

ECOFRONTERAS

ISSN 2007-4549

Revista cuatrimestral de divulgación de la ciencia · ECOSUR · vol. 28 · N° 80 · enero/abril 2024

Copales, cuajotes
y sus visitantes

Si no queremos que
el manatí desaparezca...



¿Es ficción o es ciencia?

Antonio Saldivar Moreno

Director General

Adriana Alicia Quiroga Carapia

Coordinadora General de Vinculación e Innovación

Laura López Argytia

Dirección editorial

Rina Pellizzari Raddatz

Diseño de portada y diagramación interior

Carla Quiroga Carapia

Edición técnica

Laura Rubio Delgado

Estefanía Munguía Sánchez

Asistencia editorial

Martha Duhne Backhaus

Faro Consultiva Científica y Tecnológica, A.C.

Rocío Ledesma Saucedo

Instituto Politécnico Nacional (revista Convergencia)

Rolando Riley Corzo

Universidad Autónoma de Chiapas

Consejo Consultivo

Trinidad Alemán (ECOSUR San Cristóbal)

Griselda Escalona (ECOSUR Campeche)

Martha García (ECOSUR Chetumal)

Alma Grajeda (ECOSUR Campeche)

Azahara Mesa (ECOSUR Villahermosa)

Dolores Molina (ECOSUR Campeche)

Georgina Sánchez (ECOSUR San Cristóbal)

Juan Jacobo Schmitter (ECOSUR Chetumal)

Birgit Schmoock (ECOSUR Chetumal)

Lislie Solís (ECOSUR Tapachula)

Consejo Editorial

Corrección de estilo: Julio Roldán.

Traducción: Karina Puc (maya) y Eduardo Gómez

(tsotsil). Fotografía de portada: quangraha en iStock.

Distribución general: El Colegio de la Frontera Sur

(Estefanía Munguía). Ecofronteras, Vol. 28, Número

80, enero-abril de 2024, es una publicación cuatri-

mestral de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR),

con domicilio en Carretera Panamericana y Periférico

Sur s/n, Barrio de María Auxiliadora, C.P. 29290,

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, Teléfono:

967.674.9000. www.ecosur.mx.

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-

2010-121518142600-102. ISSN 2007-4549. Ambos

otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de

Autor. Certificado de Licitud de Título núm. 13743,

y Licitud de Contenido núm. 11316. Ambos otorga-

dos por la Comisión Calificadora de Publicaciones y

Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

Editora responsable: Laura López Argytia.

Publicación impresa por Editorial Fray Bartolomé

de Las Casas, Pedro Moreno 7, Barrio de Santa

Lucía, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Tel.

967.678.0564. Este número se terminó de imprimir

el 30 de diciembre de 2023, con un tiraje de 1,000

ejemplares. El contenido de los artículos es respon-

sabilidad de autoras y autores. La adecuación de ma-

teriales, títulos, subtítulos y resúmenes, corresponde

a los editores. La reproducción total o parcial de los

textos e imágenes contenidos en esta publicación re-

quiere autorización: llopez@ecosur.mx

Ecofronteras pertenece al Índice de Revistas Mexi-

canas de Divulgación Científica y Tecnológica del

CONACYT, y está integrada al catálogo de Latindex

(Sistema Regional de Información en Línea para Re-

vistas Científicas de América Latina, el Caribe, España

y Portugal), así como a la base de datos con formato

de colección a texto completo LatAm Studies (Estu-

dios especializados en América Latina y el Caribe).

Editorial

Laura López Argytia

ARTÍCULOS DEL POZO

Cómo la ciencia ciudadana transforma la investigación

Javier Arellano-Verdejo, Hugo E. Lazcano-Hernández y Dalila Aldana Aranda

Plumas, metales y colecciones científicas

Ruth Partida-Lara, Jaime Rendón-von Osten y Paula L. Enríquez

Potencial biotecnológico de los hongos

Amairani Reyna, Libni A. Castrejón Noguero, Jorge Luis Folch Mallol y María del Rayo Sánchez Carbente

Cordyceps más allá de la ficción

Rogelio de J. Treviño-Rangel e Hiram Villanueva-Lozano

ARTÍCULOS APUERTAS ABIERTAS

Copales, cuajotes y sus visitantes

Elisa Maya-Elizarrarás, Yessica Rico Mancebo del Castillo y Carlos A. Cultid-Medina

Microbios al ataque: ¿cómo se defienden las plantas?

Marco M. Plancarte de la Torre y Kena Casarrubias Castillo

LEYENDO ELSUR

Si no queremos que el manatí desaparezca...

ENTREVISTA

Tiburón sierra en riesgo.

Conversación con Ramón Bonfil

Elena Anajanci Burguete Zúñiga

DELITERATURA Y OTROS ASUNTOS

Apuntes sobre la enfermedad de Parkinson

Rosa Elba Hernández Cruz





MARINA RODRIGUEZ YAH

Editorial

Paulatinamente nuestro mundo avanza en un camino incierto que parece adentrarse en la catástrofe. Calentamiento global; extinción de especies; acidificación del océano; aumento de territorios para agricultura y ganadería intensivas en detrimento de bosques, humedales y otros tipos de vegetación; desmesurada presencia de microplásticos y materiales potencialmente nocivos, entre diversas situaciones que parecen conducirnos a un final apocalíptico.

En este sentido, ya sea que se trate de una era geológica auténtica o de un término metafórico para resaltar el impacto de las actividades humanas, la huella del Antropoceno son los cambios drásticos ligados a la sobreexplotación de recursos naturales, contaminación, problemas sociales de gran magnitud... Es un panorama en el que la ciencia y la técnica ligadas a la razón instrumental no salen tan bien libradas, pero también es cierto que hay preocupación en las comunidades científicas por atender estas situaciones y garantizar una mejor calidad de vida para las poblaciones humanas en términos sustentables.

En ocasiones, las propuestas científicas parecen tan ficcionadas como el devastador ambiente al que parecemos encaminarnos. No obstante, es solo ciencia que busca enfrentar los desafíos cotidianos, y este es el eje que vincula a los textos de la sección Artículos del Pozo. El primer material aborda, justamente, ciertos aspectos del quehacer científico desde una fórmula de ciencia ciudadana, en el que las barreras entre investigación y sociedad se diluyen.

El siguiente artículo presenta la gravedad de la contaminación por metales que afecta tanto a seres humanos como a la fauna en general; por increíble que parezca, el estudio de las plumas de aves alojadas en colecciones científicas es una puerta para ampliar las investigaciones al respecto.

Los siguientes dos artículos tratan sobre el reino Fungi. El primero se enfoca en los hongos microscópicos, interesantes seres capaces de sobrevivir en ambientes inhóspitos y que pueden tener aplicaciones biotecnológicas. El otro texto trata sobre los hongos *Cordyceps*, célebres en la actualidad gracias a una serie de televisión y un

videojuego; y que independientemente de su fama como parásitos, parecen contener nutrientes y compuestos bioactivos con propiedades benéficas.

Este número de *Ecofronteras* ofrece también otros materiales interesantes. En Artículos a Puertas Abiertas se incluye un texto sobre la polinización de copales y cuajotes, árboles y arbustos de importancia cultural y económica en México, y otro sobre el eficiente sistema inmune de las plantas como mecanismo defensivo.

En la inforreseña de la sección Leyendo el Sur presentamos el libro *Manatíes de la costa maya*, el cual reúne material de tres décadas de investigación y acción en favor de la conservación de esa especie por parte de su autor, Benjamín Morales Vela, junto con fantásticas fotografías de Humberto Bahena Basave.

El entrevistado de este número es Ramón Bonfil, quien habla sobre las amenazas que sufren tiburones y rayas por la sobreexplotación y otros factores, y aborda particularmente el caso de los tiburones sierra. Finalmente, en la sección De Literatura y Otros Asuntos publicamos un texto acerca de la enfermedad de Parkinson, como un llamado a la sensibilización para lograr mejores políticas de salud.

¡Esperamos que este número de *Ecofronteras* siga fomentando la curiosidad científica en nuestra audiencia!

Laura López Argoytia, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal.



Cómo la ciencia ciudadana transforma la investigación

Javier Arellano-Verdejo, Hugo E. Lazcano-Hernández y Dalila Aldana Aranda

Resumen: ¿Puedo colaborar con la NASA siendo una persona común? ¡Es posible! Cualquiera puede contribuir en proyectos científicos desde la ciencia ciudadana: una modalidad de investigación que promueve la participación de gente voluntaria y el estudio de los fenómenos en diferentes escalas. Como todo conocimiento emergente, esta actividad enfrenta retos, que son de índole social y tecnológica, pero pueden sortearse si los proyectos se concentran en lograr la interacción entre especialistas y población, hacerse de una infraestructura adecuada e impulsar mecanismos de comunicación del conocimiento generado. Así se transforma la forma de hacer ciencia.

Palabras clave: investigación participativa, científico voluntario, proyectos colaborativos.

Maayat'aan (maya): Bix le ciencia ciudadana ku k'exbesik le xak'almejay wáaj investigacióno'

Kóom ts'íibil meyaj: Ku béeytal wáaj k meyaj yéetel NASA kex chéen kajnáalilo'one'. iKu béeytal! Je'en máax ku béeytal u táakpajal tu meyajil proyecto'ob científico'ob yéetel le k'ajóola'an beey ciencia ciudadanao': le je'ela' jump'éeel bix u yúuchul xak'almejay ku meetik u táakpajal je'en máax u k'áate' yéetel u xo'okol jejeláas ba'alo'ob ku yúuchul yóok'olkaab. Je'elbix tuláakal ba'ax táantik u k'ajóolta'ale', le meyaja' ku yilik talamilo'ob ich wíiniko'ob wáaj tu socialil bey xan ti' nu'ukul tecnología, ba'ale' ku béeytal u jóok'ol táanil wa le proyecto'obo' ku ts'áaiko'ob u yóol u múuch'ik máaxo'ob especialista'ob yéetel kajnáalilo'ob, ka ma'alob múul meyajnako'ob ti'al xan u ts'ajiko'ob k'ájoolbil tuláakal ba'ax ku xo'okol. Beey túun ku k'exbesik bix suukil u meyajta'al ciencia.

Áantaj t'aano'ob: múul xak'almejay, científico voluntario, múul meyaj proyecto'ob.

Bats'i k'op (tsotsil): K'uxi ta xjel talel ta st'unel bijilal abtel ta sbijilal jnaklumetike

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: ¿mi stak' chij-abtejutik ta NASA ak'o mi jnaklumotik no'oxe? iStak'! Buch'uuk no'ox xu' ta x-abtej ta st'unel bijilal abtel tsakal ta sbijilal li jnaklumetike: li'e ja' jtos st'unel bijilal abtel ti ja' ta slikesbe sk'oplal sventa xu' buch'uuk no'ox ta x-abtej sventa sa'bel smelol skojolkoj k'usitik mu'yuk to na'bil chanbible. Ya'yejal li'e ach' to vok' talel, ja' yu'un xmaket to ta spasel li yabtele, yakal to ta xich' tabel lek smelolal xchi'uk jnaklumetik ta komon xchi'uk ta sna'el k'uxi xu' tojbtasel lek li abteleetike, stak' pasel ti mi xich' lek t'unel bijilal abteleetike te yo bu xu' ch-abtejik ta komon buch'utik xchanojik spasel bijilal abteleetik xchi'uk li jnaklumetike, sk'an ta xich' lek chapanel meltsanel ta spasel yabtel sventa oyuk lek yak'el ta a'iel li ach' nabenaletike. Jech ta xjel talel ta spasel bijilal nopbil abtel.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: st'unel bijilal abtel tsakal ta yabtel jnaklumetik, buch'uuk no'ox sk'an spas bijilal abtel, komontabil spasel nopbil bijilal abteleetik.

Es probable que alguna vez hayamos utilizado la aplicación móvil Waze al realizar algún trayecto en coche; es una herramienta de *software* que revisa en tiempo real el estado del tráfico y brinda rutas óptimas para llegar a un destino. Este tipo de aplicaciones basan su éxito en el desarrollo tecnológico que soporta su operación, pero su fortaleza radica en la información con la que miles de usuarios la alimentan todos los días. Sin duda, la evolución de las tecnologías de la información ha favorecido el acceso a internet, lo que ha incrementado de forma acelerada la contribución de gente que utiliza herramientas colaborativas.

Más allá de los retos del tráfico en una ciudad, la humanidad se enfrenta a grandes desafíos que deben atenderse prioritariamente; el calentamiento global, la acidificación de los océanos, la sobreexplotación de los recursos naturales, la contaminación marina y las variaciones en el nivel medio del mar son algunos ejemplos. El factor común de estos temas es que repercuten en la salud de los ecosistemas y por lo tanto en el ser humano; por ello, los centros de investigación los consideran relevantes y las comunidades científicas de todo el mundo los estudian con el fin de proponer



DIEGO GUZMÁN

acciones para su atención. Es necesario entender su dinámica a escala local, regional y global, así que la participación colaborativa de la sociedad es una oportunidad para buscar soluciones viables desde un punto de vista social, económico y ambiental, dando paso a una ciencia ciudadana.

¿Qué es la ciencia ciudadana?

Las definiciones de ciencia son variadas. El *Oxford English Dictionary* la describe como "el conjunto de conocimientos sobre la estructura y el comportamiento del mundo natural y físico, basados en hechos que se pueden demostrar, por ejemplo, mediante

experimentos". Para la Real Academia de la Lengua es el "conocimiento cierto de las cosas por sus principios y causas". En general, la ciencia se encarga de analizar los fenómenos sociales, naturales y artificiales a través de la observación, experimentación y medición, para dar respuesta a lo desconocido, pero siguiendo un método.

El método científico, presente en las disciplinas naturales desde el siglo XVII, consiste en la formulación, análisis y modificación de una hipótesis, además de que incluye observaciones y mediciones sistemáticas del objeto de estudio en condiciones conocidas. Sus resultados se consideran válidos solo

cuando son consistentes, y el experimento que los produjo puede ser reproducido en condiciones similares de medición, aparte de estar sujeto a los principios específicos y pruebas de razonamiento aplicables al fenómeno estudiado. Históricamente, la ciencia y el conocimiento generados a través del método científico han sido producto de grupos de investigación; sin embargo, esto ha comenzado a cambiar.

De acuerdo con el *Oxford English Dictionary*, la ciencia ciudadana es el "trabajo científico realizado voluntariamente por miembros del público en general, a menudo en colaboración con o bajo la dirección de científicos profesionales e instituciones científicas". Cuando se habla de "trabajo científico" no solo se alude a una actividad intelectual, sino también a una posible actividad física que deriva en información y datos que pueden ser insumos para una investigación. El voluntariado en la ciencia ciudadana es fundamental, ya que una participación libre en la captura de datos o procesos de medición disminuirá la probabilidad de que aparezcan tendencias ajenas al fenómeno en estudio.

En realidad, la colaboración ciudadana en la actividad científica siempre ha es-

tado presente; por ejemplo, en el trabajo arqueológico, los guías y ayudantes son personas de las comunidades vecinas a los sitios de investigación. Otro caso es el descubrimiento de nuevos cometas realizado por aficionados, quienes confirman la existencia de dichos objetos en el firmamento, en colaboración con instituciones académicas. El público interviene abordando problemas del mundo real de formas tan variadas como la realización de experimentos científicos o la recopilación y el análisis de datos, y esto se ha convertido en una herramienta que contribuye al trabajo científico.

Derribar barreras entre ciencia y sociedad

Si bien es cierto que en México la ciencia ciudadana no tiene la madurez que en otros países, de a poco se ha ido posicionando como una alternativa. La academia, las organizaciones de la sociedad civil y los centros de investigación han realizado esfuerzos, integrando y desarrollando investigaciones que involucran a la sociedad como un actor esencial en la etapa de generación de conocimiento.

La incorporación voluntaria de la ciudadanía en proyectos científicos facilita la in-

vestigación a mayor escala, con lo que se aprovechan otras fuentes de información, así como distintos conocimientos y perspectivas, además de que las personas enriquecen sus propios acervos de conocimiento y comprensión de la ciencia. Annemarie Piscaer, científica ciudadana en Róterdam (Países Bajos), señala que "no se trata solo de los datos; creo que es importante que podamos encontrarnos. La ciencia ciudadana devuelve la investigación científica a los ciudadanos. Al final, se trata de entendernos y confiar los unos en los otros". Es decir, que esta modalidad de ciencia hace posible centrar la investigación en temas más relevantes para la población, al tiempo que promueve vínculos con quienes integran la comunidad científica, que a su vez encuentran la oportunidad de convertirse en mejores ciudadanos.

Esta actividad colaborativa, al igual que todos los campos del conocimiento emergentes, enfrenta numerosos desafíos, por ejemplo, la aceptación de la población, la infraestructura que asegure la operación del proyecto y la creación de productos útiles a la sociedad, como resultado del conocimiento generado. Los antecedentes nos confirman que la mayoría de las personas ajenas



a la comunidad científica se han mostrado indiferentes a participar en trabajos científicos, ya sea porque consideran que no les corresponde o porque los proyectos no se han dado a conocer adecuadamente. Al mismo tiempo puede parecer que desde la ciencia se sopesa que involucrar al público no representa una ventaja. El reto es que tanto las personas voluntarias como la gente de ciencia reconozcan su interdependencia y mutuo beneficio, derribando las barreras entre ciencia y sociedad.

En el éxito de un proyecto de ciencia ciudadana intervienen tres factores esenciales. El primero es contar tanto con especialistas que atiendan las necesidades de la ciudadanía, como con una ciudadanía interesada en colaborar. Segundo, se requieren recursos materiales e infraestructura que garanticen la operación del proyecto, de lo contrario este se quedará en idea. Tercero, se necesita la publicación de productos que, además de originarse en el proyecto, sean de utilidad y acceso libre. Comunicar a la sociedad los resultados de la investigación en la que participaron propiciará la apropiación del conocimiento, motivará su posterior contribución y dará paso a una cultura colaborativa.

Proyectos de ciencia ciudadana

La NASA ha creado diversos proyectos de ciencia ciudadana en los que podemos participar; veamos algunos ejemplos. *NeMO-Net* es una aplicación lúdica para dispositivos móviles en la que los jugadores clasifican arrecifes de coral coloreando imágenes de diferentes elementos de la flora y fauna que

habitan en el fondo marino. Los participantes analizan imágenes reales de corales y, a medida que exploran, aprenden sobre sus distintos tipos y cómo clasificarlos. Cada clasificación ayuda a incrementar los datos con los que aprenden algoritmos de inteligencia artificial; se puede decir entonces que los usuarios son los que "enseñan" al algoritmo. Otro ejemplo es *Planet Hunter*, con el cual se buscan planetas fuera del sistema solar utilizando los datos recopilados por el Satélite de Exploración de Exoplanetas en Tránsito (TESS, por sus siglas en inglés). Aunque se cuenta con algoritmos para el análisis de los datos recolectados por TESS, el cerebro humano es excelente identificando patrones que las rutinas automatizadas de los programas de cómputo a veces no detectan, por eso es necesaria la participación de gente voluntaria.

Otro caso es *GLOBE Observer*, una aplicación móvil en la que cualquier persona puede participar, mediante la captura de fotografías y otros datos, en el Programa Mundial de Aprendizaje y Observación en Beneficio del Medio Ambiente (GLOBE, por sus siglas en inglés). Es un programa internacional de ciencia y educación que invita a la sociedad de todo el mundo a contribuir para mejorar nuestra comprensión del sistema terrestre y del medio ambiente mundial. La información capturada por el voluntariado complementa la obtenida mediante otro tipo de sensores remotos.

