

# ECOFRONTIERAS

Revista cuatrimestral de divulgación de la ciencia | ECOSUR | vol. 30, núm. 86 | enero-abril 2026 | ISSN: 2007-4549

## Ts'ono'ot, mensajero de agua y vida

Bocas sanas y probióticos en acción

Vivir del turismo, vivir con la naturaleza

Investigación forestal en acción.  
Conversación con Angélica Navarro Martínez

# Contenido



## 1 Editorial

Laura López Argoytia



## ARTÍCULOS DEL POZO

### 2-6 *T'sono'ot, mensajero de agua y vida*

Mariel Barjau-Aguilar, Rocío J. Alcántara-Hernández,  
Martín Merino-Ibarra y Emiliano Monroy-Ríos

### 7-11 *La vida en rojo del k'uxub o achiote*

Rodolfo Pech-Hoil, Margarita Aguilar-Espinoza y Renata Rivera-Madrid

### 12-16 *El cambio climático y su lado invisible*

Oscar I. García-Garza, Hiram Villanueva-Lozano y Rogelio de J. Treviño-Rangel

### 17-21 *De los satélites a la gestión de basura en las ciudades*

Juan Antonio Araiza-Aguilar, Hugo Alejandro Nájera-Aguilar  
y Rubén Fernando Gutiérrez-Hernández

### 22-26 *Bocas sanas y probióticos en acción*

Georgina Chávez-Cortéz, Zureya Fontes-García, Pilar Nuñez-Ortega  
y Viviana Pitones-Rubio

### 27-30 *Reinvención en el reino de los hongos*

Fatima Lizeth Candalilla Pacheco, Isela Quintero Zapata y Myriam Elías Santos



## LEYENDO EL SUR

### 31-33 *Vivir del turismo, vivir con la naturaleza*

Eduardo Bello Baltazar

### 34-35 *Novedades editoriales*

Redacción Ecofronteras



## ENTREVISTA

### 36-40 *Investigación forestal en acción. Conversación con Angélica Navarro Martínez*

Laura López Argoytia

Distribución general: El Colegio de la Frontera Sur, Laura Rubio. Ecofronteras, vol. 30, núm. 86, enero-abril de 2026, es una publicación cuatrimestral de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), con domicilio en Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio María Auxiliadora, C.P. 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas; teléfono: 967.674.9000. [www.ecosur.mx](http://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 Licitación de Título núm. 13743, y Licitación de Contenido núm. 11316. Ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Editora responsable: Laura López Argoytia.

Publicación impresa por Grupo Comercial Impresor Arcos, calle Azafrán núm. 40, col. Granjas México, C.P. 08400, Ciudad de México.

Este número se terminó de imprimir el 10 de diciembre de 2025, con un tiraje de 1000 ejemplares. El contenido de los artículos es responsabilidad de autoras y autores. La adecuación de materiales, títulos, subtítulos y resúmenes corresponde a los editores. La reproducción total o parcial de los textos e imágenes contenidos en esta publicación requiere autorización: [llopez@ecosur.mx](mailto:llopez@ecosur.mx)

Ecofronteras pertenece al Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONAHCYT, y está integrada al catálogo de Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas 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 (Estudios especializados en América Latina y el Caribe).

[www.ecosur.mx](http://www.ecosur.mx)



Fotos: Angélica Navarro-Martínez; Carmen Rosas; Constantino Gutiérrez Palacios.

# Editorial

Laura López Argoyta, *El Colegio de la Frontera Sur.*

**E**n este número de *Ecofronteras* exploramos algunos vínculos entre naturaleza, ciencia y prácticas culturales, mostrando cómo cada descubrimiento y reflexión puede transformar nuestra forma de entender el mundo. Comenzamos con *Ts'ono'ot, mensajero de agua y vida*, un artículo que nos lleva a las profundidades de los cenotes de la península de Yucatán. Su magnificencia nos interpela a actuar en favor de su preservación.

Seguimos con *La vida en rojo del k'uxub o achiote*, donde el pigmento y la materia prima que se obtiene de esta planta nos transporta a los saberes de los antiguos mayas. Ese intenso rojo sigue presente en nuestra vida cotidiana e inspira soluciones sostenibles en contextos alimenticios, cosméticos y farmacéuticos, evidenciando que la herencia cultural puede iluminar rutas modernas.

El artículo *El cambio climático y su lado invisible* nos enseña cómo el clima y nuestro bienestar se entrelazan de formas inesperadas. Este fenómeno no solo provoca efectos perturbadores, sino que también altera la dinámica de los microbios patógenos y sus vectores, desde hongos más adaptados a las defensas del cuerpo humano hasta la expansión de mosquitos que transmiten infecciones.

*De los satélites a la gestión de basura en las ciudades* nos describe las aplicaciones de algunas tecnologías de información geográfica (imágenes satelitales y drones, entre otras) para enfrentar los desafíos en la gestión de desechos urbanos y promover entornos más limpios y eficientes.

A continuación, el texto *Bocas sanas y probióticos en acción* nos invita a repensar lo cotidiano: el equilibrio de los microorganismos en nuestro cuerpo es tan importante como la higiene.

La enfermedad periodontal aparece cuando este equilibrio se altera, pero afortunadamente algunos alimentos —incluidas bebidas tradicionales como el pozol— aportan probióticos que ayudan a prevenir este y otros padecimientos.

Los hongos entomopatógenos también nos recuerdan que la naturaleza es un laboratorio lleno de aliados inesperados. Así, *Reinvención en el reino de los hongos* revela cómo, más allá de su valor en el control de plagas, estos organismos ofrecen oportunidades en la alimentación, salud y conservación ambiental.

En *Leyendo el Sur*, la inforreseña *Vivir del turismo, vivir con la naturaleza* nos invita a leer un libro que reflexiona sobre cómo el ecoturismo transforma la vida cotidiana de comunidades rurales. La obra destaca la participación de la juventud, los cambios en roles de género y los retos de equilibrar economía y bienestar comunitario, subrayando que el respeto a la naturaleza va de la mano con la comprensión de la cultura local. Además, en esta sección publicamos breves notas sobre algunas novedades editoriales de gran interés para profesionistas, estudiantes, instancias de toma de decisión y público general.

Finalmente, en la entrevista *Investigación forestal en acción*, la conversación con Angélica Navarro Martínez nos acerca al manejo sostenible de especies arbóreas y a los efectos del cambio climático en la regeneración de la selva, reafirmando que la investigación y la acción local son esenciales para conservar los ecosistemas.

Así es como esta edición de *Ecofronteras* nos invita a explorar, conocer y actuar, reconociendo que cada hallazgo y saber representan oportunidades para vivir de manera más consciente y responsable con nuestro entorno.



Foto: Humberto Bahena.



# *Ts'ono'ot, mensajero de agua y vida*

**Mariel Barjau-Aguilar, Rocío J. Alcántara-Hernández, Martín Merino-Ibarra y Emiliano Monroy-Ríos**

**Resumen:** Un *ts'ono'ot* o cenote nos cuenta que nació del mar, que está hecho de roca caliza y que se conecta con otros igual que él para conformar uno de los acuíferos más grandes del mundo. Nos habla de su cuerpo profundo y cilíndrico en el que conviven agua dulce y salada, y de que sostiene redes de vida que van de los microorganismos a los seres humanos. Su relato nos lleva a comprender su naturaleza misteriosa y frágil, nos muestra cómo su existencia significa vida y necesita de la protección humana ¡Vamos a escucharlo!

**Palabras clave:** Cenotes, limnología, acuífero kárstico, microbiología ambiental.

## Maayat'aan (maya): Ts'ono'ot, aj bisaj t'aanil ja' yéetel kuxtal

**Kóom ts'íibil meyaj:** Jump'éel ts'ono'ote' ku tsikbatik to'on siij ti' k'ák'náab, meeta'an yéetel ts'u'uy saskab bey xan tsaylantsay yanik yéetel uláak'oob utí'al u múuch' beetiko'ob jump'éel u kúuchil ja' yaan tu táamil lu'um jach nojoch way yóok'ol kaabe'. Ku ya'lik u wiinkile' wóolis táam tu'ux ku műul yantal ch'ujuk ja' yéetel ch'íoch' ja', yéetel te' ku yáanta'al u kuxtal mejen ik'elo'ob bey xan wíiniko'ob. U tsikbale' ku bisiko'on k na'at ba'ax ma' jach k'aj óola'an yo'olali' yéetel u k'a'ana'anil u kanáanta'al, u yantale' u k'áat u ya'al kuxtal yéetel jach k'a'ana'an u kanáanta'al tumen wíiniko'on. ¡Ko'one'ex u'uyik!

**Áantaj t'aano'ob:** Ts'ono'oto'ob, limnología, acuífero kárstico, microbiología ambiental.

## Bats'i k'op (tsotsil): Snabil ch'en, j-al mantal yu'un vo' xchi'uk kuxlejalil

**Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op:** Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Jun snabil ch'en ja' ta xchol ka'aytik ti stuke ja' te vok'em ayinem talel ta muk'ta nab, joybil ta tsatsal tonetik xchi'uk ti jech ta snit stsak sba xchi'uk yantik yo' jech spas yu'unik ta jun muk'ta yavil xch'enal vo' ta sbejel banamil. Ta xalbutik ta snatil sts'anlebal ya'lel xchi'uk ti ja' te ta skap sba xchi'uk uch'bolal vo' xchi'uk ch'i'pik'anil vo', ti ja' jech te kuxul chamalik o ti jch'iel jk'opojeletik xchi'uk bik'tal ch'uch'ulil chonetike. Ti ya'yeje ja' te ta xak' jna'tik ti k'u x-elan sk'unil stsatsal skuxlejale, ta xak' kiltik ti skuxlejal stuke ja' jkuxlejaltik xchi'uk ti ta sk'an ta jk'el jchabitike ¡Ka'aybetik ti ya'yeje!

**Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun:** Snabil ch'en, xchanel pamlebal vo'etik, xchanel bik'tal ch'uch'ulil chonetik.

### Origen, vida y colores

T'sono'ot o d'zonot me llamaban los antiguos mayas, quienes sabían que en mis aguas se guarda vida y secretos.

Hoy me conocen como "cenote", y a través de túneles me conecto con otros que son igual que yo. Juntos formamos el acuífero *Sac Aktun* ("cueva blanca"), uno de los más grandes del mundo. Cada gota de agua que contengo viaja de mi interior a la superficie para nutrir a la selva y a los animales, así como a las poblaciones humanas que dependen de mí para sobrevivir.

Soy un cenote del oriente de la península de Yucatán que nació en el mar, donde hace mucho tiempo millones de esqueletos de organismos marinos se convirtieron en capas de roca caliza. Allí mi cuerpo duro, poroso y blanco cobró forma por la karstificación, el proceso que ocurre cuando el suelo pétreo y calizo se disuelve poco a poco debido al agua infiltrada de la lluvia y el desgaste natural. Durante las eras glaciales, el nivel del mar subió y bajó varias veces hasta dejarme al descubierto. El techo que me cubría colapsó, y fue así que surgió el pozo de agua cilíndrico de 75 metros de profundidad que soy ahora.

Mis entrañas están formadas por una mezcla de aguas: la del mar Caribe y la que proviene de la lluvia, acumulándose durante miles de años. Estas capas de agua coexisten a aproximadamente 30 metros de profundidad, pero no se mezclan porque sus densidades son diferentes. Es por esto que los limnólogos (científicos que estudian los sistemas acuáticos de los continentes) me llaman "cenote anquihalino", un término útil para indicar que en mis profundidades reposa agua salada y sobre ella flota una capa de agua dulce, ambas casi independientes.

Soy parecido a muchos de mis hermanos, pero me distingo porque mi superficie se encuentra totalmente descubierta.



