultura sostenible, y su biomasa rica en proteínas puede ser utilizada como suplemento nutricional en la alimentación de humanos y en animales de granja (Fig. 2).



**Figura 2.** El cultivo de microalgas verdes ofrece diversos beneficios para la sociedad y el ambiente, como lo es *Chlamydomonas reinhardtii* P.A. Dangeard (Ilustración: Sandy Giselle Reyes Solian y Jorge Antonio Tzec Interián, con recursos de The Noun Project).

Así que, como puedes ver, es fascinante cómo organismos tan pequeños pueden ofrecer tantos y tan grandes beneficios. Sin duda, el estudio de las microalgas continuará revelando más sorpresas agradables y prometedoras para la ciencia, la sociedad y el ambiente.

## Referencias

- Becker E.W.** 2007. Micro-algae as a source of protein. *Biootechnology Advances* 25: 207-210. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- Berndt A., Smalley T., Ren B., Simkovsky R., Badary A., Sproles A.E., Fields F.J., Torres-Tiji Y., Heredia V., Mayfield S.P.** 2021. Recombinant production of a functional SARS-CoV-2 spike receptor binding domain in the green algae *Chlamydomonas reinhardtii*. *PLoS ONE* 16(11): e0257089. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257089>
- Georgianna D.R., Hannon M.J., Marcuschi M., Wu S., Botsch K., Lewis A., Hyun J., Mendez M.J., Mayfield S.P.** 2013. Production of recombinant enzymes in the marine alga *Dunaliella tertiolecta*. *Algal Research* 2(1): 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2012.10.004>

**Guilhermino L., Vieira L.R., Ribeiro D., Tavares A.S., Cardoso V., Alves A., Almeida J.M.** 2018. Uptake and effects of the antimicrobial florfenicol, microplastics and their mixtures on freshwater exotic invasive bivalve *Corbicula fluminea*. *Science of The Total Environment* 622-623: 1131-1142. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.020>

**Harris E.H.** 2001. *Chlamydomonas* as a model organism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 363-406. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.363>

**Khan M.I., Shin J.H., Kim J.D.** 2018. The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories* 17:36. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>

**Li S., Wang P., Zhang C., Zhou X., Yin Z., Hu T., Hu D., Liu C., Zhu L.** 2020. Influence of polystyrene microplastics on the growth, photosynthetic efficiency and aggregation of freshwater microalgae *Chlamydomonas reinhardtii*. *Science of the Total Environment* 714: 136767. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136767>

**Li Z., Dong S., Huang F., Lin L., Hu Z., Zheng Y.** 2022. Toxicological Effects of Microplastics and Sulfadiazine on the Microalgae *Chlamydomonas reinhardtii*. *Frontiers in Microbiology* 13: 865768. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.865768>

**Liakh I., Harshkova D., Hrouzek P., Bisová K., Aksmann A., Wielgomas B.** 2023. Green alga *Chlamydomonas reinhardtii* can effectively remove diclofenac from the water environment – A new perspective on biotransformation. *Journal of Hazardous Materials* 455: 131570. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131570>

**Prasad R., Gupta S.K., Shabnam N., Oliveira C.Y.B., Nema A.K., Ansari F.A., Bux F.** 2021. Role of microalgae in global CO<sub>2</sub> sequestration: physiological mechanism, recent development, challenges, and future prospective. *Sustainability* 13(23): 13061. <https://doi.org/10.3390/su132313061>

**Pulz O., Gross W. 2004.** Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology* 65: 635-648.

<https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>

**Sasso S., Stibor H., Mittag M., Grossman A.R. 2018.** From molecular manipulation of domesticated *Chlamydomonas reinhardtii* to survival in nature. *eLife* 7: e39233.

<https://doi.org/10.7554/eLife.39233>

**Shetty P., Gitau M.M., Maróti G. 2019.** Salinity Stress Responses and Adaptation Mechanisms in Eukaryotic Green Microalgae. *Cells* 8 (12): 1657.