Como se puede apreciar, participar es muy fácil; básicamente se necesita seleccionar un tema de interés. La mayoría de los proyectos cuentan con un sitio web, por

lo que para ubicarlos solo debemos realizar una breve búsqueda en un navegador y registrarlos. Probablemente la principal herramienta de trabajo será un dispositivo móvil como, por ejemplo, un teléfono inteligente con conexión a internet ¡y listo! Para buscar proyectos, podemos empezar visitando los siguientes enlaces:

<https://www.naturalista.mx/>

<https://www.citizenscience.gov>

<https://science.nasa.gov/citizenscience>

<http://nemonet.info/>

<https://www.zooniverse.org/projects/nora-dot-eisner/planet-hunters-ness>

<https://observer.globe.gov/do-globe-observer>

<https://www.medusapp.net/>

Como hemos podido leer a lo largo de estos párrafos, la ciencia ciudadana es una herramienta útil que poco a poco se ha transformado en una necesidad para la comunidad académica de todo el mundo. La participación se ha vuelto indispensable y la incorporación de científicas y científicos ciudadanos ha estrechado los lazos entre academia y sociedad, lo cual pone de manifiesto la importancia de la colaboración para mejorar la calidad de vida de todos. Incorporarse a un proyecto no es complicado, existen múltiples opciones, y en este sentido te invitamos a que te acerques a instituciones mexicanas, como ECOSUR o la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), para consultar a qué proyectos es factible sumarse y así contribuir a transformar la investigación. 🐙

Ilustración: Rino Palazzoni

Bibliografía

Arellano-Verdejo, J., y Lazcano-Hernández, H. E. (2020). Crowdsourcing for *Sargassum* monitoring along the beaches in Quintana Roo. En M. F. Mata-Rivera, R. Zagal-Flores, J. Arellano Verdejo, y H. E. Lazcano Hernandez (eds.), *GIS LATAM 2020* (pp. 49-62). Springer.

Arellano-Verdejo, J., y Lazcano-Hernández, H. E. (2021). Collective view: Mapping *Sargassum* distribution along beaches. *PeerJ Computer Science*, (7), e528.

Phillips, B. F., y Pérez-Ramírez, M. (2017). *Climate change impacts on fisheries and aquaculture. 2 Volumes: A global analysis*. John Wiley & Sons.

Javier Arellano-Verdejo es investigador de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal (Chetumal, Quintana Roo, México) | javier.arellano@ecosur.mx | <https://orcid.org/0000-0002-4920-283X>

Hugo E. Lazcano-Hernández es investigador por México adscrito a El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal (Chetumal, Quintana Roo, México) | hlanzcanoh@ecosur.mx | <https://orcid.org/0000-0002-5757-6081>

Dalila Aldana Aranda es investigadora del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida (Mérida, Yucatán, México) | daldana@cinvestav.mx | <https://orcid.org/0000-0002-8290-0373>

Plumas, metales y colecciones científicas

RUTH PARTIDA-LARA



Ruth Partida-Lara, Jaime Rendón-von Osten, Paula L. Enríquez

Resumen: La contaminación ambiental por metales se liga en gran parte a la actividad industrial, la cual propicia que estos elementos se acumulen y biomagnifiquen en los organismos a través de las redes tróficas. Esta toxicidad se ha documentado a lo largo de la historia tanto en humanos como en la fauna silvestre. En las aves, los metales se transfieren a las plumas, de modo que acercarnos a las que se han conservado en colecciones científicas es una puerta para determinar cómo ha evolucionado la contaminación por metales, y qué políticas se han formulado, o pueden formularse, para su control.

Palabras clave: aves, políticas públicas, metales pesados, salud, colecciones científicas.

Maayat'aan (maya): K'u'uk'umel ch'íich'o'ob yéetel u xak'al ila'al u lóobil éek'il

Kóom ts'íibil meyaj: U yéek'kunta'al yóok'olkaab tumen metalo'obe' táasbilak tumen u meyajil indutria'o'ob, leti' méen-tik u múuch' p'áatal k'ak'aas ba'alo'ob yéetel u bin u jach ya'abtal tu wíinkilal u jeel ba'ax kuxa'ano'ob, ku paklan máansa'al le kéen u tsentuba'ob paak'alo'ob yéetel ba'alche'ob, ku ya'alal xan red trófica. Ts'o'ok u yúuchtal káajak u xak'al xoka'al bix u lóobiltik wíinik yéetel ba'alche'ob le ba'ax toxicoo'. Ti' le ch'íich'o'obe' le metalo'obo' ku k'uchul tak tu k'u'uk'umel, lebetik wa ka náats'ako'on k xak'alt le múuch k'u'uk'umel li'isa'an ti'al meyaj científicoe' ku béeytal u yila'al bix u bin u na'akal u loobil metalo'ob, bey xan ba'ax meeta'an ti'al u jets'a'al u meyaj jala'achil yéetel ku béeytal xan u jets'a'al ti'al ma' u bin u na'akal u loob.

Áantaj t'aano'ob: ch'íich'o'ob, meyaj jala'achil, metales pesados, toj óolal, colecciones científicas.

Bats'i k'op (tsotsil): Sk'uk'umal mutetik xchi'uk sk'elel k'u yelan chak' xchopolil k'a'epaltike

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: K'a'epaltik oy ta lum, ta ik', ta vo', le'e tey ta xlok' talel ta snailal bu xich' meltsanel k'usitik pasbil ta tak'inetike, xchopolile ta stsob sba ta bek'talil ta skoj ti k'usitik xich' lajesele. Le' xa slikel xchanel talel k'u yelan chak' xchopolil ta jch'ieletik xchi'uk ta chonbolometike. Li xchopolil tak'inetike te ta stik' sba ochel ta sk'uk'ubal li mutetike, mi jk'eltik ta yilobil snailal bu k'ejajtik skotol k'usitik chanbil xa ta skuxlejal li chonbololetik xchi'uk li vomoletike, stak' ilel k'u to yelan jelem epajem talel xchopolil li tak'inetike, xchi'uk stak' yilel k'usi pasbil xa xchi'uk k'usi stak' to pasel sventa stuk'ulanel mu x-epaje.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: mutetik, chapbil svunal sventa stuk'ulanel mu x-epaj, jchop tak'inetik oy yalal, kuxlejal, tsobbil ta jujuchop k'usitik kuxajtik.

La contaminación es un problema global que degrada el medio ambiente y daña a todos los seres vivos; es en este contexto que los metales pesados son causa de preocupación. Sin embargo, y por increíble que parezca, las plumas de las aves llegan para auxiliarnos, pues nos permiten reconstruir en el tiempo la contaminación antropogénica, y más datos importantes.

Metales y mecanismos de regulación ambiental

La presencia de metales en el ambiente se debe tanto a procesos naturales como a la actividad antropogénica. Las erupciones volcánicas y la meteorización son causas naturales mediante las que los metales quedan expuestos en la superficie terrestre, donde luego son movilizados por el agua y el viento. La meteorización se refiere a los procesos con los que las rocas se transforman en sedimento, por ejemplo, nevadas, oxidación o la acción de bacterias. Por su parte, la actividad antropogénica provoca que los metales se conviertan en contaminantes del aire, el agua, los organismos, el suelo y los sedimentos, de modo que entre las fuentes puntuales de contaminación por metales encontramos a las industrias

agrícola, metalúrgica, petroquímica, cosmética, electrónica, alimentaria y farmacéutica, entre otras.

En este sentido, la industrialización iniciada a mediados del siglo XVIII incrementó con celeridad la exposición a metales alrededor del mundo. Por sus características, algunos pueden dispersarse ampliamente por el agua y volatilizarse en la atmósfera, alcanzando sitios tan distantes como los polos, es el caso del mercurio y el plomo. La evidencia de esta contaminación histórica se ha encontrado en las muestras analizadas de pieles de mamíferos, plumas de aves rapaces, dientes de humanos y mamíferos marinos conservados en colecciones científicas.

Tenemos, por otra parte, que hay metales esenciales y no esenciales. El cobre, hierro, manganeso y zinc, y metaloides como el selenio, son esenciales para el desarrollo de la vida porque intervienen en sus procesos metabólicos para la generación de energía y funcionamiento de las células. En cambio, el plomo, cadmio, mercurio y níquel, y metaloides como el arsénico y antimonio, son no esenciales para los humanos ni el ambiente, y por lo tanto, resultan tóxicos aún en bajas concentraciones. Por eso repre-

sentan una gran preocupación mundial: en primera porque están en todos los ambientes, son acumulables y algunos incrementan sus concentraciones a través de las redes tróficas, y en segunda porque pueden generar alteraciones bioquímicas, o bien, enfermedades crónico-degenerativas como el cáncer.

Sin embargo, dadas sus propias reacciones bioquímicas esenciales y no esenciales, todos estos elementos se vuelven tóxicos a corto, mediano y largo plazo cuando exceden las concentraciones que un organismo puede tolerar. Es así como al evaluar la toxicidad de cualquier elemento o sustancia química es necesario cuantificar la relación entre la dosis o concentración del contaminante y la respuesta celular del organismo, además del tiempo de exposición.

Esta contaminación histórica y actual de dichos elementos en el ambiente es la que ha afectado a la vida silvestre y al ser humano, y por ello se ha buscado regularla por medio de protocolos internacionales. En el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), se han firmado convenios entre países para la reducción de la contaminación por metales y otras sustancias tóxicas, y para exigir

a las naciones participantes la generación y aplicación de políticas y estrategias que lleven a reducir la contaminación local que traspase las fronteras.

Las aves: organismos bioindicadores

Las aves son consideradas bioindicadores¹ de la calidad del ambiente. Esto se debe a que son altamente diversas, su distribución es amplia, son fáciles de observar y estudiar, tienen gran variedad de hábitos alimenticios y a que algunas son específicas de ciertos ambientes. Además, muestran diferentes grados de sensibilidad a las perturbaciones humanas, por lo que al analizar los metales en ellas nos dan indicio de sus concentraciones, frecuencia de exposición, biomagnificación² y, en algunos casos, su efecto adverso.

Como mecanismo de desintoxicación, las aves liberan elementos dañinos a través de las plumas, y cada vez que las mudan (polluelos, juveniles y adultos) es posible obtener información ambiental con análisis adecuados. Además, las plumas difícilmente se degradan porque están hechas de queratina, una proteína que, además de permitir la fácil adherencia de los metales pesados, forma estructuras en capas muy duras y resistentes que también encontramos en pelo, uñas y cuernos. Esa cualidad de la queratina es la que permite utilizar el plumaje de las aves como bioindicador de contaminación por metales.

Es así como el análisis de plumas resulta de gran utilidad, y más aún porque no es necesario sacrificar a los individuos. Mediante este método es posible estudiar los contaminantes en especies en peligro de extinción o que son vulnerables, y realizar investigación sobre tendencias temporales colectando plumas de los mismos individuos en repetidas ocasiones o en di-

¹ Llamamos bioindicadores a los organismos que responden ante la presencia de un contaminante y son utilizados para evaluar la calidad ambiental.

² Biomagnificación es el incremento de las concentraciones de un contaminante en los tejidos de los organismos a través de la red trófica.

ferentes individuos durante varios años. Si el objetivo es analizar los metales a escala local, es recomendable estudiar las aves residentes. Pero si la escala es global, será preciso estudiar a las especies migratorias

de larga distancia, lo cual ayudará a entender la distribución de los contaminantes rastreando las rutas de movilidad. Por ejemplo, hay indicios de que la quinta pluma de las alas o plumas de vuelo de las rapaces migratorias, como el halcón gerifalte (*Falco rusticolus*), el águila pigargo europeo (*Haliaeetus albicilla*) y el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), crece durante el verano en Groenlandia. El resto de las plumas las cambian en las áreas de migración e invernada, lo que permite el análisis a gran escala de la contaminación por agentes tóxicos de estas especies.

Una mirada al pasado de la contaminación por metales

En el siglo XV la colecta de animales y plantas era de carácter personal. Estas colecciones o "gabinetes de curiosidades o cuartos de maravillas", como se les conocía, pasaron a considerarse un bien común y se les asignó un valor científico durante el siglo XVI. Para finales del siglo XVIII se crearon los museos de historia natural y las colecciones científicas. En países de Europa y Asia, dichas colecciones se convirtieron en parte de las estrategias políticas de monitoreo ambiental a largo plazo, ya que permitían evaluar el origen y dispersión de enfermedades, la evolución histórica de contaminantes, el cambio climático, y la identificación de las fuentes de contaminación química y sitios críticos. También facilitaban la evaluación de riesgos, la formulación de políticas para el control y prohibición de contaminantes, y la determinación de la eficacia de las medidas para reducir la contaminación química.

Al respecto, citaremos un caso que ocurrió en 1950, cuando se registró la mortalidad de aves rapaces en Suecia. Un análisis histórico de plumas de pieles del águila ratonera (*Buteo buteo*), el azor común (*Accipiter gentilis*) y la lechuza común (*Tyto alba*), entre otras, reveló que durante casi un siglo (1830-1940) las concentraciones de mercurio habían sido de 2µg/g (microgramos o milmillonésima parte



RUTH PARTIDA-LARA

Especie indicadora de la biomagnificación de metales.

de un kilogramo por gramo de peso de las aves). Pero después, desde 1940 y hasta 1960, esas concentraciones se incrementaron de 9 a 20 veces. La causa era la introducción del compuesto alquilmérgurio para combatir los hongos en semillas agrícolas. Las semillas eran consumidas por los roedores presa de las aves rapaces, lo que las expuso al mercurio. Con la información obtenida se gestionaron políticas para eliminar ese compuesto en la agricultura; un análisis de sus concentraciones en plumas reveló la disminución del mercurio en 1966.

Otro estudio con plumas del búho cárabo común (*Strix aluco*) en Noruega mostró que en 1986 las concentraciones de plomo eran de 0.381 $\mu\text{g/g}$, y después de casi 20 años (2005), disminuyeron a 0.024 $\mu\text{g/g}$. Este decremento fue debido a las políticas



JÓSE RAÚL VÁZQUEZ PÉREZ

establecidas en ese país para la eliminación del plomo como aditivo de la gasolina durante la década de 1980.

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en registros de 2020, en México existen alrededor de 813 colecciones científicas, de las cuales 37 tienen pieles de aves y nueve de ellas se encuentran en el sur de México. Hasta donde se sabe, no se han realizado estudios sobre contaminantes en estos ejemplares, aunque esas colecciones han sido repositorios de la diversidad biológica del país que han permitido estudios taxonómicos, filogenéticos y ecológicos.

Estas colecciones son acervos que tienen potencial para estudios ecotoxicológicos históricos para los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) que, a cargo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), buscan impulsar la investigación humanística, científica y tecnológica, así como brindar soluciones viables ante problemas por agentes tóxicos y procesos contaminantes, para beneficio social, cuidado ambiental y la conservación del patrimonio cultural de México. Para que esto sea posible se requiere estudiar la contaminación en suelos, sedimentos, alimentos que consumimos, alimentos procesados, en la población humana y la fauna silvestre. Es importante entender la evolución histórica de las concentraciones de estos metales para mejorar la salud humana y ambiental.

Por ello es necesario fomentar y apoyar la colecta de plumas, sangre y excretas a través de protocolos estandarizados, a fin de que este tipo de estudios sean per-



RUTH PARTIDA-LARA

Plumas limpias de contaminantes externos.

manentes, sobre todo en sitios muy contaminados, y disponer así de información temporal a largo plazo, lo cual incrementaría el valor de la colección y permitirá establecer programas para evitar o manejar adecuadamente los contaminantes.

La dualidad de algunos metales respecto a que por una parte son esenciales pero se vuelven dañinos en determinadas concentraciones, demanda un arduo trabajo entre la comunidad científica y la clase política. Mas como se describe en este artículo, en las tareas del monitoreo de ese peligro para la salud humana y medioambiental, las aves, admiradas por su belleza visual y melódica, son nuestras aliadas.

Bibliografía

- Dietz, R., Outridge, P. M., y Hobson, K. A. (2009). Anthropogenic contributions to mercury levels in present-day Arctic animals - A review. *Science of The Total Environment*, 407(24), 6120-6131.
- Odsjö, T. (2006). The environmental specimen bank, Swedish Museum of Natural History - A base for contaminant monitoring and environmental research. *Journal of Environmental Monitoring*, 8(8), 791-794.
- Suarez A. V., y Tsutsui, N. D. (2004). The Value of Museum Collections for Research and Society, *BioScience*, 54(1), 66-74.

Ruth Partida-Lara es posdoctorante en la Universidad Autónoma de Campeche (San Francisco de Campeche, Campeche, México) | rpartida@uacam.mx | <https://orcid.org/0000-0003-3012-4760>

Jaime Rendón-von Osten es profesor-investigador en la Universidad Autónoma de Campeche (San Francisco de Campeche, Campeche, México) | jarendon@uacam.mx | <https://orcid.org/0000-0002-3585-0211>

Paula L. Enríquez es investigadora en El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal (San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México) | penrique@ecosur.mx | <https://orcid.org/0000-0002-8195-1363>

Potencial biotecnológico de los hongos

Amairani Reyna, Libni A. Castrejón Noguérón, Jorge Luis Folch Mallol y María del Rayo Sánchez Carbente

Resumen: Los hongos se encuentran entre los seres vivos más numerosos en la Tierra, y además de sus usos conocidos en la gastronomía, medicina o expresiones culturales, constituyen un mundo abierto de posibilidades biotecnológicas. Los aún escasos estudios referentes a especies microscópicas, particularmente las que toleran entornos extremos, resultan relevantes para comprender las adaptaciones que les permiten sobrevivir en una diversidad de ambientes, incluyendo los más inhóspitos en cuanto a frío, calor, salinidad, acidez y contaminación. Además, sus aplicaciones potenciales se ligan a diversos rubros industriales y medicinales, mostrando que el reino Fungi nunca dejará de sorprendernos.

Palabras clave: nanotecnología, micotecnología, reino Fungi, hongos microscópicos, proteínas anfipáticas.

Maayat'aan (maya): U k'a'abetkunsal kuuxum wáaj hongos ti' biotecnología

Kóom ts'íibil meyaj: Le kuuxumo'ob wáaj hongo'ob ti' yaano'ob ichil le ba'alo'ob jach ya'ab kuxa'ano'ob yóok'olkaab, ts'o'oke' ma' chéen k'ajola'an ku k'a'ana'ankunsa'al ti' meyaj janal, ti' ts'aak wáaj tu jeel bix suukil u k'a'abetkunsal, bey xan seen ya'ab ba'alo'ob ku béeytal u meyajta'al yéetel biotecnología. Ma' ya'ab xak'almeyajo'ob yaan yóok'olal le ch'í'ibal mejen yik'elo'ob wáaj microscópica'ob, je'elbix le ma' neetso'obo', u xo'okolo'obe' ku yáantik k k'ajóoltik bix u meetiko'ob ti'al u kuxtalob ich talamilo'ob yaan bak'pachtiko'ob, je'ex kúuchilo'ob tu'ux ma' chéen ch'a'abil kuxtali' tumen jach ke'el, wáaj táaj ooxol, ch'óoch', su'uts' yéetel jach éek'. Bey xan, bix u seen k'a'ana'ankunta'ale' yaan u yil yéetel u meyajil industrial yéetel ts'aakil, leti' e'esik le kuuxumo'ob wáaj reino Fungio' bixbik'iin u p'atik u meentik u ja'ak'al k óol.

Áantaj t'aano'ob: nanotecnología, micotecnología, reino Fungi, kuuxum microscópico'ob, proteínas anfipáticas.

Bats'i k'op (tsotsil): Yipal sju'elal yuyetik

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Ep ta chop yuyetik kuxajtik ta Banamile, ojtikinbil ma'uk no'ox xu' ta xich' tunesel ta ve'lil, ta poxil, ta k'usik yan xtun ta talel kuxlejajil, stak' tunesel yipal xch'uch'ulal kuxajtik sventa sjelel stalelal, xch'iesel, slekubtasel vomoletik chonbolometik. Jutuk to no'ox chanbil ojtikinbil jchop bik'tal tajek yuyetike, ja' li jchop sna' xch'i ta osilaltik bu jutuk no'ox oy kuxlejale, jech-o xal ach' sk'oplal ta sna'el smelolal k'uxi ta xnop ta xch'i ta jeltos osilaltike, jech k'ucha'al ta sik, ta k'ixin osil, ta yats'milal banamil nabetik, xchi'uk ta osilaltik sokem ta sk'a'epal li jch'ieletike. Jech no'ox xtok, li yipal sju'elale te nitil ta spasel smeltsanel jeltos epal poxiletik xchi'uk yantik, skotol bik'tal yuyetike ta xak' ta ilel ti staoj yip ta jtojolaltike.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: nanotecnología, micotecnología, ep ta chop skotol unin bik'tal tajek yuyetik, unin bik'tal tajek yuyetik, proteínas anfipáticas.