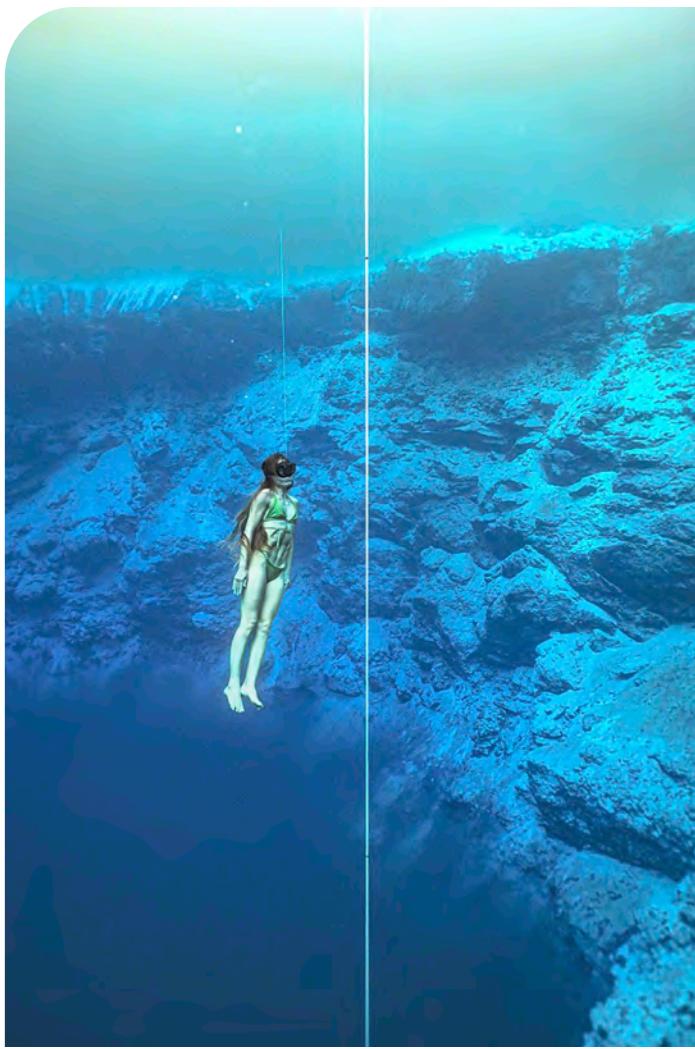
Cenote Azul, Bacalar, Quintana Roo, México. Foto: Carmen Rosas.

Esto hace que la luz del sol me alcance de manera directa, brindándome la energía que activa la vida dentro de mí a través de la fotosíntesis. Gracias a dicho proceso, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire y los nutrientes disueltos en mi agua se transforman en materia orgánica, que sirve de alimento a los heterótrofos, organismos que dependen de ella para obtener energía y carbono.

La fotosíntesis sostiene a la red trófica que me habita, desde las microscópicas bacterias heterótrofas, el zooplancton, peces y moluscos, hasta reptiles como iguanas, cocodrilos Morelet o víboras pasa-ríos (especie local de serpientes de agua). También alimento a las aves que llegan con frecuencia: garza blanca, garza morena, pato golondrino y chachalaca, entre otras.

Debo contarte que cuando las algas microscópicas y las bacterias fotosintéticas crecen, enturbian mis aguas y pintan mi superficie de tonos verde-azulado que atraen las miradas curiosas de las personas. A mi alrededor hay bosques de manglar que me protegen y que en época de lluvias liberan taninos





Apneísta ascendiendo por la línea tras haber cruzado la “nube”. La foto fue tomada a una profundidad de 23-25 m. Apneísta: Luciana Loza. Foto: Guillermo Villarreal Casanova.

(moléculas orgánicas complejas), tiñéndome de café o de rojos intensos y llamativos.

### Aventuras de los acuanautas

Pocos seres terrestres exploran más allá de mi superficie, aunque a veces lo hace algún ave, reptil o turista. Sin embargo, últimamente hay humanos muy curiosos que me visitan, los llamo “acuanautas”. Algunos llegan cargando en su espalda tanques de aire, y al nadarme van dejando una estela de burbujas. Otros, los apneístas, siempre vienen en pareja con solo un equipo de aletas muy largas y visores, ¡sin ningún tanque! Para no perderse en mis profundidades utilizan como guía una línea blanca que tensan con una boya en la superficie y un

peso en el fondo. Para premiar su valor, yo los sorprendo con vistas increíbles a lo largo de su travesía.

En los primeros metros de mi profundidad recibo a los acuanautas con agua dulce, cálida, turbia y verdosa, que está así por la alta concentración de microorganismos fotosintéticos. Todo cambia después de los 8 o 10 m. Mi agua se vuelve fría, cristalina y azulada, porque la luz solar disminuye con la profundidad. La poca luz que llega es absorbida y dispersada por los organismos fotosintéticos, y además, mis aguas actúan como un filtro, captando selectivamente la luz violeta y azul. A quienes se han atrevido a descender a estas profundidades les ofrezco paisajes que parecen de otro planeta: les muestro mi cuerpo calcáreo y milenario que es casi un cilindro perfecto de grandes paredes y acantilados blanco-amarillentos. Cuando las personas se asoman desde ellos y ven mi abismo quedan perplejas.

Algunos acuanautas deciden seguir descendiendo, y al llegar a los 27-30 metros, creen haber alcanzado el fondo blanco. Pero pronto se dan cuenta de que no es el fondo, sino una misteriosa “nube” que flota en mis profundidades. Los limnólogos saben que esta capa de transición, donde el agua cambia de densidad, puede deberse tanto a la temperatura como a la salinidad; cuando el cambio es principalmente de temperatura, la llaman picnoclina, y cuando es de salinidad, haloclina. Para ellos es un fenómeno técnico, pero para quien me visita, es una barrera líquida que divide los espacios de forma sorprendente

En este velo o interfase que separa mis aguas, la materia orgánica que cae de la superficie queda suspendida (hojas, ramas y pequeños seres vivos). Entonces, los microorganismos que habitan esa nube la reciclan, transformando nutrientes y liberando gases que afectan incluso al clima. Para los acuanautas, atravesar esta capa es como cruzar un umbral entre mundos: de repente la luz disminuye, y los colores se emblanquecen dando una sensación de misterio y vida suspendida que los envuelve por completo.

Este atractivo efecto visual de nube blanquecina y densa es resultado de complejas transformaciones químicas, geológicas y biológicas, principalmente del ciclo del azufre y de mi origen en rocas calizas. A pesar de que algunas de ellas producen olor a huevo podrido, los acuanautas casi siempre lo disfrutan, pues les da la impresión de estar en un espacio misterioso.

Pero luego, en un parpadeo, al cruzar el velo llegan a una oscuridad total. Esto se debe a que la nube blanca refleja la luz, de modo que al atravesarla, el paisaje se oscurece por completo. También cambia la salinidad, pues el agua en ese nivel proviene del mar Caribe, que es de 1 a 1.5 °C más cálida que el agua

1 Los apneístas son buzos que se sumergen sin tanque de aire. Su meta es descender lo más profundo posible, y suelen proteger la nariz con un clip especial mientras equilibran la presión de oídos y senos paranasales.



dulce porque recibe directamente la energía del sol y apenas ha viajado una decena de kilómetros; en cambio, la columna de agua dulce casi no recibe energía solar. La transición a una calidez oscura es desconcertante, tanto que algunos acuanautas se asustan y otros se envalentonan, aunque sin duda alguna todos se maravillan.

Así, después de cruzar la nube, tengo 45 m de oscuridad y conexión con el agua de mar. Allí abajo, en esta inmersión hacia mis entrañas, sin importar cuán profunda sea, los acuanautas se vuelven parte de mí por un breve instante. Logran una poderosa conexión conmigo, con el mar y con todos los cenotes, en un recorrido que transforma su perspectiva. Les muestro su vulnerabilidad y la fuerte conexión que guardamos con todos los seres vivos. Aunque la inmersión sea brevíssima, mi poder está en que el recuerdo y aprendizaje permanecerá en su memoria, con la esperanza de que día a día, ese instante los inspire a hacer pequeños cambios para conservarme, sin importar el tiempo ni la distancia, pues el agua nos conecta.

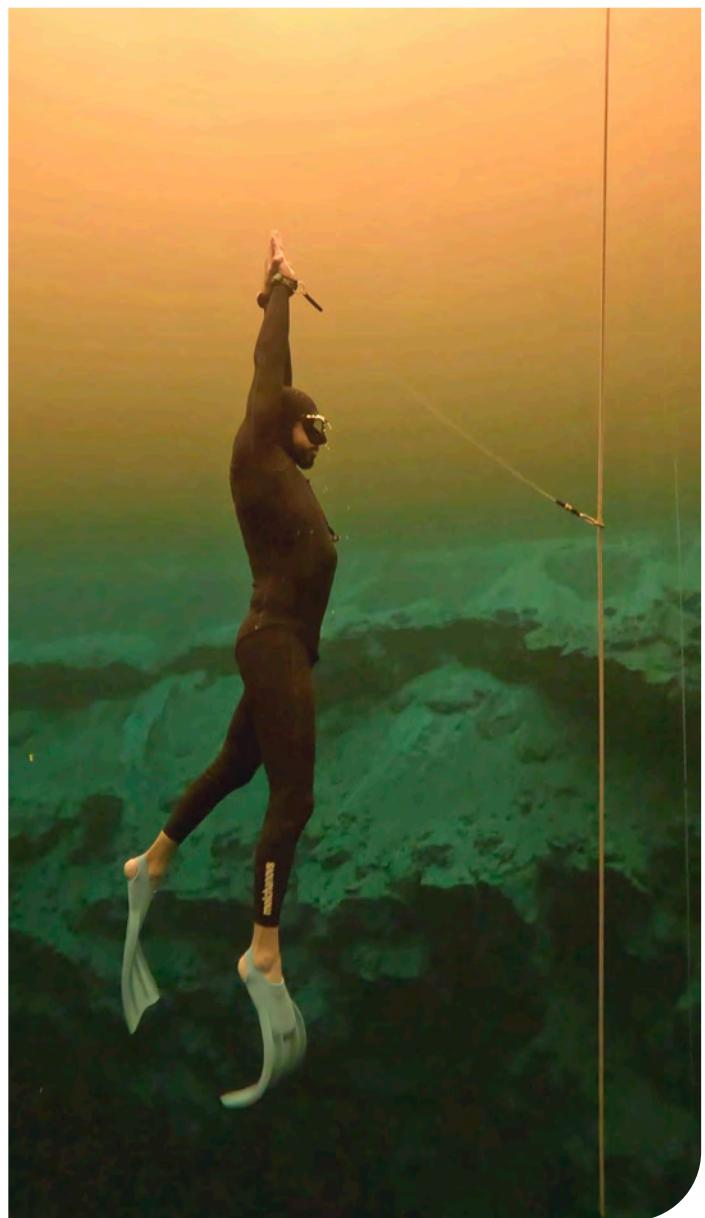
### Conexión y conservación

He querido compartir un mensaje con los humanos que habitan sobre nosotros, pero hablamos lenguajes diferentes. Yo me comunico con el cambio en mis colores y mi turbidez, con el que se da entre los microorganismos que viven en mí, pero las personas no terminan de descifrar mi mensaje. Aun así, hay acuanautas observadores y curiosos que, junto a los limnólogos, han comenzado a aprender mi idioma con sus observaciones e instrumentos midiendo los parámetros de temperatura, pH, acidez, alcalinidad, turbidez, oxígeno disuelto, nitrógeno y fósforo, e incluso el material genético de los microorganismos de los que soy su residencia. He permitido que lleven mi agua a laboratorios para estudiarla, pues reconocen mi importancia, empiezan a comprender mis misterios, quieren protegerme para poder disfrutarme por generaciones y con ello garantizar el futuro de los ecosistemas que dependen de mí.