<https://doi.org/10.3390/cells8121657>

**Wang L., Jia X., Xu L., Yu J., Ren S., Yang Y., Wang K., López-Arredondo D., Herrera-Estrella L., Lambers H., Yi K. 2023.** Engineering microalgae for water phosphorus recovery to close the phosphorus cycle. *Plant Biotechnology Journal* 21: 1373-1382.

<https://doi.org/10.1111/pbi.14040>

**Xie P., Chen C., Zhang C., Su G., Ren N., Ho S.-H. 2020.** Revealing the role of adsorption in ciprofloxacin and sulfadiazine elimination routes in microalgae. *Water Research* 172: 115475.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115475>

**Yaakob M.A., Mohamed R.M.S.R., Al-Gheethi A., Aswathnarayana Gokare R., Ambati R.R. 2021.** Influence of nitrogen and phosphorus on microalgal

growth, biomass, lipid, and fatty acid production: an overview. *Cells* 10(2): 393.

<https://doi.org/10.3390/cells10020393>

**Yuan W., Liu X., Wang W., Di M., Wang J. 2019.** Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 170: 180-187.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.126>

**Yusibov V., Kushnir N., Streatfield S.J. 2016.** Antibody production in plants and green algae. *Annual Review of Plant Biology* 67(1): 669-701.

<https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-111812>

**Zhao T., Tan L., Huang W., Wang J. 2019.** The interactions between micro polyvinyl chloride (mPVC) and marine dinoflagellate *Karenia mikimotoi*: The inhibition of growth, chlorophyll and photosynthetic efficiency. *Environmental Pollution* 247: 883-889.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.114>

**Zhou G.-J., Ying G.G., Liu S., Zhou L.J., Chen Z.-F., Peng F.-Q. 2014.** Simultaneous removal of inorganic and organic compounds in wastewater by freshwater green microalgae. *Environmental Science, Processes & Impacts* 16: 2108-2027.

<https://doi.org/10.1039/C4EM00094C>



# Modificando las rutas metabólicas por biología sintética

Laura Espinosa Barrera

\*lauespinosaba@gmail.com

## Resumen

La biología sintética y la ingeniería metabólica son disciplinas clave para optimizar la producción de metabolitos de interés biotecnológico. Mientras la ingeniería metabólica modifica rutas bioquímicas para mejorar la síntesis, la biología sintética complementa este enfoque al diseñar y analizar los procesos de producción. En este artículo se ejemplifica la obtención de artemisinina mediante biología sintética, un avance significativo en la producción de este compuesto con aplicaciones médicas. De hecho, la científica responsable del descubrimiento de la artemisinina en *Artemisia annua*, Youyou Tu, fue galardonada en 2015 con el Premio Nobel de medicina por su aporte.

**Palabras clave:** Artemisinina, biología sintética, ingeniería metabólica, metabolitos bioactivos

En la naturaleza los organismos regulan una serie de procesos esenciales para su desarrollo y funcionamiento. Uno de estos procesos es el metabo-

lismo, que se define como el conjunto de reacciones químicas que ocurren dentro de los organismos para que puedan crecer, reproducirse y sobrevivir (Shimizu 2013). En las plantas, el metabolismo puede dividirse en primario y secundario. El primero incluye los procesos relacionados con su crecimiento, desarrollo y reproducción; mientras que el metabolismo secundario se relaciona con las respuestas a factores que permiten su adaptación ante el estrés ambiental y a la defensa en contra de patógenos (Davies 2013).

El metabolismo secundario da lugar a compuestos conocidos como metabolitos secundarios, que poseen diversas actividades biológicas y aplicaciones en sectores como la industria farmacéutica, cosmética y agrícola, donde pueden actuar como insecticidas, antibióticos, y nutraceuticos (alimentos funcionales, etiquetados y probados científicamente, que provienen de fuentes naturales, como las vitaminas o aminoácidos) (Lee 2016). La comprensión de estos compuestos proviene del estudio de las rutas metabólicas, es decir, del análisis de los pasos que conducen a la síntesis química de