Cuando llega la temporada de lluvias, los hongos brotan de la tierra en multitud de formas y colores. Muchos son comestibles, de importancia ritual o de uso en la medicina, y en ellos convergen tradición y cultura relacionadas con su recolección, usos y consumo. Son organismos cosmopolitas, pues se les encuentra prácticamente en todo el mundo, y sobreviven en el suelo, en los troncos de los árboles, en materia orgánica en descomposición y, en general, en medios húmedos. Constituyen uno de los grupos de seres vivos más numerosos en el mundo.

La riqueza fúngica no se restringe a los organismos macroscópicos que apreciamos en la vida cotidiana, sino que se extiende a una vasta distribución de especies microscópicas en distintos hábitats, inclusive en ecosistemas extremos, que van desde desiertos y montañas hasta cuerpos de agua salada, como lagunas y mares. Muchas de estas especies ni siquiera se han descrito, pero es necesario ampliar nuestro conocimiento sobre ellas, pues podrían ser fuente de nuevos agentes terapéuticos o de productos para aplicarse en la nanotecnología.

Distribución todo terreno

En México se calcula que existen cerca de 200 mil especies de hongos, y de acuerdo

con el libro *México: tierra de hongos*, de Cecilia Ofir López Sánchez (Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas, 2022), 320 son de interés gastronómico, lo que refuerza su importancia cultural. Como dato interesante, los chinantecos, un pueblo originario de Oaxaca con un rico conocimiento etnocológico, tienen en su lengua alrededor de 27 nombres ligados a unas 36 especies de uso local, y 70 vocablos relacionados con los hongos, según documentan el especialista Alexanders López-García y sus colaboradores en algunas investigaciones. Se trata de nombres compuestos que incluyen elementos descriptivos, con los que incluso diferencian a organismos similares, como en el caso de *Laccaria laccata* var. *pallidifolia*, "hongo pata de pájaro", y *Laccaria nobilis*, "hongo pata de guajolote". Esta comparación es importante porque muestra la relación entre la diversidad fúngica y el conocimiento que de ella tienen gran parte de los pueblos originarios.

Es de suponer que en diversas regiones del mundo los vínculos entre los seres humanos y los hongos son milenarios, considerando la diversidad y posibilidades de aprovechamiento de estos organismos, cuyas adaptaciones fisiológicas les han dado la capacidad para sobrevivir con los nu-



Laguna salada de Baja California.

trientes disponibles en su entorno, incluso en los lugares más inhóspitos. Por ejemplo, mediante la producción de enzimas pueden degradar sustratos difíciles de digerir, como la biomasa vegetal: madera, hojarasca, bagazo de caña, paja de trigo o de avena. Además, cuentan con mecanismos que les permiten crecer sin importar las condiciones extremas, de forma que los encontramos en suelos con altas concentraciones de sal, contaminados con hidrocarburos o pobres en fósforo.

En las últimas décadas se ha descrito la presencia de hongos microscópicos en lagos ácidos o salados o en sitios con temperaturas elevadas, lo que ha propiciado un gran interés en el aislamiento de nuevas especies que puedan utilizarse con propósitos biotecnológicos novedosos. Estas diminutas criaturas son parte de un gigantesco espectro de posibilidades por su aplicación potencial en la medicina y diversas ramas de la industria.

Micotecnología

Además de su potencial para el futuro, los hongos microscópicos nos acompañan desde tiempos remotos. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es indispensable para fermentar la masa para el pan o distintos tipos de bebida, como la cerveza; mientras que el hongo *Penicillium roqueforti* se emplea en la elaboración del queso Roquefort. Otros, como las micorrizas o los hongos de repisa, se asocian de manera simbiótica o parasitoide con plantas, por lo que resultan indispensables para la salud de los bosques.

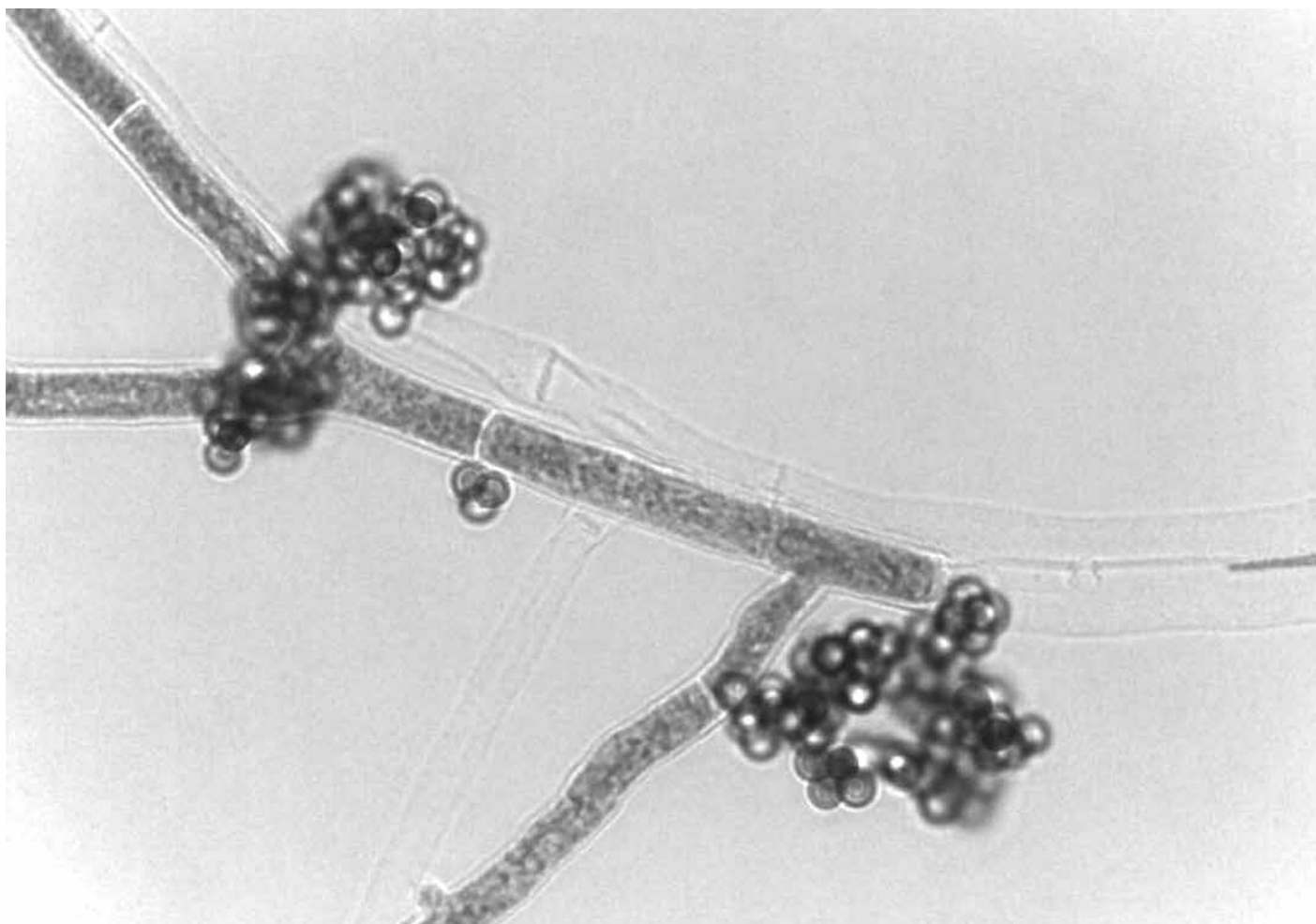
Su uso en la fermentación de vinos, quesos, cerveza y pan —además de su utilidad en la producción de saborizantes, pigmentos y aromas— muestran cómo la industria alimentaria es una de las actividades que más incorpora a los hongos en sus procesos. Sin embargo, hay otras opciones de aprovechamiento. En la medicina se han utilizado en la obtención de antibióti-

cos, cuyos casos más destacados son la penicilina (aislada por Alexander Fleming del hongo *Penicillium notatum*, en 1928) y la cefalosporina (aislada por Giuseppe Brotzu, en 1948, de *Cephalosporium acremonium*). De igual modo, se ha explorado su potencial como generadores de agentes terapéuticos; por ejemplo, la fenilhistina proveniente de *Aspergillus utus* para tratar la diabetes y las enfermedades neurodegenerativas, y otros metabolitos como protectores cardiovasculares y antivirales, como la quetomina proveniente de *Chaetomium cristatumis*, la cual tiene actividad inhibitoria sobre el virus de la estomatitis vesicular.

Recientemente, la búsqueda se ha enfocado en encontrar en los hongos los compuestos llamados metabolitos secundarios para que sean antagonistas del SARS-CoV-2, tales como terpenoides, isocumarinas, xantinas, lectinas y glicoproteínas. Recordemos que los metabolitos secundarios no intervienen en las funciones vitales inmediatas de los organismos, pero sí en su supervivencia a largo plazo. También se han realizado estudios referentes a los polisacáridos de los hongos, y se ha encontrado que algunos reducen la formación de biofilms, es decir, que inhiben la adhesión de microbios en superficies y por tanto ralentizan su crecimiento. Aunque no se ha llegado a fases experimentales avanzadas, el camino ya se ha iniciado.

La lista de beneficios actuales y potenciales de los hongos parece interminable. Pero para seguir con ella, destaca también que su uso ha permitido que vitaminas como la B1 y B2 se hayan escalado a nivel industrial. Y qué decir de los avances en la agroindustria, donde han funcionado como bioplaguicidas para reducir el impacto ambiental, ya que no generan los





Micrografía de un conidióforo, que es una estructura que aloja a las conidias, unas esporas mediante las que se logra la reproducción asexual de diversas especies de hongos.

residuos contaminantes de los plaguicidas convencionales. Son promotores del crecimiento vegetal y favorecen la resistencia de las plantas contra condiciones desfavorables para su desarrollo, como los cambios abruptos en la temperatura o la escasez de agua. Así, en un estudio encabezado en 2020 por Irán Tapia-Vázquez, doctora en Ciencias Naturales, se demostró que las levaduras del género *Rhodotorula* y *Naganishia* (aisladas del volcán Nevado de Toluca) promueven la germinación de semillas de chile de la variedad guajillo y confieren resistencia a las plantas ante tratamientos que simulan las condiciones de una helada.

Hay más investigaciones que pueden alcanzar una trascendencia mayúscula. En las últimas décadas, por dar una muestra, se han explorado las cualidades de los hongos filamentosos del género *Aspergillus* y de levaduras como *Rhodotorula*, en cuanto

a su capacidad como agentes para la biorremediación de ambientes contaminados con hidrocarburos (hidrocarbonoclastas) en sitios expuestos a derrames de petróleo y sus derivados; se ha demostrado que algunos de estos hongos han degradado hasta un 90% de los contaminantes en 21 días. Sin duda, es un resultado asombroso.

Proteínas fúngicas

Una investigación que se encuentra en progreso con un gran potencial biotecnológico se relaciona con que los hongos filamentosos producen proteínas anfipáticas (es decir, una parte de la molécula es hidrofílica y otra hidrofóbica), las cuales se han utilizado como compuestos de recubrimiento. ¿Qué significa esto? Normalmente con la exposición al agua, al sol, al aire o a distintos tipos de sales, muchos tipos de materiales se deterioran, de modo que se ha

buscado cómo aumentar su durabilidad y tiempo de vida útil. Tal necesidad ha motivado el desarrollo de los recubrimientos con polímeros o moléculas como protección ante los factores físicos, y justamente los hongos son funcionales en esto.

Una de sus peculiaridades es que cuentan con una capa protectora hidrofílica-hidrofóbica que cubre su pared celular y les ayuda a emerger de la tierra, venciendo la tensión superficial. Esa capa está formada por unas proteínas llamadas hidrofobinas, las cuales forman películas que permiten a los hongos crecer en la interfase agua y aire (límite entre el agua y el aire), además de parasitar o infectar a otros organismos. Dada la estabilidad de las películas formadas por dichas proteínas, se explora su aplicación en materiales para el recubrimiento de superficies con fuerte exposición a factores ambientales, tales como electrodos o mate-


riales electroactivos, con el fin de protegerlos de la oxidación, o bien, utilizar estas películas para generar superficies con propiedades similares al teflón. En la industria textil se han aprovechado para recubrir algodón o poliamida, e incluso se ha logrado revestir piedras con ellas, lo cual podría tener impacto en la conservación de edificios de valor histórico.

Otra aplicación potencial de estas proteínas fúngicas aterriza en la nanotecnología (manejo de materia a escala atómica o molecular). Se podrían utilizar en la elaboración de nanodispositivos (objetos minúsculos de aplicación en medicina, electrónica u otras ramas), implantes médicos o como biosurfactantes; en cuanto a este último concepto que no es sencillo de explicar, basta decir que tiene aplicaciones muy prácticas, como la elaboración de jabones. Así que los hongos no son solo importantes para la alimentación, sino que su versatilidad para crecer en diferentes ambientes es una fuente importante para la exploración de productos con variados usos industriales.

Aplicaciones a la luz de las ciencias ómicas

Las llamadas ciencias ómicas se refieren a varias disciplinas con las que es posible analizar a gran escala y con soporte tecnológico de última generación, moléculas como el ADN, ARN y proteínas, entre otras. La interacción entre estas disciplinas permite una mejor comprensión de los sistemas biológicos.

En tal sentido, la genómica o estudio de la estructura y función del genoma, y la proteómica o el estudio del conjunto de proteínas presentes en una célula o en un compartimento celular, entre otras ómicas, nos han llevado a integrar los conocimientos de la biología básica, lo que en muchos casos deriva en la generación de diversas aplicaciones biotecnológicas como las que se han mencionado antes, ya que conocer el genoma o información genética de un organismo nos permite incidir en mejorar la fabricación de productos que son de interés industrial o médico. Por ejemplo, el hongo *Aspergillus niger* no solo ha sido modificado genéticamente para producir ácido cítrico, cuyo uso en alimentos y bebidas es frecuente, sino que además se ha editado el genoma de diversos hongos, incluidos los comestibles como el champiñón (*Agaricus bisporus*), en los que la modificación evita su oscurecimiento.

Otro ejemplo lo encontramos en la metabolómica, que se refiere al estudio de los compuestos producidos por las células, particularmente las fúngicas; esos compuestos pueden presentar propiedades terapéuticas, como la penicilina y otros ejemplos mencionados en las secciones anteriores. En conclusión, aún hay una brecha sin explorar en el tema del aprovechamiento de los hongos, tanto de los que consumimos de manera cotidiana como de aquellos que pasan desapercibidos por ser microscópicos; su potencial es inimaginable. 

Bibliografía:

- Aguirre-Acosta, C. E. (2021). *Uso de hongos en la industria, vital para la economía mundial*. México: DGCS-UNAM. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021_904.html
- Cao, L., Zhang, Q., Miao, R. *et al.* (2023). Application of omics technology in the research on edible fungi. *Current Research in Food Science*, (6), 100430. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.100430>
- Hashem, A. H., Attia, M. S., Kandil, E. K. *et al.* (2023). Bioactive compounds and biomedical applications of endophytic fungi: a recent review. *Microbial Cell Factories*, 22(art. 107). <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02118-x>

Amairani Reyna es estudiante del Doctorado en Ciencias Naturales en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Cuernavaca, Morelos, México) | amairani.Reyna@outlook.com

Libni A. Castrejón Noguez es estudiante de Biología en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Cuernavaca, Morelos, México) | libni11tag@gmail.com

Jorge Luis Folch Mallol es profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Cuernavaca, Morelos, México) | jordi@uaem.mx | <https://orcid.org/0000-0002-1860-8175>

María del Rayo Sánchez Carbente es profesora investigadora de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Cuernavaca, Morelos, México) | maria.sanchez@uaem.mx | <https://orcid.org/0000-0001-9586-3033>



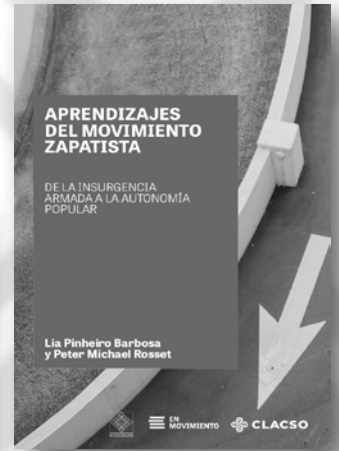
A toda teta. Lactancias maternas como fuerza amorosa desde las voces de sus protagonistas



Dzit Bacalito y las variedades de maíz frente a Transgénico



Manatíes de la costa maya



Aprendizajes del Movimiento Zapatista. De la insurgencia armada a la autonomía popular

¡No te pierdas las más recientes novedades!



Los desafíos de la enfermedad renal crónica en México (2000-2018)



Enseñanza superior en tiempos de pandemia



Cartografías de la subalternidad migratoria: bestialización, inhumanidad y contrahegemonía en la frontera México

Consulta el catálogo de Libros ECOSUR en www.ecosur.mx/libros

Información y ventas: Oscar Chow, libros@ecosur.mx

Cordyceps

más allá de la ficción



Luis Espin en iStock

Rogelio de J. Treviño-Rangel e Hiram Villanueva-Lozano

Resumen: Cordyceps es un género de hongos que recientemente saltó a la fama por la aclamada serie televisiva The Last of Us, en donde se le acusa de controlar el comportamiento humano y causar una épica destrucción. En realidad se trata de organismos que parasitan insectos, arácnidos y otros hongos, aunque para las personas representan una potencial fuente de nutrientes y compuestos bioactivos con propiedades benéficas, particularmente la cordicepina, su principal metabolito. Además, sus cualidades como bioinsectida pueden aprovecharse en el control biológico de plagas, todo lo cual indica que estos hongos pueden ser aliados y no un riesgo apocalíptico.

Palabras clave: Ascomicetos, hongos entomopatógenos, control biológico, salud.

Maayat'aan (maya): *Cordyceps ichil ma' chéen tuus tsikbali'*

Kóom ts'íibil meyaj: Cordyceps' jun múuch' ch'íibalil kuuxum wáaj hongo'ob ma' úuch k'ajólta'ak yo'osal le serie ku máansa'al ti' tele u k'aaba'e' The Last of Us, tu'ux ku ya'alale' ku tselik u tuukul máak yéetel ku seen loobiltik. U jaajile' ik'elo'ob ku tak'al ti'al u loobiltik amo'ob, chiwolo'ob, siina'ano'ob yéetel tu jeel kuuxumo'ob, ba'ale' ti' u wiinkilal máake' ku béeytal u muka'ankunsik yéetel u jeel ba'alo'ob bioactivo'ob táaj ma'alobo'ob, je'elbix le cordicepinao', le ba'ax ku jóok'ol chéen u k'áam k wiinkilal, k'ajóola'an beey metabolito. Ts'o'ok xane', ma'alob ti'al u kínsik yik'elo'ob, jump'éeel bioinsectida ku béeytal u k'ána'akunsa'al ti'al u yantal jets'oolil yóok'olkaab, ti'al plaga, lebetik túun le hongo'oba' je'el u yáantajo'obe', ma' wa sajbe'entsil ba'al ku béeytal u kínsik wíiniki'.

Áantaj t'aano'ob: Ascomiceto'ob, kuuxumo'ob entomopatógeno'ob, jets'oolil yóok'olkaab, toj óolal.