Los cenotes somos finitos y frágiles. Como parte del planeta, estamos interrelacionados con todos los seres vivos, al igual que los humanos. La acción de estos nos afecta, así como nuestros cambios los afectan a ellos. Tal vez no tienen la intención de dañarnos, pero algunas de sus actividades repercuten en nuestra salud y belleza, y alteran los procesos naturales que nos mantienen en equilibrio. Por ejemplo, las aguas residuales y el exceso de nutrientes inorgánicos de la agricultura han hecho que nuestra agua deje de ser azul y cristalina para volverse verde y turbia. Los ciclos que sostienen la vida que albergamos se han alterado, y los productos químicos como fármacos y cosméticos nos contaminan. No sabemos todavía cómo se perjudicará nuestra salud o la de quienes nos usan como fuente de agua potable. Hoy, las personas dedicadas a

la ciencia con el apoyo de los acuanautas y la sociedad, han comenzado a actuar, comparten nuestra importancia y proponen medidas básicas de conservación para nuestros guardianes y visitantes.

Los cenotes somos y seguiremos siendo vida. Y aunque somos resilientes, tenemos un límite y necesitamos con urgencia que nos comprendan y nos protejan. Solo así podremos conservar nuestros paisajes misteriosos, únicos, y garantizar el suministro de agua para los habitantes de la península de Yucatán. Recuerden: existen equilibrios delicados entre los seres vivos



Apneista en un paisaje marciano ascendiendo por la línea. La foto fue tomada entre 8-10 m de profundidad durante la época de lluvias de 2023. La capa superficial se tornó roja por la liberación de taninos del manglar. Apneista: Andrei Coria. Foto: Mariel Barjau Aguilar.





Foto: Humberto Bahena.

—en especial los humanos—, el mar Caribe, los manglares y el acuífero kárstico.

Contarles esta historia me recuerda que estamos estrechamente vinculados y que buscamos crear conciencia de que estos lazos van más allá de lo que podemos entender. Yo, *ts'ono'ot*, me conmuevo al apreciar la fuerza y la fragilidad que se conjuntan en mis aguas, sabiendo que somos una cualidad inherente a la península de Yucatán. Aprendamos y actuemos en conjunto para que mis paisajes y secretos perduren, y que agua y vida estén siempre en sintonía.

### Agradecimientos

Al Dr. Eduardo Javier Aguilar Rangel y la Dra. Patricia Margarita Valdespino-Castillo, así como a Marina Aguilar Ramírez y María Esperanza Borrell por su valiosa contribución a la revisión del manuscrito. A Eduardo Escalante por compartirnos sus anécdotas subacuáticas inspiradoras. A la comunidad de apneístas del Caribe, en especial al fotógrafo Guillermo Villarreal, Matías Ferré y a la apneísta Luciana Loza. Al proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT IN224224. A la SECIHTI por el apoyo del programa de investigadores posdoctorales por México de la Dra. Barjau (CVU: 747276).

Mariel Barjau-Aguilar es investigadora del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad de México, México) | abmariel@geologia.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0001-5497-1249>

Rocío J. Alcántara-Hernández es investigadora del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad de México, México) | ralcantarah@geologia.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0002-6626-715X>

Martín Merino-Ibarra es investigador del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad de México, México) | mmerino@cmarl.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0002-6690-3101>

Emiliano Monroy-Ríos es consultor ambiental en peligros geológicos asociados al karst. Hidrogeología y Geoquímica del Karst | emiliano.monroy.rios@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0002-1959-7551>





Foto: <https://bit.ly/4rcz6Wj>.

# La vida en rojo del *k'uxub* o achiote

Rodolfo Pech-Hoil, Margarita Aguilar-Espinosa y Renata Rivera-Madrid

**Resumen:** En el universo cromático de los mayas, el rojo tenía un profundo significado simbólico. Lo obtenían del *k'uxub*, conocido hoy como achiote (*Bixa orellana*), un arbusto cuyas semillas producen bixina, un pigmento natural. Además de usarse en rituales y como medicina tradicional, actualmente es un colorante muy valorado en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Recientes investigaciones han revelado su riqueza genética y bioquímica, y su aplicación ha cobrado nuevo impulso porque es seguro para el consumo humano y está aprobado por organismos internacionales, como claro ejemplo de saberes ancestrales que inspiran soluciones sustentables.

**Palabras clave:** *Bixa orellana*, pigmentos naturales, bixina, medicina tradicional, industria cosmética.

## Maayat'aan (maya): U chak kuxtal k'uxub

**Kóom ts'íbil meyaj:** Ichil tulákal u boono'ob maaya'ob, le chako' jach noj ba'al u k'áat u ya'al ka'achil. Ku jo'osa'al ti' k'uxub wáaj kiwi', k'aj óola'an xan bejla' beey achiote (*Bixa orellana*), jump'éel kaabal k'áax tu neek'e' ku jóok'ol jump'éel ba'al u k'aaba' bixina, jump'éel boon naatural. Jach ku k'a'ana'ankunsa'al xan ti' payalchi'ob bey xan ti'al ts'aak koja'anil, bejla'e' jump'éel boon jach k'a'ana'an tu kúuchil meyaj janal, ti'al u beeta'al u boonil u yich ko'olel bey xan ti'al u beeta'al ts'aako'ob. Túumben xaka'almejajo'ob beeta'an yóok'olale' ku ye'esik tulákal ba'al táaj ma'alob ku táasik, lebetik ku ka'a kaxta'al u k'a'ana'ankunsa'al tumen mun loobil wa ku janta'al bey xan keta'an tumen mola'ayo'ob yaan táanxel noj lu'umilo'ob, jump'éel bix u ye'esa'al úuchben ba'alo'ob ka'ansa'ané' ku táasik xan uts ba'alo'ob ti' kuxtalil.

**Áantaj t'aano'ob:** *Bixa orellana*, boono'ob naturalo'ob, bixina, úuchben ts'aak, u beeta'al boon ich.

## Bats'i k'op (tsotsil): Ti xch'iel ta stsoj li vo'oxe

**Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op:** Ta yepal stosol sbonolil yu'unik mayaetik, ti tsoje ja' tsots sk'opla stunesel yu'unik ta skulejalik. Ja' te laj staik ta vo'ox, jech ojtkinbil ta ora k'ucha'al (*Bixa orellana*) ja' jun bik'tal te' ta xak' tsojik sat ti jech sbonol o stuke. Oy ta xich' tunesel ta bats'i bonolil xchi'uk ta poxilil, ti ta orae ep jech ta xich' tunesel ta spasel smeltsanel ve'elil xchi'uk k'usitik poxiletik xchi'uk spoxil slekubtasel sat elanil. Ti k'usitik ach' to chanbile ja' te tabil ta ilel ti ep k'usi slekil yich'anoj ta lajesele, ja' yo' jech yantik epajem ta xich' lajesel yu'unik jnaklumetik ti mu'yuk ta spas chopol xchi'uk jech tabil ta ilel yu'unik ti muk'tikil nail bijil abtelaletike, xchi'uk ja' te yilubil slekil k'u x-elan laj stunesik ta vo'onej ti jnaklumetike.

**Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun:** *Bixa orellana*, bonolil ta vomol a'maletik, stsajalil stuk, bats'i poxtael, spasel slekubtasel sat elanil.

**E**n medio del ajetreo moderno, aún es posible encontrar personas desgranando las cápsulas del *k'uxub*, con sus manos teñidas de un rojo intenso. Ese mismo tono iluminaba los altares y los cuerpos de los antiguos mayas como símbolo de vitalidad y energía. Hoy lo conocemos como achiote, un arbusto cuyas semillas guardan un pigmento natural, la bixina, que sigue coloreando alimentos, cosméticos y medicinas en todo el mundo, uniendo el pasado con el presente. Esta planta es un puente entre el conocimiento ancestral y la ciencia contemporánea: un ejemplo vivo de cómo los saberes de la tierra pueden iluminar caminos hacia un futuro más sostenible.

### Un arbusto con historia, color y vida

El achiote (*Bixa orellana* L.) es mucho más que una planta colorida: es un legado que ha acompañado a los pueblos de América tropical desde tiempos remotos. En lengua maya se le llama *k'uxub*; en náhuatl, *axiotl*; y en otras regiones, *bija*, *urucum* o *annatto*. Todos estos nombres cuentan una misma historia: la de una planta que tiñe el cuerpo y la memoria.

Perteneciente a la familia Bixaceae, el achiote es perenne y puede vivir desde unos pocos años hasta varias décadas; crece como arbusto grande o árbol pequeño, alcanzando entre 3 y 10 metros de altura. Parece hecho para llamar la atención, sobre todo por sus hojas grandes y acorazonadas que se alternan a lo largo del tallo, y por sus flores blancas, rosadas o lila, que se disponen en vistosos racimos. Los frutos son cápsulas verdes o rojizas, a veces ambas, cubiertas de suaves espinas o en ocasiones completamente lisas. Pero lo más valioso se encuentra en el interior de cada cápsula: entre 10 y 50 semillas envueltas en una sustancia roja y aceitosa, de donde se extrae la bixina, el pigmento que ha dado fama mundial al achiote.



Variabilidad de flores y frutos del achiote. Fotos: Margarita Aguilar-Espinosa y Rodolfo Pech-Hoil.

La planta florece entre septiembre y octubre a partir de su tercer año, y sus frutos maduran en marzo, momento en que se recolectan y se secan al sol antes de extraer las semillas. Las





Fragmento del códice Dresde que ilustra cómo se usó el achiote en la escritura maya. Fuente: Mediateca del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

cápsulas se abren mediante trillado o golpeo,<sup>1</sup> y las semillas se conservan en recipientes herméticos, ubicados en lugares frescos, oscuros y secos, para mantener su color.

El pigmento se usa no solo para dar el característico tono dorado o rojizo a quesos, margarinas o embutidos artesanales, sino también en cosméticos como labiales, sombras y cremas, donde aporta color y propiedades antioxidantes. Ofrece un rojo vibrante de forma natural, segura y versátil, por lo que es muy apreciado hoy en día, como una huella del pasado que perdura en la cultura y la tradición.

En este sentido, se asume que el color del *k'uxub* se asocia con la sangre, el fuego y el sol, simbolizando vitalidad y energía. Formaba parte de la alimentación, la medicina y los rituales de varias comunidades mesoamericanas, uniendo lo cotidiano con lo sagrado. Se utilizaba en adornos, decoración corporal e incluso en contextos bélicos, donde transmitía mensajes de poder y determinación. Aquellos saberes y prácticas se confirman tanto por la transmisión generacional como por la evidencia científica moderna, que valida muchos de los beneficios que los mayas y otros pueblos ya conocían.

### En la cocina, medicina y rituales

El *k'uxub* o achiote sigue siendo protagonista en la vida cotidiana y ceremonial de muchas comunidades mayas. Sus semillas rojizas, de sabor picoso y ahumado, han sido, por generaciones, un condimento esencial en la cocina tradicional del sureste mexicano, principalmente en la península de Yucatán.

En la tradición yucateca, su color realza el sabor y la presentación de platillos emblemáticos como el *mukbil pollo enterrado* (*píib*), preparado para el *Hanal Pixan* (Día de Muertos). Es un tamal grande envuelto en hojas de plátano, con una combinación de masa y carne en un guiso atractivamente

pigmentado con las semillas de achiote. Durante la cocción bajo tierra, el calor interactúa con los ingredientes y se crea un platillo único donde color, aroma y sabor se entrelazan con siglos de tradición, como parte de la herencia culinaria maya.

Es importante destacar que el achiote no se queda en la cocina. En la medicina tradicional, hojas, raíces y semillas se aprovechan en infusiones, pastas y compresas. Por ejemplo, una bebida con hojas alivia malestares estomacales, diarrea, náuseas en mujeres embarazadas e incluso problemas renales.

Las hojas en preparación o en baños se usan para aliviar padecimientos como varicela o sarampión, mientras que las compresas ayudan contra la conjuntivitis. Antiguamente se acostumbraba colocar hojas bajo las hamacas al dormir, porque se liberaban vapores que despejaban las vías respiratorias. Las preparaciones con raíces también tienen su lugar: calman molestias respiratorias y de garganta.