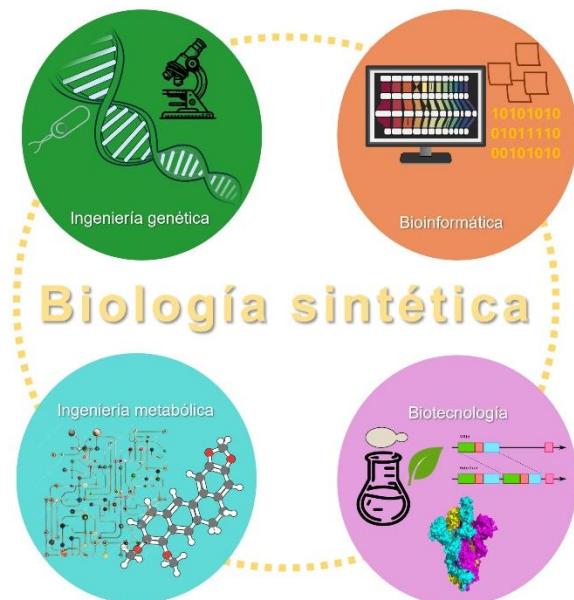


estos. En este contexto, la ingeniería metabólica permite ir un paso más allá: mediante el uso de técnicas de ADN recombinante, es decir, con técnicas que permiten la unión de ADN de diferentes fuentes para crear una nueva que no existe en la naturaleza. Estas técnicas permiten optimizar la producción de metabolitos, o incluso redirigir el metabolismo para la generación de compuestos que no se producen de forma natural en el organismo huésped. En pocas palabras, uno de los objetivos de la ingeniería metabólica es transformar organismos en sistemas o “fábricas” biológicas eficientes, capaces de mejorar la producción de un compuesto específico o incluso desarrollar uno completamente nuevo diseñadas para funciones concretas (Naseri & Koffas 2020).

La biología sintética, por su parte, contribuye al estudio y comprensión de las rutas metabólicas al permitir analizar y diseñar los procesos que intervienen en la síntesis de metabolitos secundarios, potenciando su producción y aplicación en distintas áreas (Cameron *et al.* 2014). Esta es una disciplina que integra el conocimiento de los componentes y funciones de los sistemas biológicos para optimizarlos y modificarlos. A través de enfoques como la bioinformática, la ingeniería genética, la ingeniería metabólica y la biotecnología, la biología sintética reorganiza o altera estos elementos con el objetivo de generar productos nuevos, como proteínas o metabolitos, algunos de los cuales no existen en la naturaleza.

En esencia, la biología sintética permite la modificación racional de sistemas biológicos mediante ingeniería. Esta disciplina surgió a partir del descubrimiento y estudio del ADN, lo que ha facilitado la comprensión de los genomas de diversos organismos y el desarrollo de herramientas computacionales capaces de predecir la función probable de organismos completos (Fig. 1), empleando diversas técnicas y metodologías para diseñar y crear sistemas biológicos sintéticos, ampliando así las posibilidades de manipulación al identificar y me-

jorar elementos genéticos clave por medio de programas que simulan la dinámica de los componentes del sistema (Cameron *et al.* 2014).