Bats'i k'op (tsotsil): *Epal chop yuyetik jtos o stalelal*

Smelolal vun albil ta jbel cha>bel k'op: Cordyceps ja' jtos yuyetik ach' to lok' sk'oplal skoj ti lok' ta jtuch' elov ta televisyon The Last of Us, te yo bu la yak'ik ta ilel oy smul skoj ti ja' ta sokesbe sjol stalelal jch'ieletike xchi'uk ja' ta smul tuki skotol k'usitik oye. Ta meel xkaltike ja' bik'tal chanuletik chve' ta bik'it usetik, ometik xchi'uk yantik yuyetik, pe mu'yuk ta smil, mi la slajes li jch'ieletike toj lek sju'elal yu'un chak' lek yipal ta bek'talil oy slekial, ja' ti cordicepina sbie, ti ja' te oy stsatsal poxile. Ja' no'ox jech, xu' ta xich' tunesel ta stuk'ulanel mu x-epajuk li bik'tal chanuletike chiletik, ometik xchi'uk yantik, stak' a'iel ti yu'un lek ta jkuxlejaltik yu'un mu'yuk ta xmilvane.

Jbel cha>bel k'opetik tunesbil ta vun: Ascomicetos, yuyetik ta x-ipaj ta xcham yu'un bik'tal chanuletik, stuk'ulanel mu x-epajuk bik'tal chanuletik, kuxlejaj.

Los hongos *Cordyceps* se han convertido en un referente para los fanáticos de *The Last of Us*, la nueva serie de la cadena televisiva HBO, basada en el icónico videojuego del mismo nombre. En la ficción mencionada, estos organismos mutaron a causa del calentamiento global y han provocado una infección en todo el mundo que transforma a los seres humanos en zombis asesinos. Afortunadamente, la realidad es muy distante a este argumento apocalíptico.

Cordyceps es un género real de hongos con numerosas especies parásitas, la mayoría de las cuales infectan artrópodos, por lo que podrían aprovecharse en el control de plagas. Están muy lejos de poder infectar al cuerpo humano; en cambio, se utilizan en la medicina tradicional china, y han captado el interés científico en las últimas décadas porque se consideran ricos en biomoléculas activas naturales, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, lo que los convierte en un coctel energizante al que se le atribuyen diversas propiedades terapéuticas.

Verdades sobre las hormigas zombis

Los ascomicetos (Ascomycota) son un filo o división del reino de los hongos, el más grande, que abarca una gran variedad de géneros. Las trufas y la mayoría de leva-



Reza Saputra en iStock

duras y mohos son parte de este filo, incluyendo los *Penicillium* de donde se obtiene la penicilina. Los *Cordyceps* son también hongos ascomicetos; de hecho, son el conjunto más grande y diverso de ellos. Pertenecen a la clase Sordariomycetes, orden Hypocreales y familia Clavicipitaceae, con cerca de 750 especies descritas.

La palabra *Cordyceps* proviene del vocablo griego *kordyle* que significa "club" y de la raíz latina *ceps* que corresponde a "cabeza". La etimología describe la forma en la que el hongo se extiende en el pecho momificado, particularmente desde la boca

(localizada en la cabeza), de una larva de insecto infectada.

Se trata de organismos parásitos que infectan a diversos artrópodos, básicamente insectos y arácnidos, instalándose dentro de ellos (endoparásitos); también llegan a afectar a otros hongos. Su distribución geográfica depende en gran medida de la de sus hospederos; sin embargo, pueden crecer en montañas con una altitud aproximada a los 3,600 o 4,000 metros sobre el nivel del mar, así que se les puede encontrar en América del Norte, Europa y Asia, sobre todo en países como China, Nepal,

Japón, Vietnam, Corea, Tailandia y ciertas regiones subalpinas de la India.

De entre los más de mil hongos patógenos de animales e insectos conocidos, *Cordyceps* encabeza la lista de los segundos. Sus hospederos preferidos son las larvas de mariposa, pero escarabajos, saltamontes, cigarras, abejas, arañas y otros más, pueden igualmente contraer la infección. De hecho, un caso muy conocido es el de las llamadas "hormigas zombis".

La serie *The Last of Us* se inspiró en la especie *Ophiocordyceps unilateralis*, la cual afecta a unas hormigas carpinteras que habitan en las copas de los árboles de bosques tropicales. Los hongos producen enzimas que degradan el exoesqueleto (estructura de cobertura) de los insectos y alteran su sistema nervioso, con lo que controlan sus patrones de comportamiento. En otras palabras, los hongos invaden el sistema nervioso de las hormigas, las alteran y hacen que abandonen su colonia, para luego trepar a lo alto de las ramas en donde finalmente mueren al paso de unos días, afeerradas a las hojas con sus mandíbulas; el hongo brota del cuerpo del insecto, favoreciendo con ello la dispersión de esporas con lo que finalmente se afecta a más hormigas.

Eficaz bioinsecticida

En general, los *Cordyceps* pueden colonizar a sus hospederos cuando estos son todavía larvas, ya sea a través de las esporas que han sido liberadas en el aire o porque la larva consume algún alimento contaminado con micelio de los hongos (una estructura filamentosa). Las esporas buscan la oportunidad de "aterrizar" en los insectos, se adhieren a ellos y finalmente penetran. Más adelante, extienden sus redes de micelio en la hemolinfa del insecto, la cual es un líquido que transporta nutrientes; ahí secretan un amplio repertorio de metabolitos secundarios (compuestos ligados a la sobrevivencia a largo plazo), entre los que se encuentran: cordicepina, adenosina, hidroxietil adenosina y didesoxiadenosina. Del mismo modo generan un coctel de enzimas

con propiedades insecticidas que favorecen el crecimiento fúngico.

Desde una perspectiva económica, *Cordyceps* tiene una importante demanda entre los lugareños que residen en altas elevaciones, pues al ser nocivo para las larvas de insectos, lo utilizan como bioinsecticida para mantener a raya la población de polillas, por ejemplo. Justamente esta peculiaridad ha permitido emplear a *Cordyceps* como agente de control biológico de plagas en la agricultura, evitando así el uso de fitoquímicos dañinos para el ser humano y el medio ambiente.

Un claro ejemplo del gran potencial de estos organismos es el uso de la especie *Cordyceps cateniannulata* para el control de la mariposa *Stenoma impressella*, la cual es una de las plagas defoliadoras (consumidoras de follaje) más importantes de la palma aceitera en Colombia; algunos investigadores ya están realizando estudios al respecto con resultados prometedores.

En México, uno de los cinco países megadiversos del planeta, se han reportado especies que infectan insectos (entomopatógenas): *Ophiocordyceps entomorrhiza*, *O. gracilis*, *O. gracilioides* y *O. stylophora*, representando nuevos registros para el Estado de México, y *Cordyceps takaomontana* y *C. scarabaeicola*, citadas por primera vez para nuestro país. El conocimiento de las especies es un paso para su posible aprovechamiento.

Sin embargo, a pesar de la beneficiosa oportunidad que estos hongos representan para los sistemas agrícolas del mundo, el panorama no es el más alentador. Desa-

fortunadamente, su cosecha extrema, así como el calentamiento global, plantean un gran riesgo que podría conducir a la rápida disminución de los especímenes naturales.

Ya se ha descrito que el crecimiento de *Cordyceps*, tanto en términos de calidad como de cantidad, depende estrechamente de la temperatura ambiental, además de otros factores antropogénicos, como el manejo del suelo durante el periodo de cosecha (recolección directa del hongo crecido sobre su sustrato), por lo que las fluctuaciones climáticas globales tienen un profundo impacto y consecuencias negativas en su ciclo de vida.

Cordyceps como aliado de la salud

Estos interesantes organismos se han utilizado desde hace mucho tiempo en la medicina tradicional china como tónico para el tratamiento de varias condiciones médicas, quedando incluidos oficialmente en la farmacopea china en 1964. Sus aplicaciones abarcan trastornos respiratorios, hepáticos y renales, enfermedades cardíacas y pulmonares, hiperglucemia (niveles elevados de glucosa en sangre), hiperlipidemia (niveles elevados de lípidos en sangre) y como agentes antitumorales. Además, se ha reconocido que funcionan como un potenciador de energía y de resistencia para mejorar la capacidad aeróbica y aumentar la inmunidad celular

En otras regiones del mundo, la evidencia científica creciente apunta a que, ya caracterizados y estudiados los componentes/moléculas derivados de estos hongos, pueden tener





Cultivos para cosecha de *Cordyceps militaris* (Fuente: <https://goo.su/Lgqqx>).

un futuro prometedor como nutraceuticos y como medicina complementaria. En general, *Cordyceps sinensis* y *C. militaris* son, por mucho, los dos miembros más representativos del género, los cuales se encuentran ampliamente explorados y estudiados.

Recientemente se comunicó el hallazgo de una nueva especie descrita por primera vez para México, *Cordyceps mexicana*, en investigaciones encabezadas por Lorena López-Rodríguez, quien menciona que podría tener propiedades similares a *C. militaris*. Esta especie se distribuye particularmente en bosques de pino-encino del Estado de México.

Entonces, aunque faltan aún muchos estudios para avanzar en el conocimiento de *Cordyceps*, es claro que posee abundan-

tes cantidades de componentes bioactivos, entre los que se encuentran proteínas, grasas, aminoácidos esenciales, aceites volátiles, carotenoides, cordicepina, compuestos fenólicos, flavonoides, ácido cordicéptico, minerales, vitaminas (B₁, B₂, B₁₂, E y K) y varios tipos de carbohidratos como monosacáridos, oligosacáridos, polisacáridos, esteroides, nucleósidos y otros más. De todos ellos, el principal es la cordicepina, la cual ha sido muy estudiada tanto por su valor medicinal como por su potencial nutraceutico, es decir, que aporta beneficios a la salud más allá de su valor nutricional.

Debido a la escasez y al elevado costo de los especímenes que crecen en la naturaleza, la mayoría de las especies de *Cor-*

dyceps ahora se cultivan artificialmente, para esto se acondicionan sustratos específicos que aportan nutrientes indispensables para el crecimiento y reproducción del hongo dentro de una atmósfera con condiciones controladas, permitiendo su fructificación y posterior recolección.

Si bien *The Last of Us* plantea un escenario devastador y sin precedentes para la raza humana a causa de la infección por *Cordyceps*, no se trata más que de una estrategia de mercado para lograr acaparar a un sector importante de la población interesado en las historias de ciencia ficción, similar a como sucedió con la *Guerra de los mundos* de H. G. Wells. En estos tiempos pospandémicos por la covid-19, la historia puede diluir los límites entre fantasía y realidad. Sin embargo y, como ya se revisó, lo que propone esa serie televisiva dista mucho de la verdad, por lo que no hay motivo para crearle mala fama a estos hongos.

Al cumplir su función ecológica, *Cordyceps* evita que los insectos dañen la estructura y el equilibrio natural de los ecosistemas, y es importante la posibilidad de aprovecharlos como bioinsecticidas para el control de plagas que afectan cultivos agrícolas. Aunado a que varias especies poseen un gran potencial terapéutico y pueden ayudar a revolucionar el descubrimiento de diferentes compuestos activos benéficos para la salud humana, no habría duda de calificar a estos hongos de aliados y no como plagas apocalípticas. 🍄

Bibliografía

- Kuo, H. C., Huang, I. C., y Chen, T. Y. (2015). *Cordyceps* s.l. (Ascomycetes) Species Used as Medicinal Mushrooms are Closely Related with Higher Ability to Produce Cordicepin. *International Journal of Medicine Mushrooms*, 17(11), 1077-1085.
- López-Rodríguez, L. et al. (2022). *Cordyceps mexicana* sp. nov., parasitizing *Paradirphia* sp. moths: A new sister species of the *Cordyceps militaris* complex, distributed in central Mexican Quercus-Pinus mixed forests. *Mycologia*, 114(4), 732-747.
- Montes-Bazurto, L. G., Bustillo-Pardey, A. E., y Medina-Cárdenas, H. C. (2020). *Cordyceps cateniannulata*, a novel entomopathogenic fungus to control *Stenoma impressella* Busck (Lepidoptera: Elachistidae) in Colombia. *Journal of Applied Entomology*, (144), 788-796.

Rogelio de J. Treviño-Rangel es profesor-investigador de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Monterrey, Nuevo León, México) | rogelio.trevinoran@uanl.edu.mx | <https://orcid.org/0000-0002-4433-6556>
 Hiram Villanueva-Lozano es investigador y coordinador de la Unidad de Vigilancia Epidemiológica del Hospital Regional ISSSTE Monterrey (Nuevo León, México) | dr.villanueval@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4121-2240>

Copales, cuajiotos y sus visitantes

Elisa Maya-Elizarrarás, Yessica Rico Mancebo del Castillo y Carlos A. Cultid-Medina

Resumen: La polinización es un proceso vital, tanto por su impacto en la producción alimenticia como porque garantiza la diversidad biológica y la supervivencia de especies vegetales fundamentales en los ecosistemas. Las burseras son un género de árboles y arbustos aromáticos que incluye copales y cuajiotos, de los que se sabe poco sobre sus polinizadores y convendría contar con más información. En México son importantes cultural y económicamente, por ejemplo, para elaborar artesanías y por sus resinas de uso medicinal y ritual; sin embargo, ya enfrentan riesgos palpables, por lo que urge ampliar nuestro conocimiento y acciones para su conservación.

Palabras clave: bosques tropicales, *Bursera cuneata*, Burseraceae, polinización, servicios ecosistémicos.

Maayat'aan (maya): Pom, chakaj yéetel u yu'ula'abo'ob

Kóom ts'íibil meyaj: U máansa'al u ta'anil lool ts'o'ok u k'antal wáaj polinizacióne' jump'éeel ba'al táaj k'a'abet, tumen leti' táasik u ch'uyul u yich janalbe'eno'ob bey xan ku yantal jejeláas k'áaxo'ob yéetel ma' u ch'ejel ch'i'ibail paak'al jach k'a'ana'an tu kuxtalil yóok'olkaab. Le bursera'obo' jun múuch' che'ob yéetel ki'ibok che'ob ma' jach ka'analo'obi', ichile' ti' yaan le pomo' yéetel le chakajo', ma' jach k'ajóola'an yo'osal u yik'elo'ob ku bisiko'ob u ta'anil loolo'ob, kex jach k'a'abet u tsikbata'al. Way Méxicoe' jach k'a'abet ti'al u miatsil kaaj bey xan yéetel ku náajalta'al táak'in, je'elbix, ti'al u meenta'al artesanía'ob yéetel ku k'a'abetkunsá'al u yits ti'al ts'aak bey xan ti' payalchi'ob; ba'ale', chich u bin u ch'ejel, lebetik jach k'a'abet k k'ajóoltik yéetel bix ku béeytal k kanáantik.

Áantaj t'aano'ob: bosques tropicales, *Bursera cuneata*, *Burseraceae*, máansa'al u ta'anil lool, servicios ecosistémicos.

Bats'i k'op (tsotsil): Ste'elal pom xchi'uk xchanulal chak'be ya'lel snichimaltake

Smelolal vun albil ta jbel cha>bel k>op: Li ya'lel nichimetike oy xkuxlejal, k'alal ta x-jelav batel ya'lel ta yantik nichimetike chak' tal yol, li'e ja' ta xch'i tal yu'un vomoletik sve'el k'u yepal kuxajtik ta banamile xchi'uk ja' sventainoj kuxajtik to jujuhop vomoletik xch'i ta jujutos osilaltike. Li ste'elal pome ja' jtos te'etik ts'ileletik toj lek smuil yik' xchi'uk ja' te xlok' talel li pome, jutuk no'ox na'bil k'usi xchanulal ta xkuch batel ya'lel ta xnichimaltake jech-o xal sk'an n'ael yu'un oy stunele. Ta México tsots sk'oplal ta stalel xkuxlejal xchi'uk ta stak'inale, yu'un stak' tunesel ta smeltsanel alak' sba nats'iletik xchi'ukyantik, li spomale stak' tunesel ta poxil xchi'uk ta pasel k'inetik; taj une, oy la sk'oplal ta xtub talel sts'unobale, ja' yu'un sk'an ta ora no'ox sa'bel smelolal xchi'uk sk'elel k'usi xu' ta pasel sventa mu xtub li sts'unobale.

Jbel cha>bel k>opetik tunesbil ta vun: te'etik vomoletik xch'i ta k'ixin osil, *Bursera cuneata*, jtos te' oy xuch'al spom, ya'lel nichimetike ta x-jelav batel ta yantik nichimetik, stunesel slekial k'usi chak' li jujutos osilaltike vo' ve'ilil xchi'uk poxiletik.

Entre polen, néctar y animales

Una salida al bosque puede ser inigualable por la diversidad de tamaños, formas, aromas y colores de las flores, las cuales no solo capturan nuestra atención, sino que también atraen a múltiples especies animales gracias a dos atractivas y muy nutritivas recompensas: el néctar (fuente de azúcares) y el polen (fuente de proteínas).

Imaginemos como un trueque el encuentro entre plantas y animales —sobre todo murciélagos, aves e insectos—, en el que las plantas esperan que los animales acarreen su polen de una flor a otra de su misma especie. Aunque percibimos el polen como un fino polvillo, en realidad está compuesto por millares de minúsculos granos, y cada uno protege una célula sexual (gameto masculino). Entonces, mover el polen permite que esos gametos lleguen a la estructura reproductora femenina (estigma) o entrada hacia el óvulo (gameto femenino). Así ocurre la fecundización que dará lugar a los frutos con una o muchas semillas de las que brotarán nuevas plantas. Este proceso es la polinización.

Las plantas recompensan ese servicio principalmente con néctar, un líquido dulce que nutre y da energía a los animales visitantes. Pero también pueden guardar y

usar parte del polen como una fuente de proteína para sí mismos y para sus crías. La relación entre flora y fauna a través de la polinización se considera mutualista, pues ambos seres reciben beneficios.

Sin embargo, no todos los animales que revolotean alrededor de las flores son polinizadores. Hay al menos tres grupos: 1) visitantes florales de los que no tenemos datos sobre su aporte a la polinización; 2) polinizadores, y 3) antagonistas, que se acercan para extraer polen y néctar sin contribuir a la polinización (robándolo). Pero cuidado, esta historia no es sobre malos y buenos, pues una especie animal puede ser polinizadora de una especie de planta y al mismo tiempo robar el néctar de otra.

La fecundación con intervención de animales garantiza la reproducción de cerca del 75% de las plantas cultivadas, por lo que además de sustentar la diversidad de numerosas especies vegetales y animales, es vital para las personas. No obstante, el conocimiento que tenemos al respecto es limitado; más aún de las plantas silvestres que no ofrecen productos para la alimentación humana, pese a que son indispensables en los ecosistemas.

Árboles aromáticos de pequeñas flores

El género *Bursera* se compone de árboles y arbustos productores de resinas, entre ellos los copales y los cuajotes o papelillos; se encuentran en los bosques tropicales estacionalmente secos del continente americano, desde el sur de los Estados Unidos hasta el norte de Sudamérica. En México existen más de 90 especies de copales y cuajotes, de las que aproximadamente el 40% son endémicas (solo se encuentran en el país). Mientras que los copales tienen una corteza lisa, en general de color café grisácea, en la de los cuajotes se observan capas delgadas y finas que semejan un papel fino desprendiéndose del tronco de los árboles; de ahí que también se les llame papelillos.

Las burseras han sido aprovechadas desde tiempos prehispánicos, pues sus resinas y aceites se han utilizado en actividades ceremoniales o como aromatizantes y recubrimiento de artesanía, y siguen siendo vigentes su colecta, manejo y comercio. A la resina se le atribuyen propiedades medicinales antiinflamatorias, antimicrobianas, cicatrizantes y analgésicas. La madera se utiliza para múltiples propósitos: construir cercas vivas, elaborar artesanías (máscaras tradicionales, figurillas y los famosos alebrijes) o para fabricar utensilios de uso

cotidiano. De igual modo, la obtención de miel a partir de las pequeñas flores de fragante aroma, y el polen de los copales y cuajotes, ha sido una actividad económica relevante para muchas comunidades del sureste del país.

Estas plantas son también importantes ecológicamente, pues determinan en gran medida la composición y la estructura de los bosques tropicales secos. Ofrecen recursos alimenticios para un gran número de especies animales, sobre todo insectos y aves, en especial durante la temporada seca del año. Sin embargo, la deforestación para la creación de áreas de agricultura y potreros, así como su extracción y explotación no sustentable, han promovido su disminución y han incrementado el riesgo de que se extingan algunas de sus especies.