Por otra parte, la pasta hecha con semillas u hojas machacadas se aplica sobre quemaduras, heridas y úlceras, con efectos desinfectantes, antiinflamatorios y cicatrizantes. Desde tiempos antiguos, esta preparación ha mostrado su eficacia como protector natural contra el sol y como repelente de mosquitos: una ligera capa sobre la piel como alivio para trabajar al aire libre sin quemaduras ni picaduras incómodas.

Pero los beneficios del achiote no terminan ahí. Consumidas en la dieta, las semillas también pueden aportar propiedades funcionales. Hervidas en té, se ha sugerido que ayudan a re-



Planta de achiote y semillas. Fotos: Margarita Aguilar-Espinosa y Rodolfo Pech-Hoil.

1 El trillado consiste en golpear, frotar o presionar las cápsulas; el golpeo es un golpe directo y simple, sin técnica formal.

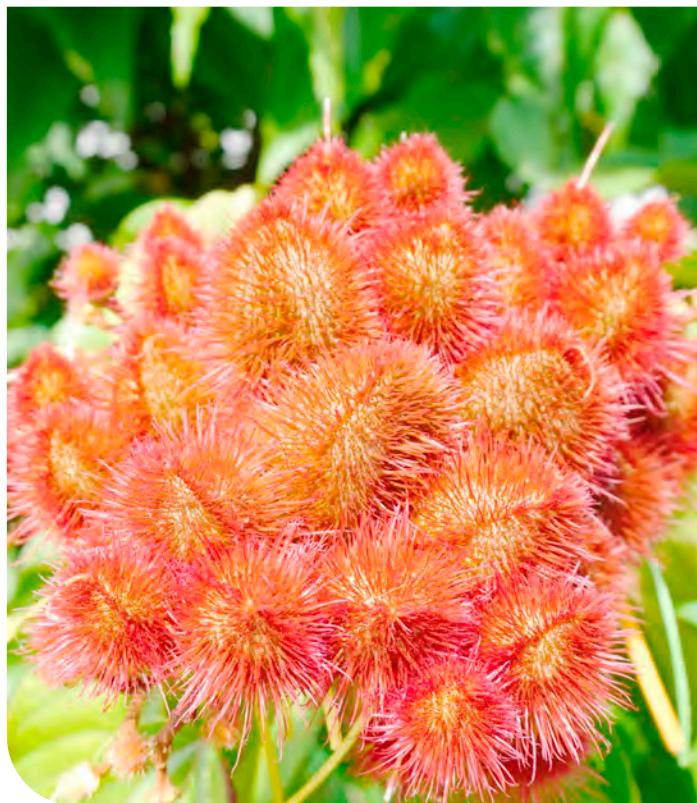


gular el azúcar en la sangre, lo cual resultaría útil para personas con diabetes. Incorporadas en infusiones, espolvoreadas sobre alimentos o mezcladas en licuados, su contenido de potasio y antioxidantes podrían contribuir a mantener niveles saludables de colesterol y presión arterial. Además, su aporte de magnesio y fósforo favorece la fortaleza de los huesos, permitiendo aprovechar sus nutrientes a largo plazo.

### Del ritual al laboratorio

Del altar maya al laboratorio y de ahí al anaquel del supermercado, el achiote ha recorrido un largo camino. Aquel pigmento que coloreaba cuerpos y templos sigue brillando hoy en los lugares más insospechados: un queso cheddar artesanal, un pintalabios o un medicamento. Sus compuestos naturales —la bixina y la norbixina— son apreciados por las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica que buscan sustituir colorantes sintéticos por alternativas más seguras y sostenibles.

Paradójicamente, en México, donde esta planta tiene raíces milenarias, se promueve poco su cultivo. La mayor parte se siembra en huertos familiares, con infraestructura limitada y una producción que apenas alcanza las 840 toneladas anuales concentradas en Yucatán, Tabasco y Quintana Roo. Mientras tanto, países como Perú y Brasil producen más de 12 mil toneladas, liderando el mercado continental.



Fruto maduro. Foto: Margarita Aguilar Espinosa.

Una parte de este rezago se explica por la falta de variedades mejoradas y por el uso de semillas sin selección genética formal. A menudo los agricultores eligen las plantas por su aspecto o productividad, sin saber que detrás de cada color y forma se esconde una enorme riqueza biológica aún poco estudiada.

En el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), la investigadora Renata Rivera Madrid y su equipo han iniciado un trabajo importante para entender esa diversidad. Analizan desde los rasgos visibles —como el color de las flores y semillas— hasta su ADN y proteínas. Este enfoque integral busca conservar la riqueza genética del achiote y, al mismo tiempo, mejorar su potencial agrícola.

Uno de sus hallazgos revela que la producción del pigmento rojo depende de procesos bioquímicos muy particulares. Además de bixina, las semillas contienen otros compuestos con propiedades antioxidantes, como tocoferoles y fitosteroles, que podrían tener aplicaciones en la salud, la nutrición e incluso en el cuidado de la piel. Comprender cómo la planta produce y almacena estas sustancias abre la puerta a aprovecharla mejor, no solo por su color, sino por sus beneficios funcionales.

Esa versatilidad también se refleja en su forma de crecer y multiplicarse. En distintos entornos, el achiote puede reproducirse por sí mismo (autofecundación) o cruzarse con otras plantas. Esa flexibilidad en sus formas de reproducción le ha permitido adaptarse a distintos climas y suelos, lo que lo convierte en una especie especialmente resistente y valiosa para el cultivo.

### Patrimonio biocultural

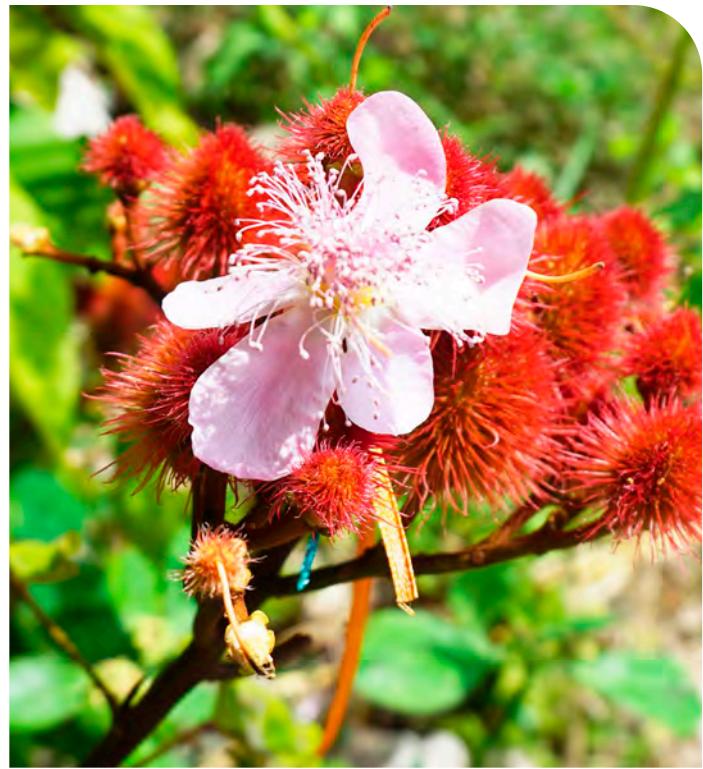
A pesar de los avances científicos, los retos siguen siendo grandes. Faltan programas de impulso, cadenas de valor sólidas y reconocimiento para las comunidades que han conservado esta planta durante siglos. Si se logra articular la ciencia con el saber campesino, el *k'uxub* o achiote podría recuperar su brillo original como colorante y como fuente de vida, identidad y desarrollo sostenible. Representa un patrimonio biocultural invaluable para México, con una larga historia cuya herencia sigue viva en la cultura, la gastronomía y la ciencia. Su estudio ha permitido comprender mejor su composición química y genética, así como su gran potencial biotecnológico, abriendo caminos para su conservación y aprovechamiento responsable.

Para que su uso sea verdaderamente sostenible y beneficie a quienes lo cultivan, es necesario impulsar la investigación aplicada y considerar el desarrollo de variedades mejoradas, con altos contenidos de bixina y de otros compuestos valiosos. De igual forma, promover prácticas agrícolas sustentables permitirá cuidar la biodiversidad y preservar su riqueza genética.





Fruto verde. Foto: Margarita Aguilar Espinosa.



Flor de achiote. Foto: Margarita Aguilar Espinosa.

También resulta esencial fortalecer las cadenas de valor que conectan a productores, comercializadores y consumidores, fomentando el consumo local y la producción nacional. Esto reduciría la dependencia de importaciones, además de contribuir a revalorar el cultivo tradicional, generar empleo rural y garantizar la disponibilidad de semillas de calidad.

En última instancia, la unión entre cultura, ciencia y comunidad es lo que puede asegurar el futuro del *k'uxub*. Un enfoque que vincule el conocimiento ancestral con la innovación permitirá mantener encendido el color que, durante siglos, ha simbolizado la vida y la creatividad de los pueblos mayas.

## Bibliografía

Ashraf, A., Ijaz, M. U., Muzammil, S. *et al.* (2023). The role of bixin as antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, and

skin protecting natural product extracted from *Bixa orellana* L. *Fitoterapia*, 169, 105612. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105612>

Pech-Hoil, R., Ferrer, M. M., Aguilar-Espinosa, M., Simpson, J., Valdez-Ojeda, R., Guzman-Antonio, A., Gutierrez-Pacheco, L. C., y Rivera-Madrid, R. (2024). Characterization and variability of morpho-genetic traits of commercial importance in achiote collection. *New Forests* 55(3), 523-541. <https://doi.org/10.1007/s11056-023-09987-5>.

Chacón, A., Morillo, M., Rondón, M., Hernández, V. *et al.* (2021). Actividad antioxidante y garapaticida de los extractos de las hojas de *Bixa orellana* L. *Revista de la Facultad de Farmacia*, 63(1), 3-13. <https://doi.org/10.53766/REFA/2021.63.01.01>

Rodolfo Pech-Hoil es posdoctorante en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (Mérida, Yucatán, México) | [rodolfo.pech@icloud.com](mailto:rodolfo.pech@icloud.com) | <https://orcid.org/0009-0005-7990-0494>

Margarita Aguilar-Espinosa es técnica académica en investigación en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (Mérida Yucatán, México) | [mgf@cicy.mx](mailto:mgf@cicy.mx) | <https://orcid.org/0000-0001-5354-9193>

Renata Rivera-Madrid es investigadora del Centro de Investigación Científica de Yucatán (Mérida Yucatán, México) | [renata@cicy.mx](mailto:renata@cicy.mx) | <https://orcid.org/0000-0003-1368-9639>



Mosquito Anopheles. Foto: <https://bitly/3K542av>



# El cambio climático y su lado invisible

Oscar I. García-Garza, Hiram Villanueva-Lozano y Rogelio de J. Treviño-Rangel

**Resumen:** El cambio climático no solo altera el planeta, también desafía directamente nuestra salud. Este fenómeno global fuerza a los microorganismos que nos enferman a evolucionar, haciéndolos más agresivos y resistentes a nuestras defensas. Por ejemplo, el aumento de las temperaturas favorece que hongos como *Candida auris* causen infecciones en humanos. Al mismo tiempo, el clima cambiante expande los territorios de mosquitos y otros vectores, disparando la aparición de enfermedades infecciosas en nuevas regiones. Entender estos inesperados impactos es clave para protegernos de futuras amenazas a nuestra salud.