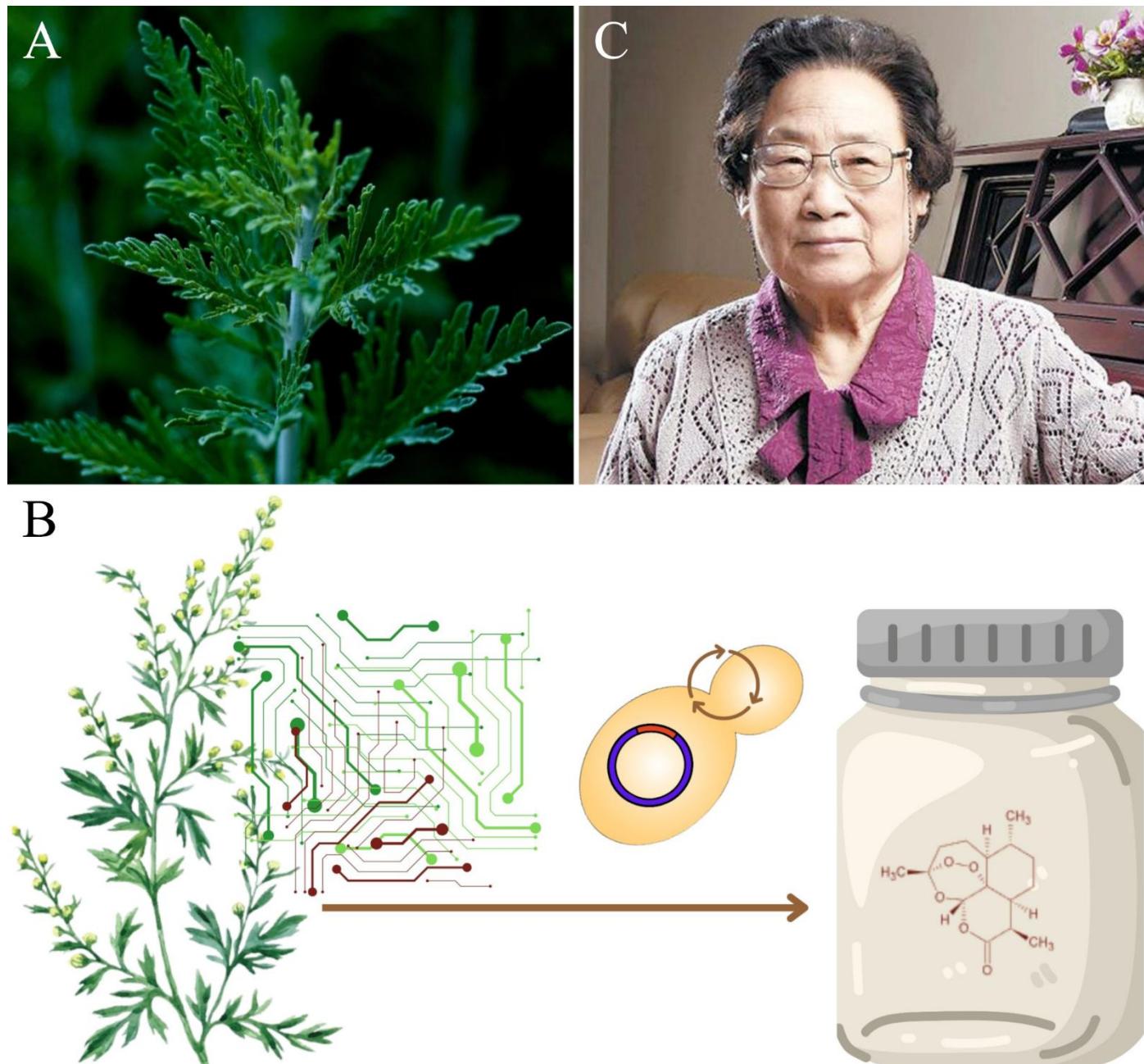
**Figura 1.** Diagrama simplificado sobre la biología sintética, disciplina que permite la modificación racional de sistemas biológicos mediante ingeniería genética, ingeniería metabólica, la bioinformática y la biotecnología, con el fin de obtener productos útiles para la sociedad, a través de una ruta de biosíntesis.

## Reprogramación de la ruta de la artemisinina para combatir la malaria

Una de las rutas metabólicas que ha sido optimizada mediante biología sintética es la obtención de un compuesto llamado artemisinina (Hale *et al.* 2007, White 2008). Para entender la importancia de este avance biotecnológico es necesario un poco de contexto. La malaria es una enfermedad que es causada por los parásitos *Plasmodium falciparum* Welch, 1897 y *Plasmodium vivax* Grassi y Feletti, 1890 y afecta principalmente a niños pequeños en África (Miotto *et al.* 2013, Ariey *et al.* 2014). El Proyecto para la obtención de artemisinina semisintética surgió como una alternativa para combatir a estos parásitos, sobre todo a *P. falciparum*, que es altamente virulento y resistente a

medicamentos como la cloroquina y la sulfadoxina. Una alternativa a estos medicamentos es el uso de la artemisinina, la cual es un fármaco antipalúdico que se produce en la planta *Artemisia annua* L. (Fig. 2A) que se utiliza en la medicina tradicional

china y que ha sido reconocida por la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) para el tratamiento de la malaria. Sin embargo, su producción mediante síntesis química no es viable económicamente, lo que llevó a la búsqueda de