Para garantizar la supervivencia de los copales y cuajotes es necesario saber qué tan fácil germinan sus semillas, qué tan rápido crecen los árboles, y qué tantos existen en lugares determinados. También conviene saber qué animales contribuyen a su polinización y cuáles comen sus frutos y mueven sus semillas a otras partes del bosque, pues todos esos servicios ecosistémicos son necesarios para tener burseras en nuestros bosques.

Visitantes de copales y cuajotes

Aunque tenemos una gran diversidad de especies de copales y cuajotes en el occidente y sur del país, hay pocos trabajos que hayan documentado qué animales visitan sus flores y cuáles las polinizan. Menos del 5% de las especies vegetales en México cuentan con datos sobre sus visitantes florales, y mucho menos sobre sus polinizadores. En general, los principales que nos vienen a la mente son las abejas de la miel o abeja europea (*Apis mellifera*), pero no son las únicas.

En un texto publicado en 2015 por Rivas-Arancibia y sus colaboradores, se reporta que una amplia diversidad de insectos, como abejas nativas, avispas, hormigas o escarabajos, visitan las flores de una especie de copal (*Bursera copallifera*). La diversidad de insectos es muy relevante, como el tamaño, movimiento o qué tan “peluditos” estén (“pelitos” llamados setas), porque se incrementa la probabilidad de la polinización.

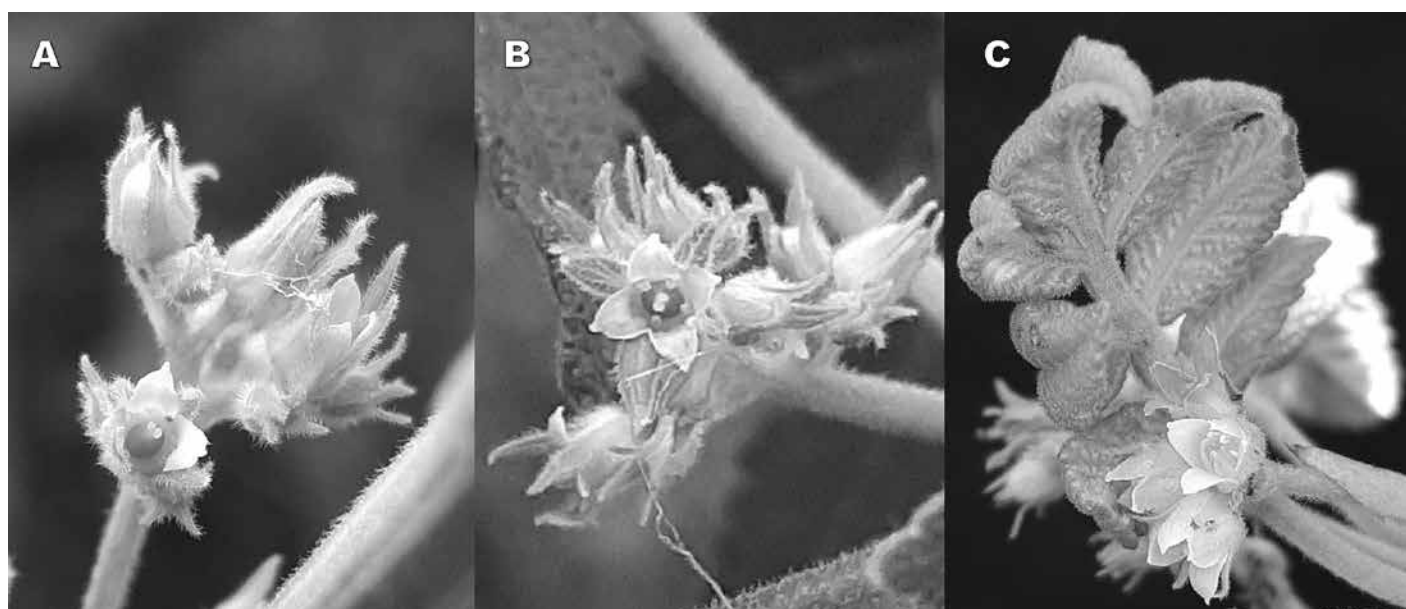
En las islas Galápagos, en Ecuador, los investigadores han descubierto que lagartijas, iguanas o aves participan en la polinización de los copales, en particular del copal o aceitilla (*Bursera graveolens*). Esta especie también habita los bosques tropicales del sur de México. Sin embargo, la poli-

nización de copales y cuajotes por animales vertebrados es un tema menos explorado si lo comparamos con lo que sabemos de los insectos.

Nuestras burseras

Como un primer esfuerzo por trabajar con las especies de copales y cuajotes en el estado de Michoacán, nos interesamos en describir los visitantes florales del copalillo (*Bursera cuneata*), que además de ser una de las tantas especies endémicas de México, se utiliza para elaborar artesanías. De acuerdo con la descripción de Jerzy Rzedowski y Fernando Guevara-Féfer (1992), el copalillo o cuerecatzundi, en lengua purépecha, es un árbol de diez metros de alto, de resina aromática y corteza lisa grisácea. Las flores tienen cuatro pétalos y es una especie dioica, es decir, que hay unos árboles solo con flores masculinas (que producen polen) y otros solo con flores femeninas, aunque también existen flores hermafroditas.

Nuestro sitio de estudio está ubicado entre los municipios de Pátzcuaro y Tzintzuntzan, en una zona donde se mezclan los bosques tropical caducifolio y de pino-encino. Fue ahí donde realizamos el muestreo de visitantes florales del copalillo entre los meses de junio y julio durante 2020, 2021

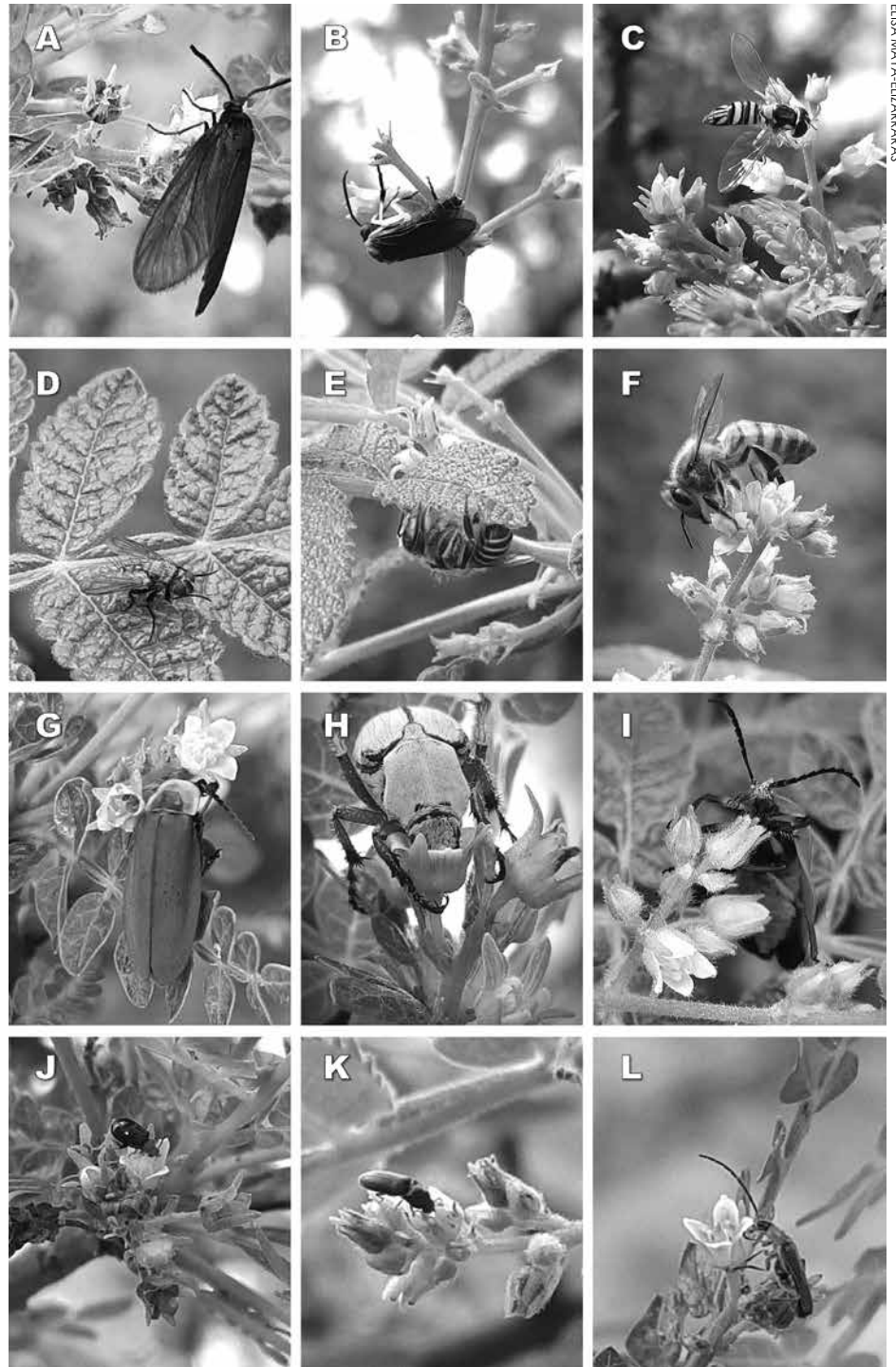


Inflorescencias del copalillo (*B. cuneata*) mostrando flores A) femeninas, B) hermafroditas y C) masculinas, de color blanquecino que miden entre 2.5 y 5 mm de largo. Fuente: Acervo personal de Elisa Maya-Elizarrarás.

y 2022. A grandes rasgos, encontramos que al menos seis órdenes de insectos (Diptera, Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera, Lepidoptera, y Neuroptera) visitaron sus flores. Entre los insectos más abundantes, registramos a diferentes tipos de moscas, abejas (mielera europea y nativas), avispas, hormigas, escarabajos, chinches, mariposas, polillas y palomillas. Las moscas destacaron por su alta diversidad de especies; con diferentes formas y tamaños visitaron las flores para chupar su néctar, incluso metiéndose por completo dentro las flores, y llevando a su paso, sobre su cuerpo, dorados y valiosos granos de polen.

Por el momento desconocemos cuáles especies de insectos podrían ser los principales polinizadores del copalillo, pero la experiencia nos llevaría a postular a aquellos que por el número de setas y características de sus cuerpos puedan transportar mejor el polen, que por su tamaño y forma de colectar el néctar hagan contacto con las partes reproductivas de las flores (anteras y estigma), y que por sus movimientos mientras forrajea (búsqueda y consumo de alimento) puedan llegar a más individuos de la misma especie de copal. Así, las moscas, las abejas y las mariposas podrían ser, con mayor probabilidad, los principales polinizadores del copalillo. Actualmente seguimos procesando los datos, pero esperamos que nuestra investigación motive a otros a trabajar en la ecología reproductiva de estos importantes árboles mexicanos, pues las oportunidades son tan vastas como las especies endémicas de este género.

La identificación de los polinizadores es relevante, pues estudiarlos de modo más específico ayudará a determinar qué tan abundantes son en el bosque, qué necesitan para estar presentes y qué tan resistentes son a los cambios en el bosque, como sequías, incendios, creación de potreros, desmonte para áreas de agricultura o sobreexplotación de la madera. Todo esto suma conocimiento que nos permitiría enfocar los esfuerzos para conservar tanto a polinizadores como a copalillos en esta y otras áreas. Porque imagi-

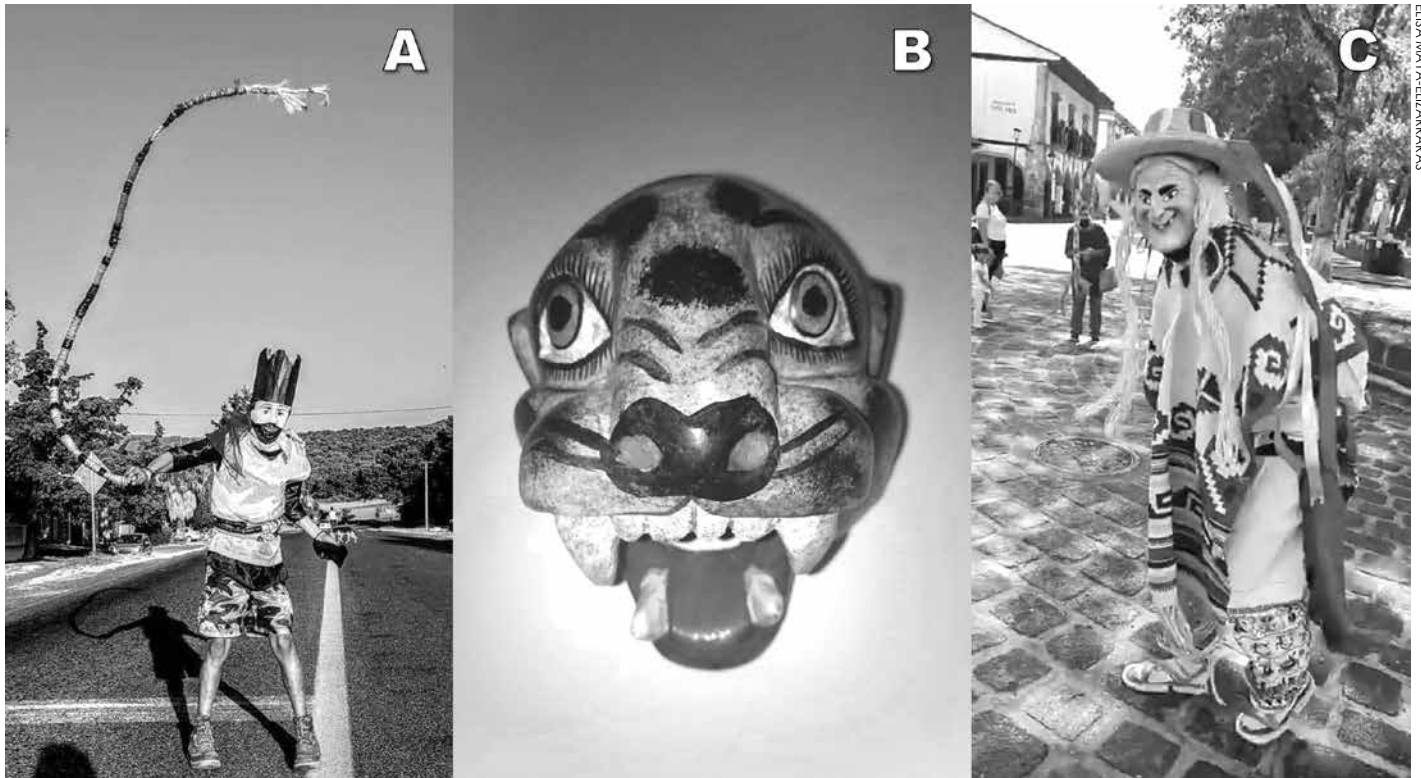


Algunas especies visitantes de las flores del copalillo (*Bursera cuneata*). Donde A) polilla pimipela (Procrinae; Zygaenidae; Lepidoptera); B) mosca de la sierra (Tenthredinidae; Hymenoptera); C) mosca de las flores (Allograpta; Syrphidae; Diptera); D) mosca (Fanniidae; Diptera); E) jicote manso (*Melipona* sp.; Apidae; Hymenoptera); F) abeja melífera europea (*Apis mellifera*; Apidae; Hymenoptera); G) luciérnaga (Lampyridae; Coleoptera); H) escarabajo frailecillo (*Macroductylus* sp.; Scarabaeidae; Coleoptera); I) escarabajo alas de red (Lycidae; Coleoptera); J) escarabajo pulga brillante (Chrysomelidae; Coleoptera); K) escarabajo (Elateridae; Coleoptera); L) escarabajo (Cantharidae; Coleoptera). Fuente: Acervo personal de Elisa Maya-Elizarrarás.

nar una celebración espiritual sin el profundo aroma del copal, o una danza típica regional sin máscaras, como la de *Los Viejos*, sería una pérdida de grandes consecuencias ecológicas, culturales y económicas.

Amenazas y acciones

En 2010, en un estudio coordinado por Simon Potts se determinaron las principales amenazas que afectan a los polinizadores, algunas de las cuales se hacen presentes



Máscaras tradicionales elaboradas con madera de copalillo para diversas festividades en el estado de Michoacán. Donde A) máscara de Judas durante las festividades de semana santa; B) máscara de jaguar; y C) máscara de viejito utilizada en la Danza de los viejitos. Fuente: acervo personal (LM-E).

en nuestra región de estudio. Destacan el cambio de uso del suelo del bosque para dedicarlo a potreros o agricultura; el aumento de plaguicidas y herbicidas —como los piretroides o el glifosato— en cultivos aledaños al bosque; el declive en la diversidad de plantas herbáceas por la introducción de grandes extensiones de monocultivo (aguacate o maíz); y por supuesto, el cambio climático, que se va reflejando en menos lluvias y temperaturas más altas.

Afortunadamente hay acciones que podemos emprender, y debemos empezar por conocer con mayor profundidad las espe-

cies de visitantes florales y polinizadores del copalillo y cuidarlas, además de difundir la relevancia de la polinización entre las comunidades que aprovechan los recursos derivados de estos árboles. Desde luego, resulta imprescindible sustituir la aplicación de plaguicidas y herbicidas en zonas aledañas a los bosques, implementando técnicas de control biológico, como podrían ser los bioplaguicidas.

Aunque no es sencillo, es muy importante insistir en que en las crecientes plantaciones de aguacate debe incrementarse la diversidad de plantas con flores, y esto

se liga a la necesidad de mantener áreas naturales que aseguren el alimento, refugio y sitios de anidación para los polinizadores, incluso a través de políticas públicas y pago por servicios ambientales. Finalmente, quienes estamos interesados en estos temas debemos buscar estrategias para promover entre las comunidades el manejo sustentable de sus copales y cuajotes, en beneficio propio y del ambiente en general. ☞

Agradecemos por su apoyo en el trabajo de campo a Mario Herrera-Estrada, Luis M. Maya-Elizarrarás, Andrés Guarín-Anaconda y Benjamín Castillo.

Bibliografía

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P. *et al.* (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(6), 345-353.

Rivas-Arancibia, S., Bello-Cervantes, E., Carrillo-Ruiz, H. *et al.* (2015). Variaciones de la comunidad de visitantes florales de *Bursera copallifera* (Burseraceae) a lo largo de un gradiente de perturbación antropogénica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (86), 178-187.

Rzedowski, J., y Guevara-Féfer, F. (1992). Burseraceae. *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. (Fascículo núm. 3). México: INECOL.

Elisa Maya-Elizarrarás trabajó como investigadora del Instituto de Ecología A. C., Centro Regional del Bajío (Pátzcuaro, Michoacán, México) | elisa.maya@inecol.mx | <https://orcid.org/0000-0001-9787-3972>
Yessica Rico Mancebo del Castillo es investigadora del Instituto de Ecología A. C., Centro Regional del Bajío (Pátzcuaro, Michoacán, México) | yessica.rico@inecol.mx | <https://orcid.org/0000-0002-0468-8928>
Carlos A. Cultid-Medina es investigador por México CONAHCYT, adscrito al Instituto de Ecología A. C., Centro Regional del Bajío (Pátzcuaro, Michoacán, México) | carlos.cultid@inecol.mx | <https://orcid.org/0000-0002-4929-8405>

Microbios al ataque: ¿cómo se defienden las plantas?

MARCO M. PLANCARTE DE LA TORRE

Marco M. Plancarte de la Torre y Kena Casarrubias Castillo

Resumen: Las plantas están expuestas a sufrir infecciones por hongos, bacterias y virus, así que el reino vegetal no se escapa de las enfermedades, y por esta causa anualmente hay pérdidas millonarias de diferentes cultivos en el mundo. Sin embargo, las plantas también cuentan con un sistema inmune muy eficiente que logra protegerlas de la mayor parte de esas amenazas. Comprender los fundamentos de sus mecanismos de defensa nos permitirá desarrollar mejores estrategias para la protección de cultivos, en beneficio de la conservación de variedades vegetales y a fin de asegurar una suficiente producción de alimentos para la población mundial.