**Palabras clave:** Enfermedades infecciosas, *Candida auris*, paludismo, termotolerancia, epidemiología.

## Maayat'aan (maya): U téek k'expajal u k'iinil jaja'il wa ke'elil yéetel ba'ax mun yila'al

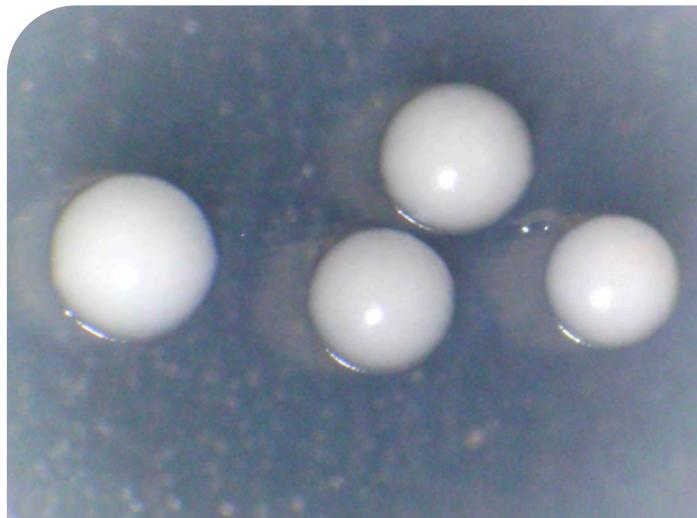
**Kóom ts'iibil meyaj:** U téek k'expajal u k'iinil jaja'il wa ke'elile' le k'aj óola'an beey cambio climático ma' chéen ku k'exbesik yóok'ol kaab, bey xan ku napul loobiltik k toj óolal. Le ba'al ku yúuchul yóok'ol kaaba' ku muk'a'ankunsik mejen ikelo'ob ku k'oj'a'ankunsiko'on tumen ku k'expajal u wíinkilo'ob ti'al ma' u ch'eejelo'ob, ku súutulo'ob jach loobilo'ob yéetel k wíinkile' mun tsa'ayal u tokubaj ti'ob. Je'ebix u jach chokojtal yóok'ol kaabe' ku yáantik ik'elo'ob wáaj hongo'ob je'ex *Candidozyma auris* u tsayik paak'be'en k'oj'a'anilo'ob ti' wíiniko'on. Kalikil xan, u jach téek k'expajal u k'iinil jaja'il wáaj k'iinile' ku beetik u seen ya'abtal kúuchilo'ob tu'ux yaan k'oxolo'ob yéetel uláak' ik'elo'ob tsayik k'oj'a'anil, ku t'i'itbesik túun paak'be'en k'oj'a'anilo'ob tu jeel kúuchi-lo'ob. K na'atik ba'ax ku téek tásike' ku yáantik uti'al k kanáantikekbaj ti' k'oj'a'anilo'ob ku taalo'ob.

**Áantaj t'aano'ob:** Paak'be'en k'oj'a'anilo'ob, *Candidozyma auris*, paludismo, termotolerancia, epidemiología.

## Bats'i k'op (tsotsil): Sk'ixnajel banamil xchi'uk ti mu k'usi xvi'naje

**Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op:** Ti sk'ixnajel banamile mu ja'uk no'ox ta sokes ti banamil vinajele, xchi'uk jech ta sk'unibtas stsatsal jch'iel jk'opojetik. Ti va'ay k'usi jech ta xjel batel ta skotole ja' te ta stsatsuban batel yipik ch'uch'ulil chocnetik ti yantik tsotsik ta milel cha'ay jbek'taltik k'alal jech xak'butik chamele. Jech k'ucha'al ti yantik k'ixnajem ti banamile ja' te lek ta xa'ayik ta ch'iel ti ch'uch'ulil chonetik jech k'ucha'al *Candidozyma auris* ti ja' stak' xak'be xchamel ti jch'iel jk'opojetike. Xchi'uk xtok, ti sjelel sba sk'ixnajel osil banamile yantik ta xbolaj batel ti bik'tal usetike, ja' jech yantik ta xlok'an talel ach' chameletik ti butik mu'yuk to'oxe. Yojtikinel ti va'ay x-elan ta xk'otan ta pasele tsots sk'opla yo' jech jk'el jchabitik batel ti jkuxlejaltike.

**Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun:** Jch'amajel chameletik, *Candidozyma auris*, paludismo, stsatsubel yip xch'uch'ulil chonetik xchi'uk xchanel chameletik.



Colonias aisladas de *Candida auris* en cultivo. Foto: Rogelio de J. Treviño-Rangel.

**H**uracanes cada vez más intensos, incendios forestales, sequías, olas de calor... Es casi un hecho que estas son las primeras imágenes que vienen a la mente cuando pensamos en el cambio climático, y no es para menos: tales fenómenos evidencian la magnitud de las alteraciones del clima y sus efectos sobre la vida en el planeta. Sin embargo, el mayor riesgo para la salud humana podría no encontrarse en esos desastres visibles, sino en lo que ocurre en el mundo invisible que nos rodea: los microorganismos patógenos o parásitos, entre ellos bacterias, virus y hongos. Diversas investigaciones han mostrado que el cambio climático también está modificando su fisiología y sus ecosistemas, creando condiciones que podrían volverlos más resistentes, más activos o incluso más peligrosos para las personas.

### Cambio climático y microorganismos

Los microorganismos están en constante evolución para adaptarse a su entorno, una capacidad que les da ventaja y les permite provocar infecciones más graves o que requieran tratamientos más complejos. En este proceso influye el cambio climático, pues altera la distribución geográfica y la frecuencia de los brotes epidémicos, además de que afecta a los microorganismos tanto de manera directa como indirecta.

Los efectos directos se reflejan en que algunos se vuelven más resistentes a las defensas del cuerpo humano. Un ejemplo claro es el aumento de las enfermedades fúngicas, resultado de la adaptación de ciertos hongos a la temperatura corporal humana. Los efectos indirectos, en cambio, provienen de los cambios que el clima genera en el comportamiento humano y en los vectores—los seres vivos que los microorganismos utilizan como vehículos para infectar a otras especies—, lo que incrementa la transmisión y aparición de infecciones. Así ocurre con los mosquitos: la expansión de las zonas donde se reproducen, sobre todo durante la época de lluvias, ha favorecido una mayor incidencia de las enfermedades que transmiten.

Por último, como la fisiología de cada grupo microbiano difiere entre sí, también varían los efectos que el cambio climático tiene sobre ellos. Por eso, su estudio suele abordarse por separado: por un lado, las enfermedades fúngicas, y por otro, las transmitidas por vectores.

### Enfermedades fúngicas

La mayoría de las especies de hongos están habituadas a condiciones ambientales muy diferentes a las del cuerpo huma-



no, algo crucial para nuestra susceptibilidad a ser infectados por microorganismos. Una de esas condiciones es la temperatura. Los hongos en general se desarrollan mejor entre los 25 y 30 °C, como el moho del pan o los hongos de las plantas. Sin embargo, dado que la temperatura corporal humana oscila entre los 36.5 y 37.5 °C, no somos un buen hospedero para estos organismos. De hecho, para ellos somos como un horno o un desierto en pleno día. Además, otras condiciones como la baja disponibilidad de nutrientes específicos, la presión osmótica, la acidez de la piel y mucosas, e incluso la acción del sistema immunológico, hacen que nuestro cuerpo sea un ambiente poco favorable para la supervivencia de una gran parte de los hongos.

No obstante, de acuerdo con un trabajo que el microbiólogo e inmunólogo estadounidense Arturo Casadevall publicó en 2020, en las últimas décadas el calentamiento global ha llevado a muchas especies a adaptarse a nuevas condiciones climáticas, y los hongos no son la excepción. Al verse expuestos a temperaturas más altas, han desarrollado una mayor tolerancia al calor, lo que les permite prosperar con más facilidad dentro del cuerpo humano.

Una muestra es el caso de *Candida auris*, un hongo levaduriforme (figura 1) que comenzó a causar infecciones graves en pacientes hospitalizados y con defensas inmunológicas bajas, de manera simultánea en Europa, África, Asia y Sudamérica. *C. auris* se distingue por su resistencia a múltiples fármacos, lo que complica su tratamiento. Asimismo, su presencia asintomática como colonizador de la piel humana facilita su propagación en entornos hospitalarios.

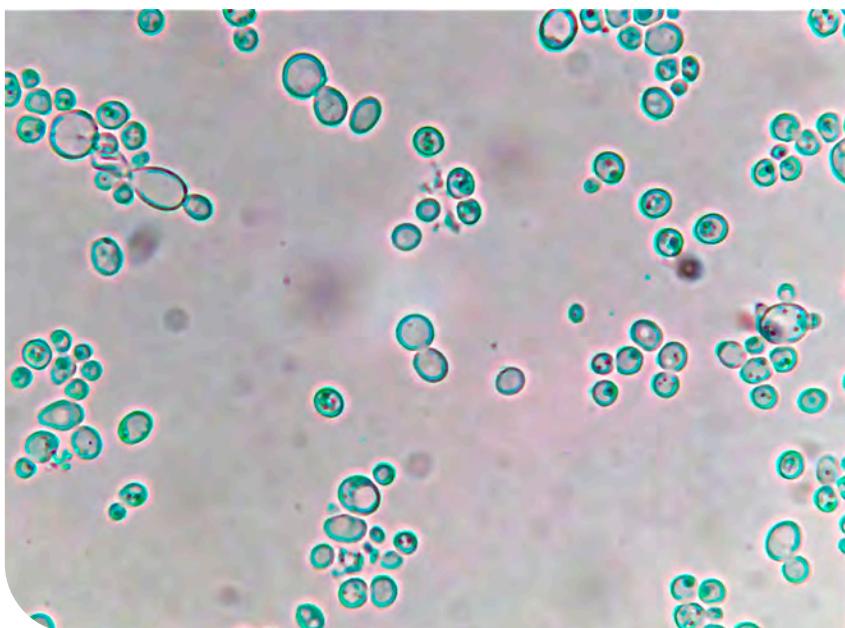


Figura 1. *Candida auris* observada al microscopio. Foto: Rogelio de J. Treviño-Rangel.

Casadevall también propuso la hipótesis de que *C. auris* era originalmente un hongo ambiental que, conforme aumentaban las temperaturas globales, desarrolló la capacidad de sobrevivir en el cuerpo humano. En las poblaciones microbianas surgen mutaciones de forma constante, y algunas de ellas confieren una mejor tolerancia al calor; cuando el ambiente se calienta, esas variantes sobreviven y predominan. El hecho de que *C. auris* se encuentre con frecuencia en la piel sugiere que ese pudo haber sido uno de los primeros pasos de su adaptación a los mamíferos.

De manera más general, el clima también influye en la propagación de otros hongos. Estos organismos se reproducen lanzando al aire esporas diminutas que viajan con el viento. Cuando las condiciones cambian —por ejemplo, durante sequías, tormentas de polvo o incendios— aumenta la cantidad de esporas en el medioambiente, y estas pueden recorrer distancias más largas. Al inhalarlas, las personas quedan expuestas a alergias o infecciones.

Lo que sabemos con certeza es que el calor, la humedad y los eventos extremos modifican la forma en que las esporas aparecen en el ambiente; lo que aún se investiga es si también cambian su estructura o tamaño para resistir mejor. Por ahora, la evidencia más sólida apunta a que el clima facilita su dispersión y nos expone más a ellas, aunque faltan detalles por entender.

### Enfermedades transmitidas por vector

El estudio de las enfermedades transmitidas por vector es complejo porque los factores climáticos no solo influyen en los microorganismos causantes de la infección, sino también en la biología, ecología y distribución de sus vectores. Un vector es un organismo vivo que actúa como vehículo para que un virus, bacteria, hongo o parásito alcance a un hospedero susceptible. El ejemplo más conocido en América Latina es el mosquito *Aedes aegypti*, responsable de propagar el virus del dengue. Este virus se replica dentro del insecto, el cual lo introduce en una persona, mediante su saliva, cuando la pica.