**Figura 2.** A. Planta de *Artemisia annua* L. B. Esquema simplificado de la biosíntesis de la artemisinina a partir de *A. annua*, a través de la biología sintética con la modificación de la vía original de producción y el uso de organismos modelo, como *Saccharomyces cerevisiae*; adaptado de Paddon y Keasling *et al.* 2014. C. Youyou Tu, científica china ganadora del premio Nobel en 2015. La fotografía de *A. annua* fue tomada de <https://pixabay.com/es/images/search/artemisia%20annua/>



alternativas para su producción (Paddon & Keasling 2014).

El desarrollo de artemisinina semisintética se basó en la comprensión de su biosíntesis en *A. annua* y en la optimización de la vía del mevalonato, una ruta metabólica esencial en células eucariotas y clave en la síntesis de terpenos, grupo al que pertenece la artemisinina (Fig. 2B). Las pruebas experimentales identificaron a *Escherichia coli* (Migula, 1895) Castellani and Chalmers, 1919, y a *Saccharomyces cerevisiae* Hansen, 1883, como organismos adecuados para la producción de este compuesto, dada su frecuente aplicación en biotecnología para la síntesis de moléculas con actividad biológica (Paddon & Keasling 2014). En esta estrategia se empleó la ingeniería de enzimas sintéticas y la optimización de los componentes biológicos del sistema de producción, en la que se logró la síntesis de artemisinina de manera más eficiente, abriendo con ello nuevas posibilidades para el tratamiento de la malaria a nivel global. En reconocimiento a la relevancia de este compuesto, la científica china Youyou Tu (Fig. 2C), quién descubrió la artemisinina, recibió en 2015 el Premio Nobel de Medicina, debido al impacto en las terapias antipalúdica y en la mejora de la salud en países de regiones como Asia del sur, África y Sudamérica.

Con base en el ejemplo antes señalado, podemos decir que la biología sintética se posiciona como una herramienta fundamental para desentrañar la complejidad biológica, permitiendo la implementación de procesos innovadores. Sin embargo, a pesar de sus avances, la biología sintética aún enfrenta limitaciones en el conocimiento del ADN y en la comprensión de las interacciones genéticas, lo que dificulta predecir el comportamiento de organismos modificados. Pero, gracias a su enfoque interdisciplinario que integra ciencia, tecnología, ingeniería y bioinformática, la biología sintética está transformando los paradigmas actuales de la investigación científica. Con el desarrollo de nuevas tecnologías y el avance en la generación de conocimiento en las ciencias biológicas, la biología

sintética abre nuevas fronteras para la investigación y la aplicación en diversas áreas como la medicina, la agricultura o el medio ambiente (Cameron *et al.* 2014, Wang *et al.* 2022).

En México, la biología sintética se encuentra en expansión a través de una red de facultades, institutos y laboratorios que fomentan carreras como biología experimental, ingeniería biológica, genética, biomédica y biotecnología genómica. Instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) son pioneras en estos campos.