Palabras clave: inmunidad vegetal, fitopatología, seguridad alimentaria.

Maayat'aan (maya): Ik'elo'ob wáaj microbio'ob ku loobilo'ob: bix u tokikubáaj paak'alo'ob

Kóom ts'íbil meyaj: Ku béeytal u tsa'ayal tí' le paak'alo'ob k'oja'anilo'ob táasbilak tumen ik'elo'ob je'ex hongó'ob, bacteria'ob yéetel virus, bey túuna' le múuch' che'ob yéetel paak'alo'ob mun puts'ulo'ob tí' k'oja'anilo'ob, lebetike' ja'abun ja'ab ku máane' ya'ab millonesil táak'in ku sa'atal ich u paak'alil yóok'olkaab. Ba'ale' yaan xan tí' le paak'alo'ob u múuk'il tí'al u tokikuba'ob ol tí' tuláakal talamil wáaj loobil. K utsil na'atik tu'ux u taal ba'ax yéetel ku tokikuba'obe' bin áantik xan k kaxtik k ma'alobkuntik u kanáanil paak'alo'ob, tí'al k kanáantik ma' u ch'ejel jejeláas ch'íibal paak'al yéetel k táan óoltik u ts'áaik u yich tí'al ka yanak nonoj janalbe'eno'ob tí'al tuláakal wíinik yóok'olkaab.

Áantaj t'aano'ob: u tokikubáaj páak'al, fitopatología, nonoj janalbe'eno'ob.

Bats'i k'op (tsotsil): Bik'itik taj yalel chanuletik slikeb chamel žk'uxi ta xil sba mu'yukuk xchamel li vomoletike?

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: oy oxtos bik'tal taj yalel chanuletik mu xkiltik ta jsatik ja' ta xlik tal yu'un xchamel li vomoletike, stekel li vomoletike mu xkol ta chamel eke, ta jujun abil ta xljaj yu'un ep ta chop ts'unobaletik ta sjunul banamil ja' yu'un ep ta xch'ay tak'in ta skoj taje. Xu' xkaltik, li vomoletike oy yip stsatsal ek sna' xil sbaik k'alal mi tal chamel ta sbaike. Sna'el lek smelol k'u yelan ta xil sbaik li vomoletike ta jna'betik smelolal k'u yelan xu' ta jmakbetik xchamel li ts'unobaletike, jech mu xljaj k'u yepal oy ts'unobaletik itajetik xch'íuk oyuk ve'lil x-epajuk tal ta stojolal jnaklumetik ta banamile.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: k'u yelan ta xil sba mu'yukuk xchamel li itajetike, xchanel k'u yelan ta yilel xch'íuk smakel xchamel li vomoletike, yilel sk'elel mu xch'ayuk li ve'lile.

Las primeras plantas que habitaron los ambientes terrestres del planeta aparecieron hace aproximadamente 500 millones de años; desde entonces no solo han logrado sobrevivir y diversificarse en cerca de 300 mil especies diferentes, sino que han transformado la Tierra haciéndola más propicia para la existencia de otros seres vivos. Y no solo hacen posible nuestra vida al ser una fuente primordial de alimento, también la hacen más cómoda al proveernos de materiales para vestido, vivienda y medicamentos.

No debería asombrarnos el hecho de que las plantas son susceptibles de infectarse

por agentes microscópicos (hongos, bacterias y virus), igual que ocurre con el reino animal, seres humanos incluidos. Raíces, hojas, frutos, flores y cualquier componente vegetal pueden ser afectados con diversas consecuencias, como interferencias con la fotosíntesis o con la reproducción. Afortunadamente, sus mecanismos defensivos resultan muy eficientes, aunque conocerlos es importante para intervenir en casos necesarios.

Las “indefensas” plantas

A diferencia de los animales, las plantas no pueden desplazarse de un lugar a otro, lo

cual les impide huir de posibles amenazas. Debido a esto se encuentran sometidas a un constante estrés, pues son acechadas por diferentes agentes, desde virus, bacterias y hongos, hasta plagas de insectos y gusanos, y desde luego, grandes animales herbívoros que buscan alimentarse de ellas.

Aunque a primera vista podría parecer que se encuentran indefensas ante todas estas agresiones, nada más lejos de la realidad. A lo largo de los 500 millones de años que llevan habitando los ambientes terrestres, han desarrollado una amplia variedad de mecanismos de defensa para protegerse de los ataques de sus enemigos; de hecho, de todos los virus¹ y microorganismos que lleguen a tener contacto con una planta, solo aquellos que evitan ser reconocidos o que son capaces de suprimir sus mecanismos de defensa, logran infectarla y enfermarla.

Lo primero que se necesita es que los microscópicos agentes accedan a su interior, lo que puede ocurrir si penetran directamente en la superficie vegetal aprovechando sus eventuales heridas físicas o las aberturas naturales, como los estomas localizados en



MARCO M. PLANCARIE DE LA TORRE

¹ No calificamos como organismos a los virus, pues aunque tienen material genético, no se consideran seres vivos (Véase, “Los virus, ni vivos ni muertos”, en *Ecofronteras* 69, bit.ly/469weOn). En este artículo los incluimos dentro del término “microbios” por facilidad, aunque en realidad no lo son.

las hojas (orificios microscópicos mediante los cuales las plantas “respiran”). El ingreso también se facilita con la ayuda de insectos vectores que pican las hojas para alimentarse de sus contenidos nutritivos, y entonces les introducen microbios.

Este primer requisito para la infección muchas veces se evita gracias a las barreras físicas, como las espinas, la gruesa cutícula cerosa de las hojas en algunos casos, o bien, la cubierta leñosa característica de troncos y ramas. Además, numerosas plantas han desarrollado una variedad de compuestos químicos que se liberan cuando sufren daño, por ejemplo, cuando son masticadas por algún herbívoro. Entonces, los insectos que intentan alimentarse de ellas pueden quedar atrapados en sustancias pegajosas, o los animales más grandes se llevarán una desagradable sorpresa

al percibir su mal sabor, e incluso pueden ser tóxicas o venenosas.

Como es de esperarse, estas barreras consiguen su cometido en muchas ocasiones, aunque a veces son superadas por los virus y por diversos organismos, sobre todo por los más pequeños, como las bacterias y los hongos. De todos modos, los agentes microscópicos se enfrentan a un obstáculo más antes de alcanzar el interior de las células de las hojas para atacarlas desde dentro: la pared celular, que es una cubierta rígida que recubre a cada una de las células de la planta.

Sistema inmune de las plantas: un equipo de vigilancia

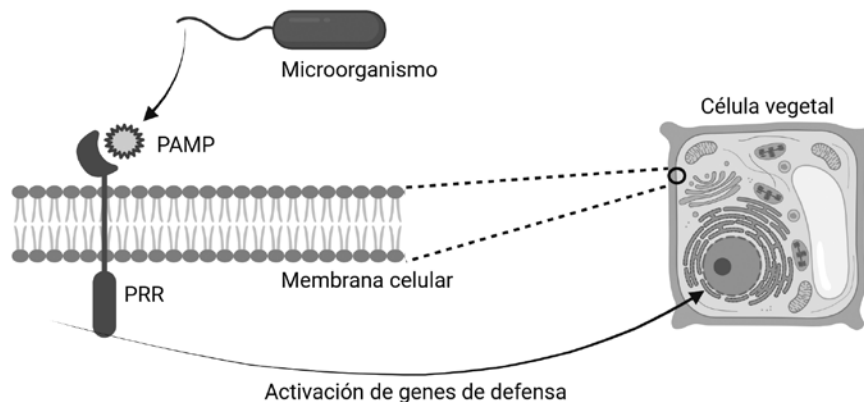
Como ya quedó establecido, los hongos, las bacterias y los virus son capaces de superar las barreras físicas de las plantas y lle-

gar a la pared celular; aun así, esto no es sinónimo de infección y enfermedad. Lo que casi siempre ocurre es que la célula vegetal reconoce la presencia de un microbio potencialmente perjudicial y logra eliminarlo antes de que cause un daño mayor.

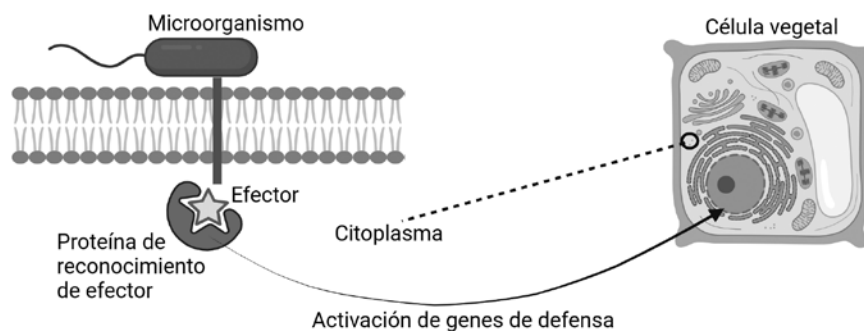
Pero ¿cómo se dan cuenta las células vegetales de la presencia de dichas entidades perniciosas? Lo perciben mediante dos vías diferentes, ambas basadas en cómo las llamadas proteínas receptoras de la célula, ubicadas ya sea en la membrana o en su interior, reconocen ciertas moléculas de los microbios.

La primera vía es lo que se conoce como inmunidad basal o inmunidad activada por patrones (PTI, por sus siglas en inglés) (figura 1). Las proteínas receptoras se localizan en la superficie de la membrana celular y funcionan como antenas que, al percibir

PTI



ETI



Created in BioRender.com 

Figura 1. Diagrama simplificado de las dos vías de acción del sistema inmune vegetal. En la inmunidad activada por patrones (PTI), las moléculas conservadas que están presentes en una amplia gama de microorganismos (PAMP) son reconocidas por proteínas de reconocimiento de patrones (PRR) localizadas en la membrana de la célula vegetal. En la inmunidad activada por efectores (ETI), los microorganismos inyectan a la célula vegetal proteínas efectoras específicas que pueden ser reconocidas por proteínas de reconocimiento localizadas en el citoplasma. En cualquiera de los dos casos, el resultado es la activación de genes de defensa con respuestas similares, aunque más intensas en el caso de la ETI.

la presencia de un microorganismo, envían una señal al interior de la célula para que se ponga en marcha todo un mecanismo de defensa que pretende terminar con la amenaza. El nombre puntual de las heroicas proteínas es "receptores de reconocimiento de patrones" (PRRs, por sus siglas en inglés), que tienen la capacidad de identificar moléculas comunes de los microbios, es decir, las que son parte de una muy amplia variedad de microorganismos, mismos que no se pueden deshacer de ellas porque son indispensables, así que no logran pasar desapercibidos y la célula vegetal los reconoce.

En el caso de los hongos, un ejemplo de esas moléculas es la quitina, un tipo de carbohidrato que es el principal componente de las paredes celulares de todos los integrantes del reino Fungi. De las bacterias podemos mencionar la flagelina, una proteína que es el componente más importante de los flagelos (estructuras de desplazamiento). Todas estas moléculas indispensables para los microbios y susceptibles de ser reconocidas por la planta reciben el nombre genérico de "patrones moleculares asociados a patógenos" (PAMP, por sus siglas en inglés).

En una revisión del tema publicada por el fisiólogo vegetal Minhang Yuan y su equipo en 2021, se explica que al darse el reconocimiento descrito anteriormente, se desencadena una serie de reacciones al interior de la célula que culminan con la activación de genes de defensa. Con esta

activación suceden varios cambios, entre otros: el pH del entorno se hace más alcalino, y por lo tanto, menos apto para los microbios; se cierran los estomas; se produce callosa, una sustancia que forma un "callo" alrededor de las células, y también se generan sustancias oxidantes, tanto para eliminar directamente a los microbios como para fortalecer la pared celular y restringir el movimiento de los mismos.

La carrera armamentista de plantas y microbios

La evolución ha llevado a ciertos agentes microscópicos a desarrollar estrategias para evadir todas las defensas mencionadas e inyectar en la célula vegetal una batería de proteínas denominadas efectores, los cuales contribuyen al desarrollo de la enfermedad. Pero la evolución es tan maravillosa que, como si fuera una carrera armamentista, algunas plantas han perfeccionado, a su vez, mecanismos para contrarrestar a estos microbios.

Aquí entra en acción la segunda vía de reconocimiento de agentes infecciosos, en la que participan las proteínas receptoras del interior de la célula que pueden reconocer algunas moléculas efectoras de los microbios causantes de enfermedades. A diferencia de los PAMP, estas proteínas efectoras solo se encuentran en pocas especies y varían mucho de una a otra, es decir, que son específicas de cada especie que las presenta. Otra de sus diferencias respecto a los PAMP es

que no son indispensables para la supervivencia de los microbios, por lo que eventualmente, una vez más por medio de la evolución, pueden deshacerse de ellas o modificarlas para evitar que las células vegetales las reconozcan. A esta segunda vía de reconocimiento se le denomina inmunidad activada por efectores (ETI, por sus siglas en inglés) (figura 1).

Las respuestas de la planta cuando reconoce a las proteínas efectoras de los agentes infecciosos por medio de la ETI son similares a las que se manifiestan en la PTI, pero con una intensidad mayor. Además de esas respuestas, en la ETI también ocurre lo que se ha llamado *respuesta hipersensible*; en esta se involucra la muerte celular programada de las células que se encuentran alrededor del sitio de infección. En otras palabras, es como si las células se suicidaran, y aunque esto en principio podría parecer malo, en realidad es benéfico para la planta. Recordemos que una sola hoja está formada por millones y millones de células, de manera que perder unas cuantas no le afecta a la planta completa; en cambio, al deshacerse de las células infectadas está eliminando al microbio y librándose de una infección mayor.

Pero eso no es todo, de acuerdo al ecólogo Matthias Erb, cuando una planta detecta la presencia de un microorganismo infeccioso, ya sea a través de la PTI o de la ETI, también produce diversas sustancias, como ácido salicílico y otras, cuya función es llegar a todas las partes de la planta (incluso a las más alejadas del sitio de infección), a través de su sistema vascular. Lo más sorprendente es que estas sustancias incluso alcanzan a las plantas vecinas por medio de compuestos volátiles que se transportan por el aire; la finalidad es "advertirles" a las vecinas que los agentes infecciosos están rondando. Así, tanto las otras partes de la planta infectada, como las plantas vecinas, activarán sus defensas. A este fenómeno se le conoce como *priming* y es más o menos similar a lo que provocan las vacunas en animales, aunque con un principio diferente.



HUMBERTO BAHENA

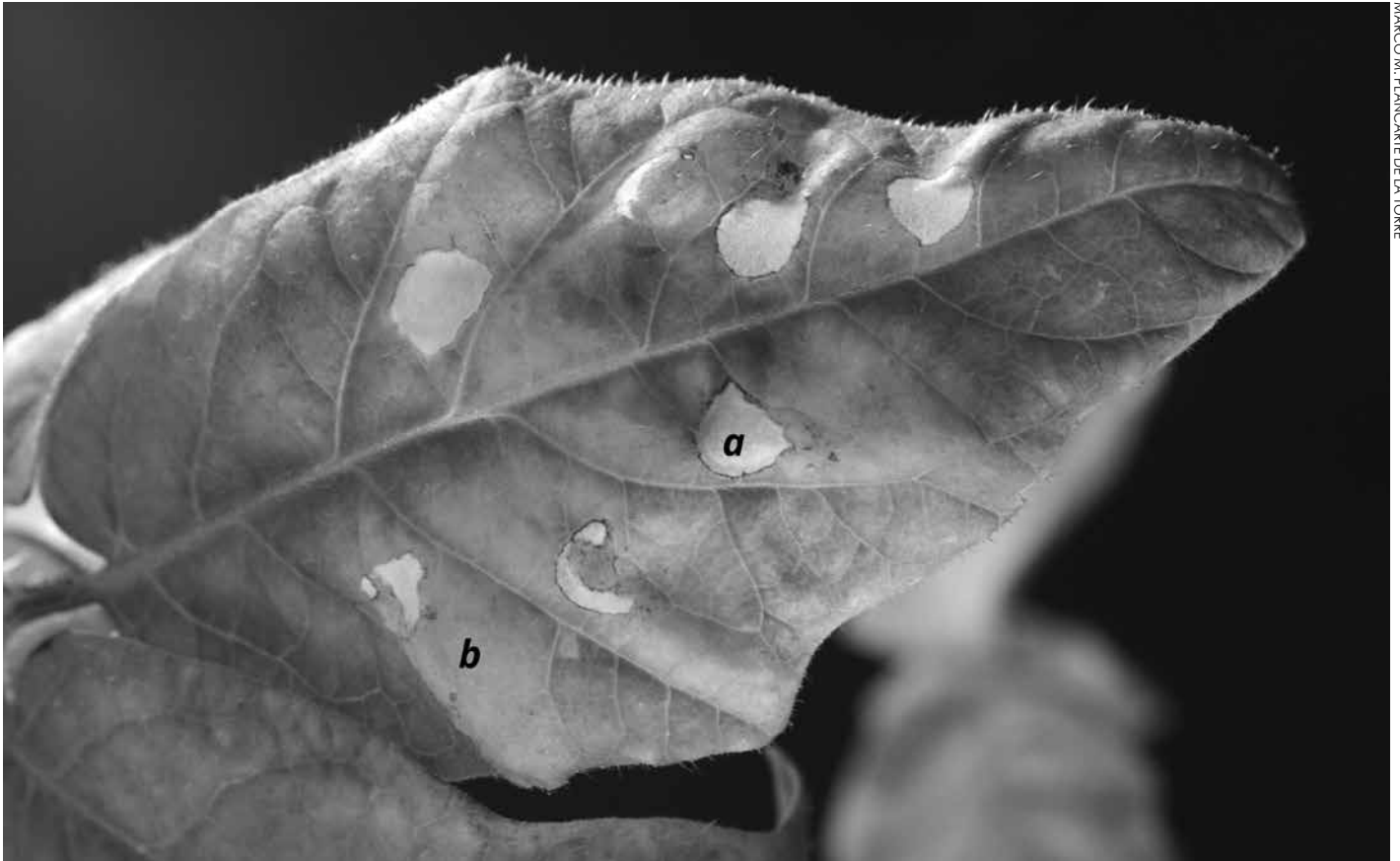


Figura 2. Hoja de jitomate (*Solanum lycopersicum*) infectada por la bacteria *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. Se aprecian los puntos de infección donde la planta desarrolló respuesta hipersensible y muerte celular programada: zonas blancas (a); y las zonas donde se desarrolló clorosis que es un síntoma típico de infección por bacterias: zonas amarillas (b). Tomada de Plancarte-De la Torre, M. M., Núñez-Palenius, H. G., y Gómez-Lim, M. A. (2016). Tomato transformation with genes involved in plant immunity to confer broad resistance against bacteria. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(4), 349-358.

Aún queda mucho por descubrir

Como podemos ver, las plantas cuentan con una amplia variedad de estrategias para defenderse de posibles infecciones; sin embargo, existen virus, bacterias y hongos que logran superar todas esas defensas y consiguen causar enfermedades (figura 2). Las consecuencias pueden ser graves también para el ser humano, ya que las enfermedades vegetales son fuente de pérdidas completas de cosechas.

De ahí la importancia de conocer cómo funciona el sistema inmune de las plantas, y aunque ya se conocen muchos de sus mecanismos, aún queda mucho por descubrir y constantemente hay nuevos hallazgos. Por ejemplo, la doctora Mar Sobral y su equipo de la Universidad de Santiago de Compostela en España han encontrado que la herbivoría experimentada por una planta madre induce fuerte y directamente las defensas, tanto físicas como químicas, en su

progenie; en pocas palabras, las respuestas de defensa son heredables.