Aunque los mosquitos son los vectores más estudiados, existen muchos otros, por ejemplo, las garrapatas que transmiten la enfermedad de Lyme o las pulgas que propagan la peste. El virólogo brasileño William M. de Souza, en su estudio de 2024, asegura que los efectos del cambio climático sobre los vectores varían según la especie y la región. En el caso de mosquitos como *Aedes aegypti* y *Anopheles* (vector de la malaria),



el aumento de la temperatura puede acelerar su metabolismo, reducir el tiempo de incubación del agente infeccioso dentro del insecto y, en consecuencia, favorecer una transmisión más rápida. Sin embargo, otras especies poseen límites térmicos estrechos y no toleran climas demasiado cálidos, lo que restringe su distribución geográfica.

Por otra parte, la precipitación pluvial tiene efectos diferenciados. Las lluvias moderadas generan hábitats ideales para el desarrollo larvario de mosquitos en charcos y depósitos de agua. En contraste, las precipitaciones extremas pueden arrastrar sus sitios de crianza, en tanto que las sequías prolongadas los obligan a adaptarse a criaderos artificiales, como depósitos de agua domésticos, lo que aumenta el contacto con los humanos. Esto nos permite comprender que el cambio climático no es simplemente “más lluvia”, sino que implica la alternancia de fenómenos extremos— inundaciones, huracanes y sequías— que reconfiguran de manera desigual los hábitats de los vectores.

Otro aspecto es la expansión geográfica y altitudinal de los vectores, en la cual intervienen múltiples factores: temperatura, humedad, altitud, disponibilidad de criaderos, control sanitario, urbanización, resistencia del agente infeccioso y comportamiento humano, entre otros. En el caso del paludismo, transmitido por mosquitos del género *Anopheles*, el

cambio climático ha contribuido a modificar en parte esos determinantes, aunque no de manera aislada ni directa. Las condiciones ambientales clásicamente favorables para *Anopheles* han sido zonas cálidas y húmedas; sin embargo, y gracias a las valiosas aportaciones de los investigadores Sierra-Castañeda, Vittor y Danis-Lozano, en años recientes se ha documentado su presencia en áreas de mayor altitud como Colombia, Perú y México, donde antes se consideraban improbables. Este hallazgo coincide con estudios que muestran cómo el aumento de la temperatura media y la variabilidad climática permiten al vector colonizar nuevos espacios, ampliando el riesgo de transmisión en poblaciones que históricamente no estaban expuestas (figura 2).

La relación entre el evento meteorológico El Niño y la incidencia de paludismo también es compleja. Mientras que sequías prolongadas pueden reducir temporalmente los criaderos naturales, las sequías parciales seguidas de lluvias irregulares favorecen la formación de charcos que actúan como hábitats larvarios. Así, no es la sequía por sí sola, sino la interacción entre eventos extremos y disponibilidad de microhábitats lo que determina los brotes.

### Conclusión

El cambio climático va más allá de derretir glaciares o intensificar tormentas. Como hemos visto, está modificando las reglas

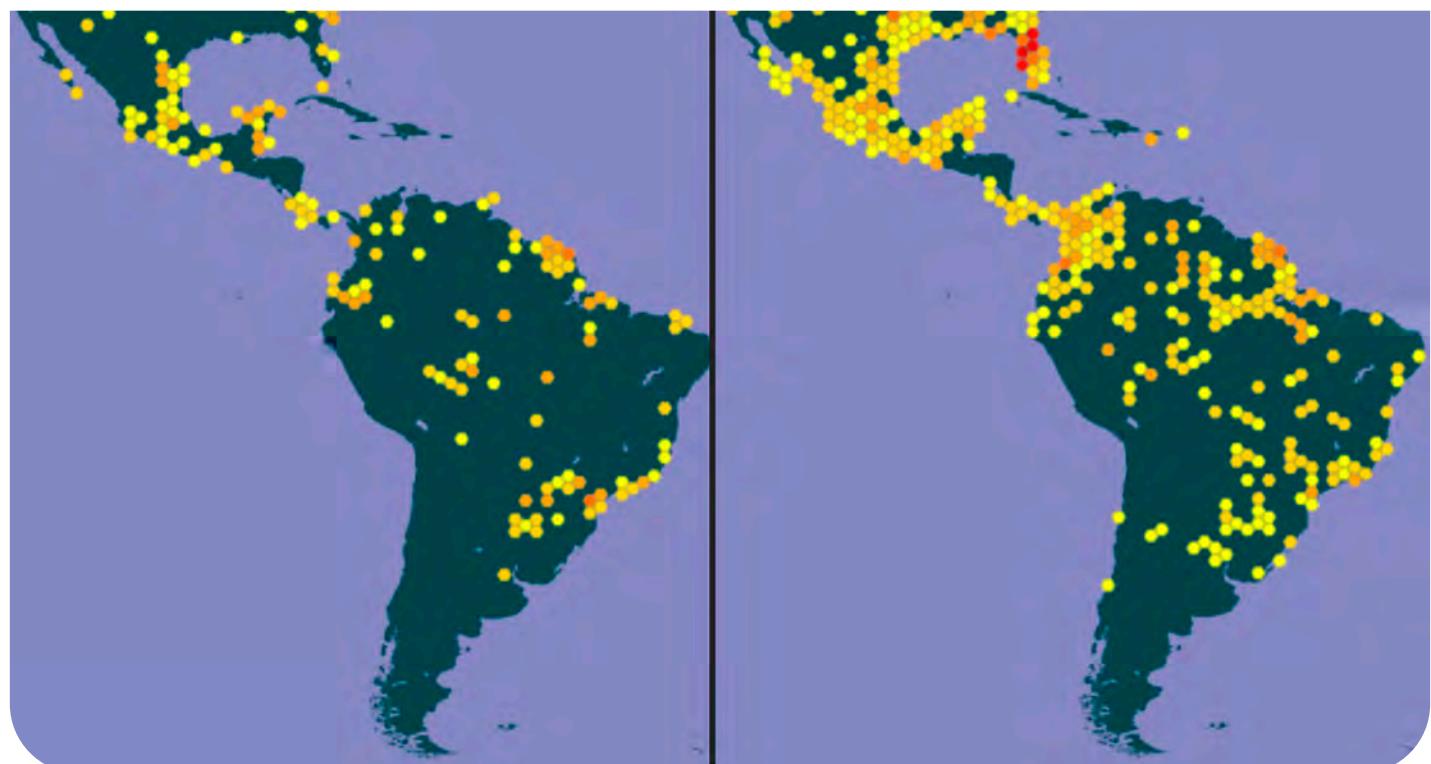


Figura 2. Mapa comparativo de la presencia del mosquito *Anopheles* en Latinoamérica en dos períodos históricos: izquierda, 1985-2000 y derecha, 2001-2025. Fuente: Global Biodiversity Information Facility, Backbone Taxonomy.





Larva de mosquito *Anopheles*. Fuente: <http://bit.ly/4hl1jjL>

del juego para el mundo microscópico, alterando la forma en que los microorganismos se comportan, se propagan y nos infectan. Desde hongos que evolucionan para tolerar la temperatura corporal humana hasta mosquitos que expanden sus territorios a nuevas latitudes, estos seres diminutos muestran una asombrosa capacidad de adaptación.

Es importante comprender los mecanismos de adaptación y las complejas interacciones entre el clima, los patógenos y los

vectores. Si no actuamos y nos preparamos, el futuro podría traernos nuevas enfermedades emergentes y el resurgimiento de otras ya conocidas: un panorama que requerirá de la ciencia una capacidad de respuesta sin precedentes. El cambio climático no solo afecta nuestro planeta, también desafía nuestra salud a nivel fundamental. Entender estos cambios nos permitirá anticipar, prevenir y mitigar futuras amenazas infecciosas en un planeta en incesante transformación.

### Bibliografía

- Casadevall, A. (2020). Climate change brings the specter of new infectious diseases. *The Journal of Clinical Investigation*, 130(2), 553–555.
- Seidel, D. et al. (2024). Impact of climate change and natural disasters on fungal infections. *The Lancet Microbe*, 5(7), e476–e491.
- De Souza, W. M., y Weaver, S. C. (2024). Effects of climate change and human activities on vector-borne diseases. *Nature Reviews Microbiology*, 22(8), 476–491.

Oscar I. García-Garza es estudiante de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Monterrey, Nuevo León, México) | oivan03@gmail.com | <https://orcid.org/0009-0009-5311-0995>

Hiram Villanueva-Lozano es profesor-investigador del Departamento de Medicina Interna, Servicio de Infectología del Hospital Regional ISSSTE (Monterrey, Nuevo León, México) | dr.villanueval@hotmail.com | <https://orcid.org/0000-0002-4121-2240>

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>



Foto: Constantino Gutiérrez Palacios.



# De los satélites a la gestión de basura en las ciudades

Juan Antonio Araiza-Aguilar, Hugo Alejandro Nájera-Aguilar y Rubén Fernando Gutiérrez-Hernández

**Resumen:** Las inundaciones, contaminación y crisis medioambiental en las ciudades, se deben en gran medida a un mal manejo de los residuos sólidos urbanos. Un problema para el que ya existen soluciones, como el uso de las tecnologías de información geográfica (TIG). Con estas herramientas es posible optimizar las rutas de recolección, seleccionar sitios de disposición final y monitorear el entorno con drones y sistemas de información espacial. Avanzar en su desarrollo es imperativo, pero requiere que gobierno, academia, sector privado y sociedad civil colaboren en favor de una gestión de residuos más tecnificada.

**Palabras clave:** Análisis espacial, residuos sólidos, teledetección, gestión ambiental, TIG.

## Maayat'aan (maya): Ti' satelite'ob tak ba'ax ku beeta'al yéetel u sojolil noj kaajo'ob

**Kóom ts'íibil meyaj:** Le tecnologías de información geográfica (TIG) nu'ukulo'ob ti'al u yutsil meyajta'al ba'ax ku beeta'al yéetel u ts'u'uy sojolil noj kaajo'ob tu noj lu'umil México. Ku yáantik u kaxta'al bejo'ob seba'ano'ob ti'al u mola'al sojol, u yéeya'al kúuchilo'ob tu'ux kun ts'ook bisa'al puulbil yéetel u ch'ukta'al yéetel satelite'ob bix yanik baak'pach, drono'ob yéetel le k'aj óola'an sistemas de información espacial ku yáantik u k'aj óolta'al jejeláas kúuchilo'ob. U yúuchul meyaj yéetele' ku yáantik ma' u seen xu'upul taak'in, u yutsil meyajta'al noj kaaj yéetel u téeta'al ba'ax kun beetbil tumen ku yila'al ba'ax ma'alob. Ba'ale' tumen miña'an túumben daatos, taak'in yéetel máako'ob u yojéel u meyajto'obe' mun beeta'al. Ti'al u táakmukta'al u meyajil TIGe' k'a'abet u múul meyaj jala'acho'ob, ajka'ansajo'ob, múuch' mola'ayo'ob yéetel tuláakal kajnaáalilo'ob ti'al u ka'ansa'al ba'ax ku pu'ulul, tu'uxi' yéetel bixi' ti'al ma' k'loobiltik yóók'ol kaab.

**Áantaj t'aano'ob:** Análisis espacial, ts'u'uy sojol, teledetección, gestión ambiental, TIC.

**Bats'i k'op (tsotsil): Ta stunesel satélite ta sk'elel stuk'ulanel xch'ayel k'a'epetik ta muk'ta lumetik**

**Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op:** Ti tecnologías de información geográfica (TIG) sbi ta kaxlan k'op, ja' sjam smelolaltak ab-telaletik ta slekubtasel sk'elel xchanel butik ta xich'an ch'ayel k'a'epetik ta muk'tikil lumetik ta Mejiko. Ja' ta xak' ta ilel butik lelik sbelal xchi'uk yavil ta xich'an jipel k'a'epetik xchi'uk stael ta ilel ta satélite xchi'uk ta dronetik k'u x-elan slekil me xchopolil ta spat xokon ti jipum k'a'epetike. Ti stunesel ya'yejalil ja' te yak'oj ta ojtitinkel stsulesbel stojolal ta spasel, xchanel lek spasel smuk'ibtasel lumetik k'alal me lek ojtitkinbil yosilalile. Ti k'usi no'oxe, ta skoj ti mu'yuk ach'ubtasbil ya'yejalil, mu'yuk ep stak'inalil xchi'uk ti mu boch'o lek sna' jech yabelanele ja' jech te mu xich' o tunesel. Stunesel batel ti TIG ta sk'an oyuk koltael bail yu'unik jtunel jvu'eletik, jchanubtasvanejetik, jnaklumetik xchi'uk boch'otik jk'ulejetike, yo' jech xlik lek spasel stunesel k'ucha'al mu xuts'inta osil banamil ti k'a'epetike.

**Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun:** Stael ta ilel ta vinajel, k'a'epetike, ta nom sk'elel, stuk'ulanel osil banamil, TIG.



Sitio de disposición final que opera como tiradero a cielo abierto en el sureste mexicano. Foto: Juan Antonio Araiza Aguilar.

Las ciudades mexicanas enfrentan una crisis que apenas empieza a ser perceptible para la ciudadanía: cada día se generan más de 120 mil toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU). Esta cifra representa miles de camiones circulando por las calles, sitios para desechos en su límite operativo y una población conviviendo con la basura. Cada tonelada mal gestionada significa contaminación y riesgos sanitarios graves.

La magnitud del problema se refleja en los residuos acumulados en las calles, en los malos olores, la fauna nociva y los drenajes obstruidos. Además, la basura es un indicador de desigualdad urbana, y es urgente replantear su gestión. Este artículo describe cómo las tecnologías de información geográfica (TIG) pueden convertir un desafío en la oportunidad de construir ciudades más sustentables y eficientes.



## Tecnologías de la información geográfica

En un estudio publicado en 2011, el especialista Laureano Zurita indica que el enfoque geoespacial permite entender la localización de los objetos en el espacio y sus relaciones; representar lugares; comprender conceptos como distancia, orientación o dirección, así como reconocer patrones espaciales para regionalizar un fenómeno natural o social. Es decir, que las TIG permiten ver lo que pasa inadvertido, y lo hacen combinando distintas fuentes de datos, recurriendo a métodos de análisis espacial y aplicando tres recursos principales:

**1. Sistemas de posicionamiento satelital**, o constelaciones de satélites para localizar objetos en la superficie terrestre. Los usamos al encender el GPS del teléfono o en las aplicaciones de transporte. Ejemplos: GPS (Global Positioning System), Glonass (Global Navigation Satellite System), BDS (Beidou Navigation Satellite System) y Galileo.

**2. Sistemas de información geográfica (SIG)**, que permiten capturar, analizar y representar datos de una ubicación específica integrando la información de censos, mapas o cámaras para la planificación urbana, gestión ambiental y toma de decisiones. Un SIG transforma datos en mapas inteligentes. Hay opciones de uso libre como Google Maps, QGis y GvSIG, y de pago como ArcGIS.

**3. Teledetección**, técnica que obtiene información de la superficie terrestre mediante sensores en satélites, aviones o drones, con la cual se mide la temperatura, la humedad del suelo o las condiciones de la vegetación; es gran aliada del monitoreo ambiental.

En conjunto, estas tecnologías ofrecen una lectura del territorio. Observando, analizando y comprendiendo el espacio desde distintos ángulos, constituyen la base para enfrentar los retos urbanos y ambientales.

## Geotecnologías y manejo de residuos sólidos

De acuerdo con su investigación de 1993, Tchobanoglous y sus colaboradores señalan que los RSU provienen de la actividad humana desarrollada en el ámbito doméstico, y en los espacios públicos, como parques, jardines y vialidades. Cuando estos residuos se manejan inadecuadamente contaminan las aguas superficiales y subterráneas, los suelos y la atmósfera; también provocan la muerte de flora y fauna, además de inundaciones, malos olores y riesgos para la salud. Todo ello proviene de una recolección deficiente de la basura y su inadecuada disposición final, de modo que se requieren soluciones prácticas.

Como los desechos deben recolectarse para su tratamiento o destino, las TIG tienen la capacidad de optimizar rutas de

transportación o incluso anticipar el consumo de combustible con datos como el peso de los camiones.

Otro reto es encontrar los lugares más apropiados para plantas de tratamiento o depósito. Usando las TIG y técnicas de análisis multicriterio es posible integrar información de pendientes, suelos, cuerpos de agua o áreas urbanas, de modo que al decidir la ubicación de un nuevo relleno sanitario, se superpone la información para determinar el sitio más idóneo. Así, las decisiones basadas en criterios científicos y espaciales resultan en una gestión territorial más inteligente y sostenible.

Otro aspecto aprovechable de las TIG es que se apoyan en imágenes satelitales para monitorear las condiciones físicas del terreno cercano a los sitios de disposición de residuos. Son imágenes térmicas e infrarrojas que permiten determinar variaciones de temperatura del suelo, estimar emisiones de gases de descomposición e incluso prevenir incendios. Tam-



Levantamiento de coordenadas en un sitio de disposición final, con un equipo que recepciona información espacial proveniente de satélites. Foto: Constantino Gutiérrez Palacios.





Vehículo aéreo no tripulado, conocido como dron, usado para tomar fotografías de sitios de disposición de basura. La marca en el suelo indica el lugar de despegue. Todo dron se maneja con un control, que permite seguir la ruta de vuelo y capturar imágenes o videos. Fotos: Constantino Gutiérrez Palacios.

bién ayudan a cuantificar volúmenes de residuos y analizar operaciones, comparando imágenes de distintas fechas. Esta información es valiosa para las empresas de gestión de residuos y grupos de investigación, y para planificar la vida útil de los sitios o justificar celdas de confinamiento adicionales.

En años recientes, el uso de drones ha crecido notablemente. Son más accesibles, fáciles de manejar y cuentan con sensores precisos. Un dron puede volar en minutos sobre un basurero clandestino y registrar su extensión, algo que de otro modo llevaría días o semanas. Esto facilita la planificación, el seguimiento y la toma de decisiones; reduce riesgos para el personal cuando son lugares de difícil acceso o están en condiciones insalubres.

Finalmente, con las TIC es posible modelar la propagación de contaminantes en basureros, como los lixiviados (líquidos que se filtran de los residuos y contaminan suelos y agua) y el biogás (mezcla de gases producidos por la descomposición orgánica). Esto previene daños ambientales y sanitarios, una tarea que requiere combinar herramientas geoespaciales con modelos matemáticos.

Funcionalidad TIC	Aplicaciones en gestión de residuos
Representación / cartografía	Elaborar mapas de generación y cobertura de residuos.
Diseño / optimización	Planear rutas y cobertura del servicio de recolección.
Modelos de impacto / riesgo	Identificar zonas vulnerables o con mayor riesgo ambiental.
Ubicación de infraestructura	Seleccionar sitios adecuados para plantas de tratamiento o disposición

### Desafíos y oportunidades

El uso de las TIC tiene su mayor problema en la disponibilidad de datos; la información espacial digital y actualizada es costosa y escasa. En México, esta información la producen el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y otras dependencias, pero no siempre resulta útil para el tratamiento de los RSU. La información más relevante, como la cobertura de recolección o la ubicación de los sitios para la disposición final, recae en los ayuntamientos, que rara vez la generan y aún menos la comparten. ¿De qué sirve una tecnología poderosa si no hay datos para alimentarla? Sin una base de datos confiable y accesible, su potencial se reduce. Si bien la participación del sector privado es poca, realmente podría fortalecer este aspecto, y las alianzas público-privadas serían muy útiles.

Otro desafío es que el uso eficaz de las TIC requiere de conocimientos en geografía, análisis espacial, programación y modelado de datos. Asimismo, la aplicación de estas herramientas se dificulta por sus costos y escasez de personal especializado.

Por otra parte, los productos generados con TIC deben reajustarse para mantener su utilidad. Esto se complica para grandes extensiones o territorios que se modifican por urbanización, cambios de uso del suelo o condiciones ambientales. En el caso de los RSU, la producción, cobertura de recolección y ubicación de sitios de disposición final cambian con rapidez, por lo que la actualización de las bases de datos necesita de una interacción constante entre distintos niveles de gobierno y otros actores.

### Casos prácticos en México

La intersección entre las tecnologías de información geográfica y el manejo de residuos sólidos urbanos se ha consolidado como una línea de investigación en crecimiento en planifi-



cación ambiental, gestión urbana y sostenibilidad. Se puede concebir como un cruce temático que permite la toma de decisiones fundamentadas, además de contribuir a los sistemas de protección de salud pública y facilitar la mejora de los servicios municipales.

En varias regiones de México ya se están utilizando estas tecnologías. Por ejemplo, en 2019, en Ciudad de México, un grupo de investigación aplicó análisis espacial para poner a prueba las rutas actuales de recolección y transporte de los RSU. Con la información obtenida, se diseñaron rutas alternativas que ayudaron a reducir costos operativos y tiempos de traslado, y a disminuir las emisiones contaminantes por consumo de combustible.

En 2022, en la región de Sotavento, Veracruz, con las TIG se localizaron los antiguos sitios de disposición abandonados. Se identificó su extensión, se calcularon los volúmenes acumulados de residuos y se evaluaron los posibles impactos ambientales. Esto permitió establecer prioridades de clausura y mitigación ambiental. Por otra parte, durante 2024 en Oaxaca, se utilizaron imágenes satelitales y técnicas de análisis espacial para detectar tiraderos ilegales; se generó una base de datos que facilitó la planeación de operativos de limpieza y acciones de vigilancia ambiental.

Estos ejemplos comprueban que el uso de las TIG mejora la eficiencia de las rutas de recolección, localiza tiraderos a cielo abierto y controla los impactos ambientales, además de impulsar una visión territorial integral y participativa para la elaboración de políticas públicas ligadas a los RSU. Al final, todo se traduce en un espacio urbano más limpio, menos contaminado y con servicios públicos de calidad.

Diversas investigaciones coinciden en que la evolución de las TIG dependerá del avance de la tecnología informática y de la madurez en su uso y aplicación; en cuanto al manejo de los desechos, es indispensable el interés por parte de los tomadores de decisiones, junto con la colaboración entre gobiernos, empresas tecnológicas y consultorías, la academia y organizaciones internacionales.



En un tiradero se hicieron registros mediante un equipo que recibe información de satélites. Foto: Constantino Gutiérrez Palacios.

Recordemos que las TIG no son solo mapas digitales; son herramientas para imaginar y construir ciudades más habitables, sostenibles y equitativas. Ayudan a visualizar problemas, prever riesgos y planificar soluciones basadas en evidencia. Las ciudades que logren combinar innovación tecnológica, políticas públicas inclusivas y ciudadanía informada, estarán mejor preparadas para enfrentar los desafíos ambientales. Usar la tecnología para mejorar la vida urbana, preservar el entorno y fortalecer la corresponsabilidad entre quienes generan y gestionan residuos es un reto tecnológico, ético y colectivo. Apostar por las TIG significa un futuro más limpio, cohesionado y consciente del territorio que habitamos.

## Bibliografía

Araiza, J., Cram, S., Ruiz, N., Oropeza, O. et al. (2021). What does 'risk' mean in municipal solid waste management? *Investigaciones Geográficas*, 1-20. [https://doi.org/10.14350/](https://doi.org/10.14350/rig.60268) rig.60268.

Tchobanoglou G., Theisen H., y Vigil S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue*. Nueva York: McGraw Hill.

Zurita, L. (2011). *La gestión del conocimiento territorial*. Madrid, España: RA-MA.