## Referencias

- Ariey F., Witkowski B., Amaratunga C., Beghain J., Langlois A., Khim N., Kim S., Duru V., Bouchier C., *et al.* 2014. A molecular marker of artemisinin-resistant *Plasmodium falciparum* malaria. *Nature* 505: 50–55.  
<https://doi.org/10.1038/nature12876>
- Cameron D.E., Bashor C.J., Collins J.J. 2014. A brief history of synthetic biology. *Nat Rev Microbiol*, 12: 381–390.  
<https://doi.org/10.1038/nrmicro3239>
- Davies J. 2013. Specialized microbial metabolites: functions and origins. *The Journal of Antibiotics* 66: 361–364.  
<https://doi.org/10.1038/ja.2013.61>
- Hale V., Keasling J.D., Renninger N., Diagana T.T. 2007. Microbially derived artemisinin: a biotechnology solution to the global problem of access to affordable antimalarial. In: Breman J.G., Alilio M.S., White N.J., Eds. *Defining and Defeating the Intolerable Burden of Malaria III: Progress and Perspectives*. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK1717/>
- Lee C.M. 2016. Fifty years of research and development of cosmeceuticals: a contemporary review. *J Cosmet Dermatol*, 15: 527–539.  
<https://doi.org/10.1111/jocd.12261>
- Miotto O., Almagro-Garcia J., Manske M., MacInnis B., Campino S., Rockett K.A., *et al.* 2013. Multiple populations of artemisinin-resistant

- Plasmodium falciparum* in Cambodia. *Nat Genet.* 45: 648–655.  
<https://doi.org/10.1038/ng.2624>
- Naseri G., Koffas M.A. 2020.** Application of combinatorial optimization strategies in synthetic biology. *Nat Commun*, 11:2446.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-16175-y>
- Paddon C.J., Keasling J. D. 2014.** Semi-synthetic artemisinin: a model for the use of synthetic biology in pharmaceutical development. *Nat Rev Microbiol*, 12: 355-367.  
<https://doi.org/10.1038/nrmicro3240>
- Shimizu K. 2013.** Main metabolism. *Bacterial Cellular Metabolic systems.* Pages 1-54. ISBN 9781907568015.  
[https://doi.org/10.1533/9781908818201.1.](https://doi.org/10.1533/9781908818201.1)
- Wang L., Zang X., Zhou J. 2022.** Synthetic biology: A powerful booster for future agriculture. *Adv Agrochem*, 1: 7-11.  
<https://doi.org/10.1016/j.aac.2022.08.005>
- White N.J. 2008.** Qinghaosu (artemisinin): the price of success. *Science* 320, 330–334.  
<https://doi.org/10.1126/science.1155165>
- World Health Organization.** WHO informal consultation with manufacturers of artemisinin-based pharmaceutical products in use for the treatment of malaria.  
<https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/artemisinin-resistance>



## Próximo número

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

### El solar maya: una farmacia natural repleta de tesoros fitoquímicos

Rocío Borges Argaez, Wendy Torres Avilez, Alejandra Ojeda Pérez, Karina Alducin Cabrera, Reyna Chan Balan, Nahomi Sáman Hernández.

En la península de Yucatán y otras regiones de influencia maya, los solares son más que simples huertos familiares. Se trata de espacios donde la biodiversidad y el conocimiento generacional se entrelazan, formando verdaderas fuentes para el sostenimiento familiar. Estas parcelas, manejadas con un profundo respeto por la naturaleza, albergan una gran variedad de plantas con fines medicinales, nutricionales, ornamentales y ceremoniales. Muchas de estas especies vegetales contienen sustancias con efectos biológicos importantes. En la medicina tradicional y la ciencia moderna, estas especies han sido clave en el desarrollo de fármacos, suplementos y productos cosméticos. Así, el solar maya se presenta no solo como un legado cultural, sino como un reservorio de soluciones terapéuticas avaladas por la ciencia. En el presente trabajo se expone los usos potenciales y comerciales de algunas especies presentes en los solares mayas.

### Manadas de tejón (*Nasua narica yucatanica* Allen) en las milpas de Yucatán

Inés Ortiz Yam

Este artículo documenta la invasión de manadas de tejón (*Nasua narica yucatanica*) a las milpas de Yucatán. Con base en el testimonio de un milpero del poblado de Dzalbay, municipio de Temozón, y la recopilación de notas periodísticas en la prensa, se reconstruye cómo ocurre dicha intrusión y las estrategias usadas por los milperos para proteger sus milpas. La presencia de los tejones en manadas en las milpas es inédita y de reciente aparición, afecta y transforma la actividad agrícola milpera. Este fenómeno puede ser explicado a partir a los diversos cambios que experimenta el territorio peninsular.