Ahondar en esto sería tema de otro artículo, pero lo esbozamos para mostrar el campo fértil del tema en cuanto a futuras investigaciones que permitan desarrollar mejores estrategias para proteger contra enfermedades a los cultivos de importancia agrícola, ayudando así a evitar la pérdida de variedades y produciendo más alimentos y de mejor calidad, en beneficio de la creciente población mundial. 🌱

Bibliografía

- Erb, M. (2018). Volatiles as inducers and suppressors of plant defense and immunity - origins, specificity, perception and signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, (44), 117-121.
- Sobral, M., Sampedro, L., Neylan, I. et al. (2021). Phenotypic plasticity in plant defense across life stages: Inducibility, transgenerational induction, and transgenerational priming in wild radish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(33), e2005865118.
- Yuan, M., Ngou, B. P. M., Ding, P., y Xin, X. F. (2021). PTI-ETI crosstalk: an integrative view of plant immunity. *Current Opinion in Plant Biology*, (62), 102030.

Marco M. Plancarte de la Torre realiza una estancia postdoctoral en la Universidad de Guadalajara (Jalisco, México) | marco.plancarte@academicos.udg.mx | <https://orcid.org/0000-0001-9447-9398>
Kena Casarrubias Castillo es Profesora Investigadora de la Universidad de Guadalajara (Jalisco, México) | kena.casarrubias@academicos.udg.mx | <https://orcid.org/0000-0003-1831-8642>

LEYENDO EL SUR

Si no queremos que el manatí desaparezca...

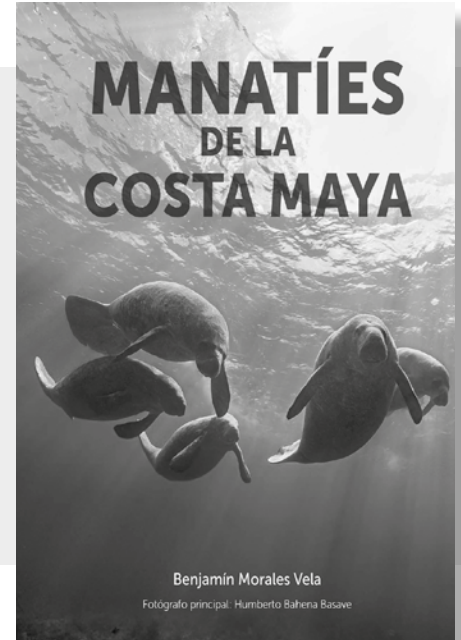
En esta sección presentamos las novedades editoriales de Libros ECOSUR. Le toca el turno a *Manatíes de la costa maya* ¡Conócelas!

Maayat'aan (maya): Wa ma' k k'áat ka ch'ejek le manatíe'...

Ti' le jaatsa' kek ts'áaik k'ajóolbil le túumben meyajo'ob yaan ichil Áanalte'ob ECOSUR. Bejla'e' yaan k k'ajóoltik Manatíes de la costa maya. iKa k'ajóolto'ob!

Bats'i k'op (tsotsil): Mi mu jk'antik xlj st's'unobal muk'ta ja'alchon ojtikinbil k'ucha'al ja'al vakax...

Ta jchop vun lí'e ta xka'ktik ta ilel ach' a'yejetik ta vunetik yu'un ECOSUR. Manatíes de la costa maya. ¡Ojtikino!




Manatíes de la costa maya

Benjamín Morales Vela (texto)
y Humberto Bahena Basave
(fotógrafo principal).

El Colegio de la Frontera Sur


Formato:

 Impreso, ISBN: 978-607-8767-75-5

Tipo de obra:

Divulgación

Serie/s:

 Conservación y restauración
de la biodiversidad

Público al que va dirigido:

El libro es útil para el mundo académico e instancias tomadoras de decisiones, pero cualquier persona disfrutará su lenguaje ágil, anécdotas ilustrativas y extraordinarias fotografías.

Deseo que la larga tradición de estudio, formación de recursos humanos y difusión del conocimiento de esta especie, que ha logrado ECOSUR, contribuyan en la conservación del manatí en México y demás países de América Latina, y propicien conducirse con responsabilidad.



Objetivo de la obra

Difundir el conocimiento científico y los saberes populares acerca de los manatíes; y compartir imágenes de esta especie y de su hábitat, para generar corresponsabilidad social, académica y de gobierno en favor de la permanencia del manatí en la costa maya.

¿Cómo se obtuvo la información?


Mediante 33 años de investigación científica y de acciones de conservación en torno a esta especie en peligro de extinción. La obra deriva de múltiples interacciones con los ámbitos social, académico y de gobierno en México y Belice, lo que ha fortalecido metas de conservación de largo aliento y ha inducido a la creación de áreas protegidas para el manatí en México y Belice.





¿Por qué debemos leerlo?

Esta obra nos ayuda a conocer la biología de los manatíes, su historia, pasados usos, lo que se ha hecho para su protección, las amenazas y riesgos que enfrenta, y lo que debemos hacer como ciudadanía y gobierno para que permanezca en las costas de Quintana Roo y en la colaboración con Belice.

Tres datos relevantes

 Se ofrece información biológica nueva; se presentan distintas estrategias de conservación logradas; se resalta la importancia de las áreas naturales protegidas, analizando las amenazas, niveles de riesgo y propuestas para su mitigación.

 Se narra la historia de Daniel, un manatí huérfano encontrado en 2003, que pasó sus primeros meses en las instalaciones de ECOSUR, Unidad Chetumal; fue criado en semicautiverio y luego reintroducido exitosamente a su hábitat natural.

 Se describe una hermosa vasija policromada encontrada en el sitio arqueológico de Xcambó que hace referencia a los manatíes y a la extinta foca del Caribe.

Al elaborar el libro me enteré de que ya habían muerto los pescadores que entrevisté en Holbox. Quise hacer un reconocimiento a sus historias, rescatar sus relatos sobre la caza de manatíes para alimento, de los usos que hacían de ellos, y de que les tenían especial cariño y respeto. Las historias de estas comunidades de pescadores en Holbox son parte de la vida e historia de Quintana Roo; ahora sus familiares son personas activas en la conservación del manatí.

Distinciones

El libro se presentó el 24 de octubre de 2023 en el Congreso del Estado de Quintana Roo, conmemorando el decreto de 1996 con el que se creó el Santuario del Manatí Bahía de Chetumal. Y el 28 de octubre de este mismo año, el libro tuvo una segunda presentación, pero en Sarteneja, Belice, para conmemorar el decreto de Bahía de Corozal como Santuario de Vida Silvestre ocurrido en 1998. Estas presentaciones son reflejo del trabajo binacional que se realiza a favor del manatí.

El catálogo Libros ECOSUR ofrece materiales académicos, manuales para el manejo de recursos naturales y guías científicas, además de obras de divulgación y audiolibros, dirigidos a profesionistas, productores, instancias de tomas de decisiones, audiencias con discapacidad visual y público en general.

Encuentra esta y otras novedades editoriales en www.ecosur.mx/libros y www.altexto.mx
Y en alrededor de 100 librerías en México. Los libros digitales en versión epub también están disponibles en librerías y tiendas como Amazon, Google Books, Apple Books, Kobo, Barnes & Noble, Gandhi y Gonvill.

Información: libros@ecosur.mx y ochow@ecosur.mx

Tiburón sierra en riesgo

Conversación con Ramón Bonfil*

Elena Anajanci Burguete Zúñiga

Resumen: Tiburones y rayas son peces cartilaginosos emparentados que, a pesar de su antigüedad, se enfrentan a graves amenazas, principalmente por la sobreexplotación, la alteración del medioambiente y el cambio climático. Entre los más afectados se encuentran los tiburones sierra, que además suelen quedar atrapados en las redes de otras pesquerías. En concordancia con su nombre, su esqueleto nasal tiene forma de espada con dientes grandes a los lados, como serrucho, lo que lo hace muy atractivo, y también temido y cazado. Las proyecciones indican que podría desaparecer en cinco o diez años, así que las acciones de conservación son urgentes.

* Extracto de la entrevista transmitida en julio de 2023 en Voces de la ciencia desde el sur, <https://spoti.fi/3SF17bB>

Maayat'aan (maya): Táan u bin u ch'ejel k'an xok wáaj tiburón sierra. Tsikbal yéetel Ramón Bonfil*

Kóom ts'íibil meyaj: Le k'an xoko'ob yéetel raya'obo' kayo'ob yaan u muumun bakelo'ob yéetel ol u láak'uba'ob, kex úuchben ch'í'ibalo'obe' yaan ba'alo'ob sajjakkúnsik u yóolo'ob, ku yiliko'ob nojoch talamilo'ob, tumen nik ya'ab wíiniko'ob kuxa'an yóok'olkaab, ku seen chu'ukul wáaj ku kíinsa'al, tumen ku bin u k'expajal ba'ax bak'pachtiko'on yéetel ku jeelpajal u k'iinil ja'ja'il wáaj u k'iinil ke'elil le ku ya'alal cambio climáticoo'. Ichil le ku jach loobilta'alo'obo' ti' yaan le tiburono'ob sierrao', tumen suuk u chu'ukulo'ob xan ichil u k'áanil chuk kay u jeel kayo'ob. Je'ex bix u ya'alik u k'aaba'e', u bakel u ni'e' beey jump'éel espada yaan u nukuch koojo'ob tu tselil beey serruchoe', leti' meentik jach jak'a'an óolil, yéetel ku sajjakkúnsik máak bey xan ku kíinsa'al. Xak'almeyajo'ob a'alike' ku béeytal u ch'ejel ich jo'op'éel wáaj lajump'éel ja'abo'ob, lebetik jach k'a'abet u séeb táan óolta'al.

Bats'i k'op (tsotsil): Oy sk'oplal xljaj sts'unobal jtos muk'ta choy pajpajtik sni'. Ja' ta xal slo'il Ramón Bonfil*

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Li muk'ta choy nat sbakiltak sni' xchi'uk choy kitsajtik spat xokon ja' jchop choyetik toj ep yunin bakiltake, nitil tsakal xkuxlejal ja' ti ma'uk no'ox vo'neal choyetike, le'e oy sk'oplal ta xljaj li sts'unobale, ja' ti mu'yuk stuk'ulanel ta smasele oy ep sa'elal, ta sok talel mu'yuk xa lek xkuxlebike, ja' ti toj ech' no'ox ta xk'ixnaj ta sikub li xkuxlebike. Li muk'ta choy nat sbakiltak sni'e toj ep ta xich' ilbajinel ja' ta xich' masel ta snuti' yu'un yantik jmaschoyetik. K'ucha'al jech sbi choy taje, ja' ti sbakiltak sni'e pajpajtik jech k'ucha'al machit xchi'uk oy ep sbakiltak ye ta jujot, jech k'ucha'al stuch'obil te', oy st'ujumal, xi'bil xchi'uk oy ep smasele. Oy yik'al ta xljaj sts'unobal ta vo'ob o ta lajuneb jabil xtale, ja' yu'un sk'an no'ox ta ora chich' k'elel k'usi xu' ta pasel mu xlaje.

Los tiburones habitan nuestro mundo desde hace millones de años, son de hecho más antiguos que los dinosaurios; desafortunadamente sus poblaciones y las de sus parientes, las rayas, han disminuido drásticamente en las últimas décadas. Se calcula que cada año mueren 100 millones de tiburones y rayas a causa de la sobrepesca y las capturas accidentales en todo el mundo, y el tiburón sierra es uno de los más amenazados. En esta entrevista con Ramón Bonfil, investigador del Departamento de Sistemática y Ecología Acuática de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal, abordaremos estos temas, resaltando la necesidad de conservar a estos magníficos animales que desempeñan un papel ecológico importante.

¿Cómo surge tu interés por estudiar a los tiburones?

Soy originario de Ciudad de México, pero cuando tenía ocho años me mudé con mi madre y mi hermana a casa de unos tíos en Coatzacoalcos, Veracruz, quienes vivían a dos cuadras de la playa. Entonces, durante un año mantuve un contacto estrecho con el mar, pues tenía un primo más o menos de mi edad con quien jugaba ahí, y entre nuestros juguetes favoritos estaban un submarino y modelos de peces y tiburones de plástico.

Nunca imaginé a qué me dedicaría. Cuando me tocó elegir una carrera escuché que existía Oceanología, y me fui a estudiarla a Ensenada, Baja California. Estando allá, en una ocasión visité un acuario en Estados Unidos donde por primera vez vi tiburones vivos y quedé fascinado. Luego, mi primer trabajo fue en el Instituto Nacional de la Pesca, de donde me dieron opción de moverme a la península de Yucatán; fui jefe de un proyecto de pesquerías de tibu-

rón, y dos años después estaba totalmente convencido de que eso era lo que más me apasionaba. Había muy pocos estudios sobre tiburones no solo en México sino a escala mundial, y eso me impulsó a estudiar una maestría en Biología Pesquera y Manejo de Pesquerías, y un doctorado sobre Manejo de Recursos Naturales y Ciencias Medioambientales. El próximo año cumpliré cuarenta de trabajar con tiburones.



STEPHAN SWANSON

¿Cómo fue tu paso hacia la conservación de estos peces?

Cuando comencé a trabajar en el Instituto Nacional de Pesca, una tarea era impulsar la sostenibilidad de la explotación de los recursos, tiburones en mi caso, es decir, que se consideraran tasas óptimas para garantizar que el recurso no se agotara y la actividad pesquera pudiera mantenerse año con año. Durante el tiempo que estuve ahí y luego con mis estudios de posgrado, me fui dando cuenta de que el manejo pesquero era un reto muy complejo, en el que influían tanto la ciencia, como las cuestiones sociopolíticas y económicas. Hice conciencia respecto a que los problemas de conservación de tiburones eran cada vez más urgentes; se les estaba explotando demasiado en México y en casi todo el mundo.

Entonces llegó la oportunidad de participar en una organización no gubernamental internacional, situada en Estados Unidos, la Wildlife Conservation Society, que requería un especialista en tiburones, y eso detonó el cambio de rumbo. Uno de mis primeros proyectos fue con tiburones blancos vivos; me correspondía marcarlos con rastreadores satelitales en Sudáfrica y Nueva Zelanda, y al respecto llegué a realizar uno de los estudios más importantes sobre las migraciones y los movimientos de tiburones blancos, que publicó la revista *Science*, una de las más prestigiosas revistas científicas existentes.

¿Algunas otras investigaciones que hayas realizado?

Entre algunos proyectos destacados, trabajé un tiempo en el mar Rojo estudiando las pesquerías de tiburones de la región, y brindé asesoría sobre cómo manejar la explotación pesquera de tiburones y rayas. Ahora estoy trabajando con tres especies de mantarrayas a nivel nacional e internacional, y a gran escala, en Brasil, en el mar Mediterráneo y en el Caribe mexicano, básicamente para conocer sus migraciones y dinámica espacial. Además, estoy desarrollando otros proyectos de genética con mantarrayas y tiburones sierra.



RAMÓN BONFIL

Mobula birostris o mantarraya gigante.

Ya que mencionas a los tiburones sierra, ¿qué son?

Los tiburones sierra en realidad son rayas con una morfología que les hace parecer tiburones, pero si los analizamos en detalle nos daremos cuenta de que son rayas, las "hermanas" de los tiburones. Ambos conforman un solo grupo: los *elasmobranquios*, que son peces cuyo esqueleto es de cartílago, a diferencia de los peces óseos, que son el resto y cuyo esqueleto es de hueso.

El rasgo distintivo de los tiburones sierra es la prolongación de su esqueleto nasal en forma de espada con dientes muy grandes a los lados, como un serrucho, forma que les da su nombre. Este espadarte, como comúnmente se le conoce, mide aproximadamente una tercera parte de la longitud total de un tiburón sierra. Los dientes que lo rodean son en realidad escamas placoides altamente modificadas.

Generalmente viven en regiones tropicales y subtropicales y prefieren las zonas costeras, desembocaduras de ríos y manglares. También se les encuentra en aguas muy someras cerca de la costa, incluso en aguas dulces o en la interfaz de ríos y mar. Esto los pone muy en cercanía con los se-

res humanos, lo que ha generado una fuerte interacción en los últimos cien años en espacios costeros de todo el mundo. Todavía los podemos encontrar en México, aunque muy difícilmente. Hemos modificado o destruido su medio ambiente, y los hemos cazado y pescado rebasando todo límite. Son especies en peligro de extinción, y nuestros estudios indican que estamos a punto de perderlos si no intervenimos.

¿De qué se alimentan y como se reproducen?

Su alimentación se basa principalmente en peces pequeños de cardumen, como sardinas, lisas y robalos, que pueden tragarse completamente. Como todas las rayas, no tienen dientes cortantes como los tiburones, por lo tanto, no pueden usar la mordida y arrancar un bocado para alimentarse; por eso, primero utilizan su espadarte para golpear, aturdir o herir a su presa y luego consumirla entera cuando se deposita en el fondo marino. También se alimentan de moluscos o crustáceos como cangrejos, jai-bas y camarones.

En cuanto a su reproducción, son especies vivíparas que dan a luz a un grupo pe-



Pristis pectinata o tiburón sierra.

queño de peces completamente formados, los cuales nacen a través de la cloaca, una abertura en su vientre; al nacer, las crías quedan libres en el agua sin ningún cuidado materno, protegiéndose solas. Tanto la fertilización como el desarrollo del pequeño tiburón sierra suceden en el vientre de la madre.

¿Cuántas especies de tiburón sierra existen?

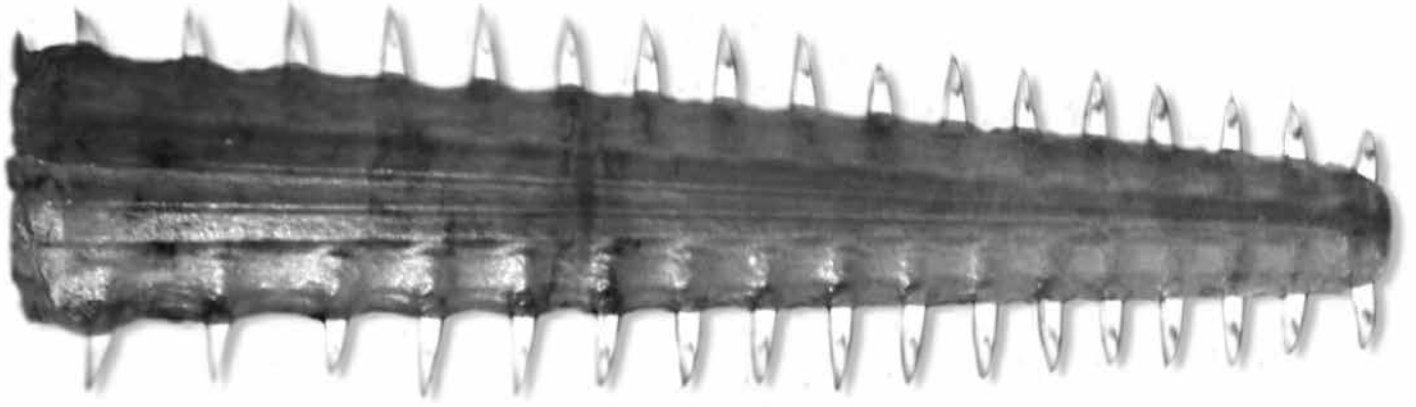
Es un grupo pequeño de apenas cinco especies a nivel mundial. Tres de ellas solo viven en la región del Indo-Pacífico, en Australia, Nueva Zelanda, Indonesia y la costa este de África; una más, solo en el Atlántico; mien-

tras que la mejor distribuida en el mundo, el tiburón sierra de dientes grandes, habita en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico.

De las cinco especies de tiburón sierra, tres están en peligro crítico de extinción, y dos, en peligro de extinción. En México contamos solo con dos especies: el tiburón sierra de dientes pequeños (*Pristis pectinata*), en el golfo de México y el Caribe; y el tiburón sierra de dientes grandes (*Pristis pristis*), en las costas del golfo de México, el Caribe y el Pacífico.