### Néctar floral: el coctel secreto de los polinizadores

Sandra Rios-Carrasco y Mariana Paola Bravo Correa

El néctar es mucho más que un simple dulce para los polinizadores. Se trata de un mundo de aromas, sabores y sorpresas. Esta recompensa floral, fuente de energía y hogar de microorganismos, es clave para la polinización. No todos los néctares son iguales; algunos deleitan y otros repelen. Además, el néctar también puede ser un botiquín dulce, ya que algunos contienen antibióticos que cuidan la salud de los visitantes florales. Entender la complejidad del néctar es fundamental para conocer los secretos de la polinización, especialmente en flores con estrategias reproductivas particulares o bien plantas de importancia económica.

### El fruto de achiote (*Bixa orellana* L.): belleza exterior y ciencia interior

Rocío Tamayo García, Felipe Barredo Pool, Margarita Aguilar Espinosa, Renata Rivera-Madrid

La semilla del fruto del achiote (*Bixa orellana*) es apreciado por su pigmento rojo llamado bixin, usado en la industria alimentaria, textil, cosmética y farmacéutica. Sus frutos varían según el color de la flor y se abren al madurar mediante dehiscencia, proceso natural de apertura de una estructura vegetal madura para liberar su contenido; este proceso es regulado por varios genes. Los frutos abiertos presentan células pequeñas con espacios intercelulares, mientras que los cerrados muestran células grandes y compactas. Estructuras internas como laticíferos y glándulas podrían influir en la producción de compuestos bioactivos. Su estudio contribuye al conocimiento del desarrollo vegetal y su uso sostenible y mejoramiento genético.



## Agradecimiento a revisores

Por último, agradecemos a todas las personas de la comunidad académica y de la sociedad civil que invirtieron su tiempo en la revisión de los ensayos publicados en 2025, ya que su apoyo fue fundamental para el éxito de Desde el Herbario CICY.

Revisores de Desde el Herbario CICY en 2025	
Alatorre Cobos, Fulgencio	León García, Fabiola
Andrade Torres, José Luis	Leopardi, Carlos
Calvo Irabien, Luz María	López Martínez, Jorge Omar
Canto Aguilar, María Azucena	Loyola Vargas, Víctor Manuel
Carmona Bello, Diego	Martel Ortiz, Dairo
Carnevali Fernández-Concha, Germán	Martínez Castillo, Jaime
Carrillo Galván, María Guadalupe	Martínez Estévez, Manuel
Carrillo Sánchez, Lilia Emma	Mijangos Cortés, Javier
Chávez Pesqueira, Mariana	Moguel Ordoñez, Yolanda Beatriz
De Araujo Freitas, Chavier	Moreno Valenzuela, Óscar Alberto
Dorantes Euán, Alfredo	Peña Peniche, Luis Alexander
Duno de Stefano, Rodrigo	Ramírez Morillo, Ivón M.
Dupuy Rada, Juan Manuel	Reyes García, Casandra
Escalante Magaña, Camilo	Reynoso Preisser, Karla
Espadas Manrique, Celene Marisol	Rivera Pérez, Patricia
Gamboa Angulo, María Marcela	Rodríguez Zapata, Luis Carlos
García Laynes, Federico	Salas Rabaza, Julio A.
Gernandt, David	Saldívar Chávez, María Antonieta
Hernández Martínez, Luis Ángel	Sanaphre, Lucía
Hernández Stefanoni, José Luis	Sánchez Salgado, Juan Carlos
Islas Flores, Ignacio Rodrigo	Tamayo Cen, Iván
Jiménez Bañuelos, Clarisa	Tapia Muñoz, José Luis
Jiménez Nah, Carlos	Uribe Calderón, Jorge Alonso
Juan Qui, Miriam Beatriz	Vallejo, Camilo
Latournerie Moreno, Luis	Vergara Yoisura, Silvia