Los estudios que hemos hecho sugieren que al tiburón sierra de dientes pequeños todavía se le encuentra en México, sobre todo alrededor de la península de Yucatán; hace seis o siete años, unos pescadores capturaron una hembra en el golfo, la cual a la fecha vive en el acuario del puerto de Veracruz. En cuanto al de dientes grandes, desafortunadamente no hemos podido encontrar algún ejemplar; es probable que ya no exista en el país. En la legislación mexicana, estas dos especies están consideradas en peligro de extinción, pero a nivel mundial se les ubica en peligro crítico de extinción, es decir, el peor estado de conservación, según la Unión Interna-





cional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés). Podrían desaparecer completamente en los próximos cinco o diez años.

¿La pesca es la principal problemática que enfrentan los tiburones sierra?

Una de sus más grandes amenazas es enredarse en redes de pesca destinadas a otros peces, o en cualquier tipo de arte de pesca incluyendo anzuelos, los cuales pueden morder y quedar atrapados. Influyen además el cambio climático, la contaminación y destrucción de su hábitat, la pesca, el comercio ilegal internacional de sus aletas, carne, órganos, piel y dientes, así como los desastres naturales; todos estos factores han mermado su población. Estaban presentes en 75 países y hoy solo existen en veinte.

La pesca desmedida se debe a que, por su hábitat costero en playas, esteros, bocas de ríos y en bahías, era muy fácil encontrarlos y pescarlos. Pero además, por su anatomía de espada con dientes, se enredan en casi cualquier tipo de arte pesquero, ya sea red, anzuelo, o trampa, e incluso en una simple cuerda o ancla. Esto ha hecho que sean muy vulnerables y de fácil captura. Y al ser animales muy grandes que usan su espada para defenderse, muchos pescadores los mataban por considerarlos peligrosos o porque destruían sus redes; pocas veces los liberaban vivos y por lo general vendían o consumían la carne, y vendían las aletas o la espada como *souvenir* para turistas. Aunado a esto, los tiburones sierra crecen muy lentamente; una hembra tarda alrededor de diez años para alcanzar su madurez

sexual, y sus periodos de reproducción son aproximadamente cada dos años con una docena de crías.

Otro problema ha sido la destrucción del hábitat. Como seres humanos nos hemos adueñado por completo de las zonas costeras construyendo hoteles, marinas, puertos, plataformas petroleras, contaminando y aumentando la navegación con la que se crean disturbios que alejan a las especies. Anteriormente, los tiburones sierra nacían en las aguas muy someras de las bahías, esteros y estuarios, y vivían ahí los primeros dos o tres años. Ahora ya no lo pueden hacer, porque si las hembras arriban para parir son capturadas.

Recientemente hemos desarrollado estudios de ADN ambiental para el tiburón sierra en México, es decir, que buscamos en el medio ambiente el ADN de esta especie, y si lo encontramos, sabemos que por ahí pasó hace poco un animal vivo, ya que el ADN se destruye en tan solo unas semanas. Con estos datos comprobamos si estos peces todavía existen en ciertos cuerpos de agua. Aunque aún nos faltan muchas costas por monitorear, los resultados indican que al menos en Campeche y Quintana Roo sí hay, aunque no hemos encontrado físicamente a algún ejemplar.

¿Existen estatus de protección en México que ayuden a su conservación?

En la legislación mexicana las dos especies están consideradas en la NOM 059 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como en peligro de extinción, mientras que la NOM 029

prohíbe su pesca; sin embargo, esto es solo en papel; nadie vigila que no se les dañe y algunos pescadores ocasionalmente siguen matándolos. En cuanto a planes de acción para conservar especies, los que existen son para animales como el tiburón blanco o el tiburón ballena, que son carismáticos, atraen público y generan una actividad económico-turística; sin embargo, la SEMARNAT aún no publica un Plan de Acción para la Conservación de los tiburones sierra.

¿Qué pasaría si desaparecen los tiburones sierra?

Se han hecho estudios con modelos matemáticos que consideran distintas variables e información respecto a los ecosistemas, y los resultados sugieren que cuando se quita un depredador tope, los efectos serán difíciles de controlar y pueden ser muy negativos para el ecosistema y la economía. La ausencia de un depredador tope permite que otros depredadores intermedios aumenten en cantidad e incrementen en exceso su consumo de especies intermedias o menores. Entonces se pierde el equilibrio en el ecosistema y esto puede conducir a la desaparición completa de especies importantes para los humanos, porque las consumimos para alimento o porque las utilizamos para alguna actividad económica. La ausencia de los tiburones sierra puede provocar cambios en el ecosistema imposibles de revertir. }{

Elena Anajanci Burguete Zúñiga es integrante del área de Comunicación Social y Divulgación de la Ciencia en El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal (San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México) | eaburguete@ecosur.mx

Apuntes sobre la enfermedad de

Parkinson



JOHN TENNIEL EN PINGWING

Rosa Elba Hernández Cruz

Resumen: La enfermedad de Parkinson es una condición neurológica crónico-degenerativa que requiere tratamientos individuales y a largo plazo con equipos multidisciplinares, lo que en América Latina no siempre es posible. Este texto es un llamado a sensibilizarnos en el tema a fin de presionar y avanzar para lograr mejores políticas de salud.

—¿Cuánto tiempo es para siempre?

—A veces solo un segundo.

Lewis Carroll, Alicia en el país de las maravillas

Maayat'aan (maya): Tsikbalil yóok'olal u k'oja'anil Parkinson

U k'oja'anil Parkinsoné' jump'éel loobil ku yúuchul ti' ts'o'omel, ti' wíinkilal yéetel ku bin u jach k'aastal lebetik ku ya'alal neurológica crónico-degenerativa, k'ána'an u yila'al u ts'a'akal jujump'éelil, bey xan ku bisik ya'abach ja'abo'ob u yota'al u ts'a'akal yéetel jejeláas nu'ukulil ts'aak ba'ale' way América Latinae' ma'atech u jach úuchul. Le meyaja' ku kaxtik u ka'ansiko'on yóok'olal le k'oja'anila' ti'al k k'áatik bix u ts'a'akal yéetel u jetsa'al a'almajt'aano'ob yo'olal u kanáanta'al u toj óolal máax k'oja'an.

*–Jayp'éel k'iin le ku ya'alal maantats'o'.
–Yaan k'iine' chéen jun chan súutuk.*

Tsikbalil Alicia tu kúuchil maktsilo'ob, Lewis Carroll

Bats'i k'op (tsotsil): Yalbel smelol ta vun sk'oplal chamel Parkinson

Li Párkinson sbie ja' jun chamel ta chinabil ti ja' xt'elet o yu'un li bek'tal takipale, te oy o mu xpaj – k'untikan ta x-epaj talel ta bek'talil, li chamele ta xjalij ja' yu'un sk'an o xak' sba ta ilel li jchamele ta stojolal jpoxtavanej xchi'uk ta xpox-taele chich' ilel ta jujutos jpoxtavanejetik, li' ta jlumaltik América Latina bak'intik no'ox oy xpoxtael k'ucha'al taje. Li vun li'e ja' sventa chak' ta ilel ti oy sujelal ta xka'itike xchi'uk oyuk yich'el ta muk' ta stojolal buch'u sventainojik k'ucha'al xlekub talel li poxtaele.

*–¿k'u sjalil xjalij o ta sbatel osil?
–Bak'intik uni jlikel no'ox*

Alicia ta yosilal bu k'usitik oy ach' ta ojtikinele, Lewis Carroll

¿Qué es el Parkinson?

En julio de 2023 tuve la fortuna de vivir una experiencia de lo más enriquecedora. Asistí como voluntaria al Sexto Congreso Mundial de Parkinson realizado en Barcelona, viaje para el cual conté con una beca. Asistieron más de dos mil participantes, con un espectro de distintos perfiles: academia, luchadoras y luchadores sociales, personas con la condición y gente responsable de su cuidado. Pero ¿de qué hablamos exactamente cuando mencionamos el Parkinson?

A principios de 2020, al igual que muchas personas que ahora están leyendo este texto, yo no tenía ni la más remota idea de lo que se trataba. Sin embargo, los caminos de la vida me llevaron a conocer de cerca lo que significa. La enfermedad de Parkinson es una condición neurológica crónico-degenerativa que aqueja personas de diferentes edades. Se cree que afecta principalmente a adultos en edad avanzada, aunque hay mujeres y hombres jóvenes iniciando su vida profesional que la padecen; hay madres y padres con hijos pequeños... Todos con un enorme baúl lleno de sueños y planes por florecer.

Esta condición no respeta límites, edad o género. Simplemente llega a la vida de la gente, y los síntomas se presentan cuando ya la enfermedad está avanzada. Es difícil conocer las causas, pero la comunidad médica señala que pueden influir factores genéticos y ambientales, por ejemplo, la exposición a plaguicidas podría ser un detonante.

El nombre de la enfermedad alude a James Parkinson, un médico inglés que la describió en 1817, y su raíz inmediata es que se reduce la producción de dopamina en el cerebro, la cual es el neurotransmisor responsable de transferir señales desde la sustancia negra (una región del cerebro con células que producen dopamina) a otras áreas del cerebro y al sistema nervioso central y periférico.

Los síntomas pueden ser innumerables, pero principalmente se clasifican en dos: motores y no motores. Los motores son aquellos que afectan principalmente al movimiento, como el temblor, la rigidez, la lentitud, las distonías o calambres y el dolor en las extremidades, entre muchos otros. Por otra parte, los síntomas no mo-

tores son los que no percibimos desde fuera, pero pueden ser más incapacitantes: el insomnio, el deterioro cognitivo, la pérdida del olfato, la falta de motivación, la fatiga, la depresión. Algunos de ellos se pueden incrementar si hay niveles altos de estrés o antes del periodo menstrual en mujeres en edad fértil.

Llamado a mejorar los sistemas de salud

Durante el congreso mencionado se presentaron eventos culturales, carteles, mesas de discusión, ponencias académicas, talleres y una gama amplia de actividades para ejercitarse, descubrir nuevas habilidades y, sobre todo, motivarse y buscar las estrategias para lograr una vida plena aun con la condición de Parkinson. Fue notoria la diferencia entre los servicios de salud, los apoyos y las oportunidades de participar en investigaciones médicas que hay en Europa y Estados Unidos, en comparación con los servicios y oportunidades que tenemos como población en América Latina.

En los distintos foros y mesas de discusión se destacó la importancia de que cada persona es única y requiere de un trata-

miento individual por parte de un equipo multidisciplinario, como lo es el acompañamiento de personal de neurología, fisioterapia, nutrición y entrenamiento para ejercicios. En especial se necesitan espacios para convivencia y prácticas creativas, como pintura o danza, además de grupos de apoyo.

Durante esos días tuve la oportunidad de conocer a personas que viven con párkinson¹ y que día a día desafían la enfermedad. Practican ejercicios aeróbicos y de coordinación, boxeo, yoga, taichi y otros; se motivan socializando y compartiendo lo que saben, y para todos y todas brilla la esperanza de que pronto haya una cura para esa enfermedad. Pero, sobre todo, comparten sus vivencias y sus luchas para sentirse bien y con una vida plena.


A raíz de esta experiencia, me imagino un sistema de salud en el sureste de México, sobre todo en Chiapas, más informado y con servicios adecuados. Me permito hacer un llamado a la comunidad médica y a las instancias de toma de decisiones en el ámbito de la salud a aportar para construir un sistema que ponga énfasis en las distintas necesidades de la población, esto es: el diagnóstico oportuno, medidas preventivas para enfermedades crónicas, y que tengamos salud por ambientes sanos. En Chiapas hay personas en condiciones de vulnerabilidad, que además de vivir con párkinson, son madres solteras, o en condiciones de desempleo, sin servicios médicos ni medicamentos, o sin el diagnóstico

¹ La palabra Parkinson se escribe con mayúscula inicial porque alude al británico James Parkinson, el primero que describió esta enfermedad. Pero como nombre común se escribe con minúscula y acento: párkinson.



FREEMIK

oportuno por ser parte de población indígena y del sector rural.

Cada 11 de abril se celebra el Día Mundial del Parkinson con el fin de sensibilizar y crear conciencia de las necesidades de las personas que viven con esta condición. Uno de mis propósitos es contribuir desde mi experiencia personal, y con la colaboración de otras personas, en la investigación y sensibilización en torno a esta condición de vida, de la cual se conoce poco en la región. 

A continuación, añadimos algunos vínculos a sitios y organizaciones internacionales y mexicanas que ofrecen espacios de reflexión y sesiones de ejercicios para las personas con Parkinson.

Asociación Mexicana de Parkinson A.C.,
<https://www.facebook.com/parkinsonampac>

Asociación Mexiquense de Parkinson,
<https://www.parkinsonmexiquense.org/>

Fundación Davis Phinney,
<https://davisphinneyfoundation.org/en-espanol/>

Bibliografía

Cervantes Arriaga, A., Rodríguez Violante, M., Camacho Ordóñez, A. et al. (2014). Tiempo desde el inicio de los síntomas motores hasta el diagnóstico de enfermedad de Parkinson (EP) en México. *Gaceta Médica de México*, 150(S2), 242-247. <https://goo.su/yrBT>

Dorsey, R., Sherer, T., Okun, M, y Bloem, B. (2020). *Ending Parkinson's disease. A prescription for action.*

Recomendaciones editoriales de Ecofronteras

Las personas interesadas en escribir para esta revista deben proponer artículos inéditos, que aborden temas de pertinencia social relacionados con salud, dinámicas poblacionales, procesos culturales, conservación de la biodiversidad, agricultura, manejo de recursos naturales y otros rubros vinculados a contextos de la frontera sur de México y orientados a la sustentabilidad. Si el contexto es otra zona geográfica, tiene que tratarse de manera comparativa o con alguna liga a la frontera sur. No se aceptarán reportes de investigación ni informes de trabajo. Cada texto estará a cargo de una a tres personas coautoras (cuatro en casos justificados).

Estilo

- ▶ Las temáticas deben plantearse de manera atractiva para nuestras lectoras y lectores, personas de ámbitos muy diversos, por lo que es necesario considerar el nivel de información que se va a utilizar.
- ▶ El lenguaje tiene que ser ágil, claro y de fácil comprensión para públicos no especializados, así que los términos técnicos se explicarán con sencillez.
- ▶ El tratamiento debe ser de divulgación, no académico. Pueden contarse anécdotas personales, usar metáforas o analogías y cualquier recurso estilístico que acerque al público. Conviene que autoras y autores se planteen lo siguiente: "Si yo no fuera especialista en este tema, ¿por qué me interesaría leer un artículo al respecto?"
- ▶ Para una mejor asimilación del contenido, es pertinente narrar los procesos que llevaron a los resultados o reflexiones que se plantean.
- ▶ El título debe ser sugestivo y conciso para llamar la atención.
- ▶ El primer párrafo es muy importante para que las personas sigan leyendo: una entrada interesante, que en lo posible haga referencia a vivencias o a cuestiones que los lectores puedan reconocer.
- ▶ Las citas bibliográficas deben ser las estrictamente necesarias; en lo posible, deben incorporarse al texto, por ejemplo: El sociólogo alemán Nicolás Kravsky, en un estudio realizado en 2010, asegura que...

Formato

- ▶ La extensión del artículo debe ser de entre cuatro y cinco cuartillas, escritas a espacio y medio (1.5) en tipo Arial 12 (aproximadamente 9,500 caracteres con espacios incluidos). No utilizar sangrías, tabuladores ni dar ningún tipo de formato al manuscrito: no justificar la mancha del texto, no centrar títulos ni subtítulos, no aumentar los espacios entre párrafos.
- ▶ Si se incluyen gráficas o figuras, deben servir para clarificar el contenido; si son de mayor especialización, es preferible omitirlas. Deben anexarse en archivo independiente, con buena resolución, textos en español e indicando la fuente.
- ▶ Procurar dividir el texto con subtítulos.
- ▶ Pueden incluirse recuadros que expliquen aspectos técnicos o complementarios.
- ▶ Se debe brindar material fotográfico si se cuenta con él. Entregarlo en archivo aparte, de preferencia en formato JPEG con resolución de 300 dpi, con el debido crédito autoral.
- ▶ Añadir una nota con información de todas las personas autoras, cada una en un párrafo independiente y con estos datos: categoría académica o puesto; institución de adscripción en primer nivel, junto con la unidad o sede regional de ser el caso; ciudad y país; correo electrónico, y ORCID, en caso de contar con él. Si hay estudiantes en las autorías, incluir el nombre de su programa. Preferir el siguiente acomodo para los datos: Angela Rodríguez Magallanes es investigadora de El Colegio de la Frontera sur, Unidad Campeche (México) | arodriguezmag@ecosur.mx | <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>.
- ▶ Incluir de tres a cinco "palabras clave". No deben formarse por más de tres términos. Ejemplo válido: recursos naturales; frontera sur. Ejemplo no válido: recursos naturales de la frontera sur.
- ▶ Al final del manuscrito se debe incorporar una bibliografía de tres referencias relevantes para el texto, aunque no necesariamente deben haberse citado.

Proceso general

- ▶ Pedimos a las personas colaboradoras que envíen su manuscrito a la cuenta articulos.ecofronteras@ecosur.mx. Se les dará acuse de recibido y el texto iniciará el proceso de evaluación.
- ▶ Las colaboraciones aceptadas se programan en alguno de los siguientes números; *no hay compromiso de publicación inmediata*. El equipo editorial se encarga de la revisión y corrección de estilo, y solicita a autoras y autores los cambios necesarios, complementos de información y visto bueno a la versión final en procesador de textos. Posteriormente sigue la fase de diseño, diagramación y última corrección.
- ▶ El Colegio de la Frontera Sur (instancia editora de Ecofronteras) requiere por parte de autoras y autores una carta de declaración de originalidad y cesión de derechos para fines de divulgación.

La distribución de la revista es gratuita. Se pueden solicitar ejemplares a ecofronteras@ecosur.mx.

Ecofronteras digital: <http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras>



Aprendizajes del Movimiento Zapatista. De la insurgencia armada a la autonomía popular

Lia Pinheiro Barbosa, Peter Michael Rosset

A tres décadas del levantamiento armado, el zapatismo ofrece la más completa, explícita y radical versión de autonomía indígena-campesina que conocemos en el mundo contemporáneo. El objetivo central de este libro consiste en analizar la concepción y la praxis política de la autonomía zapatista como estrategia y núcleo de su defensa territorial. Para ello, se revisan las diferentes vertientes de la autonomía en la construcción de la autodeterminación territorial, como estrategia de lucha en el ámbito local, nacional e internacional.



A toda teta. Lactancias maternas como fuerza amorosa desde las voces de sus protagonistas

Carolina Guerrero León, Georgina Sánchez Ramírez

El libro da voz a protagonistas que amamantan, con la guía de una asesora de lactancia y una científica feminista que, desde la perspectiva de género y salud, contextualizan la lactancia materna explicando por qué se ha convertido en una lucha, qué intereses la han mediado en la historia y cómo se ha manipulado políticamente, todo para visibilizar la inminente necesidad social de formar comunidades de cuidados, más allá de la romantización de la maternidad perfecta.



EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR
es un centro público de investigación científica, que busca contribuir al desarrollo sustentable de la frontera sur de México, Centroamérica y el Caribe a través de la generación de conocimientos, la formación de recursos humanos y la vinculación desde las ciencias sociales y naturales.

Campeche
Av. Rancho Polígono 2-A
Ciudad Industrial Lerma · C. P. 24500
Campeche, Campeche · Tel. 981.127.3720

Chetumal
Av. Centenario km 5.5 · C. P. 77014
Chetumal, Quintana Roo · Tel. 983.835.0440

San Cristóbal
Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n
Barrio de María Auxiliadora · C. P. 29290
San Cristóbal de Las Casas, Chiapas · Tel. 967.674.9000

Tapachula
Carretera Antiguo Aeropuerto km 2.5 · C. P. 30700
Tapachula, Chiapas · Tel. 962.628.9800

Villahermosa
Carretera Villahermosa a Reforma km 15.5
Ranchería Guineo 2ª sección · C. P. 86280
Municipio de Centro, Tabasco · Tel. 993.313.6110

www.ecosur.mx