Juan Antonio Araiza-Aguilar es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Ciencias y Artes de Chiapas, Subsede Reforma (Reforma, Chiapas, México) | [juan.araiza@unicach.mx](mailto:juan.araiza@unicach.mx) | <https://orcid.org/0000-0002-3530-0674>

Hugo Alejandro Nájera-Aguilar es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Ciencias y Artes de Chiapas, Sede Tuxtla Gutiérrez (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México) | [hugo.najera@unicach.mx](mailto:hugo.najera@unicach.mx) | <https://orcid.org/0000-0002-9337-8242>

Rubén Fernando Gutiérrez-Hernández es profesor investigador en el Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Tapachula, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica (Tapachula, Chiapas, México) | [rgutierrez@ittapachula.edu.mx](mailto:rgutierrez@ittapachula.edu.mx) | <https://orcid.org/0000-0001-8642-9075>





# Bocas sanas y probióticos en acción

**Georgina Chávez-Cortéz, Zureya Fontes-García, Pilar Nuñez-Ortega y Viviana Pitones-Rubio**

**Resumen:** La salud bucal depende no solo de la higiene, sino también del equilibrio de los microorganismos que habitan nuestra boca. Cuando se altera, puede surgir la enfermedad periodontal, infección crónica de dientes y encías frecuente en el sur-sureste de México. En esta región, bebidas tradicionales como el pozol y la taberna contienen probióticos naturales, que además de favorecer la digestión, pueden contribuir a la salud bucal. Incorporar alimentos fermentados a la dieta, junto con buenos hábitos de higiene, ayuda a mantener equilibrada la microbiota y reduce el riesgo de enfermedades orales, integrando tradición y ciencia en la alimentación cotidiana.

**Palabras clave:** Enfermedad periodontal, alimentos fermentados, microbiota oral.



## Maayat'aan (maya): Toj óol chi'ob yéetel probiótico'ob ku mayajo'ob

**Kóom ts'íbil mayaj:** U yantal toj óolal ich u chi' máake' ma' chéen ku taal ti' u p'o'ik utsi', bey xan ti' wa yaan jeets' óol ichil mejen ik'elo'ob wáaj microorganismo'ob kuxa'ano'ob ich k chi'. Wa mina'an jeets' óolale' ku béeytal u táasik u k'oja'anil u chuun koj, u yantal infección tu koj yéetel tu chuun u koj máak jach ku tsa'ayal tu nojol-lak'iinil México. Te' peten lu'uma', úuchben uk'ulo'ob jach sukbe'eno'ob je'el bix k'eyem yéetel taberna yaan probiótico'ob ichil, mejen ik'elo'ob kuxa'ano'ob táaj ma'alob uti'al u toj óolal máak, tumen ku yáantik xan u máansikubaj máak, ku yáantik xan u yantal toj óolal ich u chi' máak. K táakbesik janalbe'en ba'alo'ob tso'ok u pajtal uti'al k tsentikekba'e', múuch' yéetel k utsil p'o'ik k chi' yéetel k koje', ku yáantik ti'al uts yanik ich k nak' wáaj microbiota yéetel tune' mun jach tsa'ayal k'oja'anil ich k chi', táan k much'ik ba'ax sukbe'enil yéetel ciencia ti'al k tsentikek-baj sáansamal.

**Áantaj t'aano'ob:** K'oja'anil chuun koj, paj o'cho'ob, microbiota ich k chi'.

## Bats'i k'op (tsotsil): Lekil eil xchi'uk slekilal xch'uch'ulil xchanul eil

**Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op:** Slekil stsatsal eile mu ja'uk no'ox ta xal ti oy lek sjuxel sukele, xchi'uk jech k'ucha'al xtok k'usitik lekil ch'uch'ulil chonetik te ayinemik ta yutil tu eile. K'alal me xjel stuk'ulanele, oy yik'al te xich' tael xk'uxben chonalil, situbel sbek'talil tanal eil xchi'uk k'usitik yantik tsatsal k'ux ealil ta slumal sureste yu'un Mejiko. Ti li' ta jsep lume, bats'i uch'umo'etik jechik k'usitik k'ucha'al mats' xchi'uk yantik pajubtasbil uch'umo'etik ti oyik slekil ch'uch'ulil xchanule ja' jtunel yu'un jbek'taltik, xchi'uk mu ja'uk no'ox ta slekubtas ch-abtej ch'util xchi'uk ta stuk'ulan slekil ealil. Yu'un me oy k'usi pajubtasbil ta xich'an lajesele xchi'uk me lek ta xich' pokel juxel xchi'uk ta xich' tunesel bijilalile xchi'uk ti slajesel k'usi nopen ta kuxlejalile, ja' jech te ta xbik'taj stael xchamel ti eile.

**Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun:** Xchamel situbel sbek'tal tanal eil, pajubtasbil ve'el uch'umo'il, slekil xch'uch'ul xchanul eil.

Cada bocado que ingerimos y cada sorbo que tomamos interactúa con millones de entes microscópicos que habitan en nuestro cuerpo, invisibles pero esenciales para nuestra salud. Supongamos que nuestra boca y nuestro intestino son ciudades vibrantes, llenas de vida, donde un ejército de seres diminutos trabaja día y noche para mantener todo en orden. Algunos son guardianes discretos que nos protegen, mientras que otros, si se descontrolan, pueden causar caos y enfermedad.

En este artículo descubriremos cómo los probióticos —microorganismos presentes en alimentos fermentados como el pozol, el yogur o la kombucha— contribuyen a mantener el equilibrio de estas “ciudades” internas, y cómo tradición y ciencia se cruzan en cada alimento que consumimos.

### Los buenos y los malos

Con la palabra “microorganismos” o “microbios” solemos pensar en bacterias o virus que causan enfermedades y que, de manera simplista, catalogamos como “malos”. Sin embargo, el término también abarca hongos, protozoos y arqueas, entre otros seres diminutos, y solo una pequeña fracción de ellos resulta realmente nociva.

La mayoría no solo es inofensiva, sino que vive con nosotros, ¡literalmente! y nos brinda importantes beneficios. En nuestro cuerpo habitan miles de microorganismos que se mantienen en equilibrio en distintas áreas, como la piel, la boca o los intestinos. Allí interactúan en conjunto, formando lo que se conoce como microbiota. Su composición y funciones varían



Gingivitis. Fuente: <https://bit.ly/3XabrrU>



Enfermedad periodontal. Foto: Zureya Fontes García.





Pozol. Foto: Esthefania Munguía.

según la zona; por eso hablamos, por ejemplo, de la microbiota oral o de la intestinal.

Cuando estamos sanos, esta comunidad microbiana permanece balanceada y cumple funciones esenciales: evita la invasión de patógenos, complementa la nutrición y mejora la digestión. Pero si el equilibrio se rompe, las especies dañinas pueden multiplicarse y causar enfermedades. Imaginémoslo así: nuestras encías son como un jardín que florece si lo cuidamos, pero en cambio, si lo descuidamos, las malas hierbas proliferan y desplazan a las plantas sanas.

La buena noticia es que existen estrategias para mantener el equilibrio. Una de ellas es el consumo de probióticos, microorganismos vivos (bacterias, hongos o levaduras) que benefician nuestra salud al tomarse en cantidades adecuadas. Lo hacen porque producen sustancias antimicrobianas, estimulan el sistema inmune y compiten con las bacterias patógenas por espacio y nutrientes.

Imaginemos que cada bocado de fruta o verdura pasa por un pequeño equipo de “ayudantes” en nuestro intestino, los cuales comienzan a descomponer la fibra y los nutrientes, preparando la comida para que el cuerpo la aproveche mejor. Además, algunos de estos microbios producen sustancias que inhiben bacterias dañinas y pueden ayudar a modular el

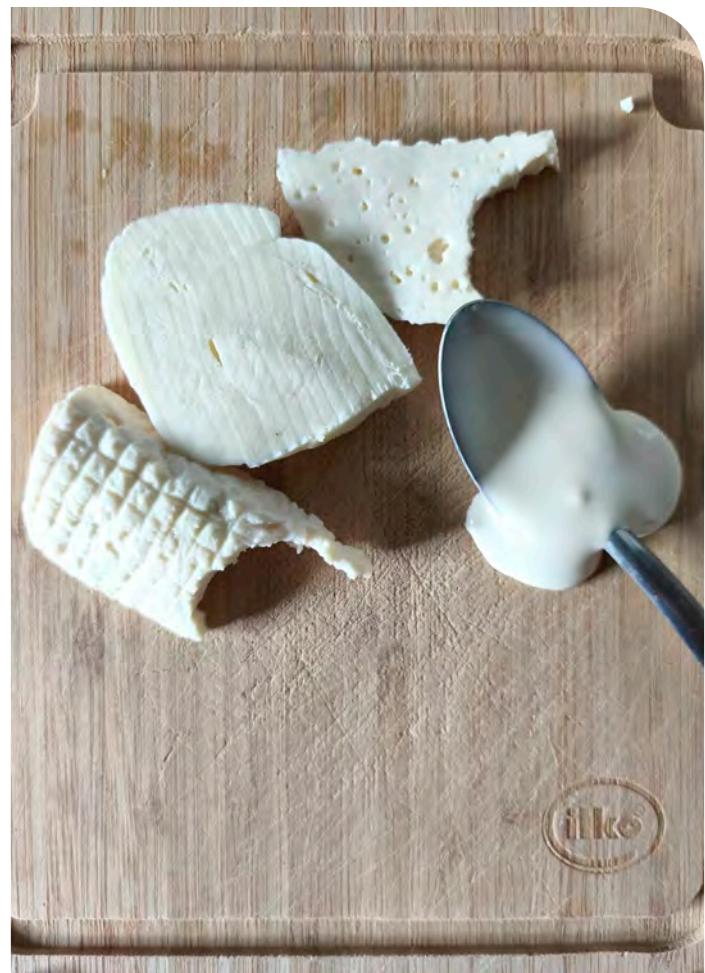


Foto: Carla Quiroga.

sistema inmune, contribuyendo a que la microbiota se mantenga en equilibrio y favoreciendo la salud intestinal. Este equilibrio microbiano no solo beneficia la digestión, sino que también influye en la salud de la boca y las encías.

### **Cuidar algo más que los dientes**

Es común escuchar que lavarse los dientes, acudir regularmente al dentista y evitar la comida chatarra con mucha azúcar ayuda a conservar la dentadura y a prevenir el uso de prótesis (dientes postizos). Esto es totalmente cierto: la salud bucal es fundamental para el bienestar general. Por ello, una alimentación equilibrada es clave. La falta o el exceso de ciertos nutrientes afectan la salud bucal, favoreciéndola o dañándola, provocando problemas como la enfermedad periodontal.

Cuando la comunidad microbiana de la boca se desequilibra, las “malas hierbas” bacterianas pueden causar inflamación, sangrado y, en casos graves, pérdida dental. La enfermedad periodontal es crónica y se clasifica en dos etapas:

- a) Gingivitis, encías inflamadas y sangrantes; puede revertirse con tratamiento oportuno.



- b) Periodontitis, la forma avanzada que incluso causa pérdida de dientes si no se trata a tiempo.

En Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Tabasco, la prevalencia alcanza 59.3%, 56.9%, 57.5% y 53.6%, respectivamente, muy por encima del promedio nacional (42.5%). Entre las causas destacan el acceso limitado a servicios odontológicos, la escasa difusión de información sobre higiene bucal y la sustitución de dietas tradicionales por otras modernas, más procesadas y con alto contenido de azúcar. Todo esto crea condiciones ideales para que las bacterias dañinas prosperen.

Si la invasión bacteriana es incipiente, puede controlarse con buena higiene. Si progresá, provoca desplazamiento o aflojamiento de los dientes y, en casos graves, deterioro del hueso que los sostiene, momento en el que el daño ya no es reversible. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera a la enfermedad periodontal como una de las principales afecciones de la cavidad bucal y señala que la mayoría de la población mundial la desarrollará a lo largo de su vida. Otros factores de riesgo, como fumar, consumir alcohol o padecer diabetes, pueden agravar la enfermedad.

### Probióticos preventivos

Para la prevención y un buen tratamiento de la enfermedad periodontal, lo primordial es disminuir la cantidad de bacterias

que la causan y tratar de que no se multipliquen. Sin embargo, aunque se estudian nuevos métodos que complementen los tratamientos habituales, como las limpiezas dentales, y que ayuden a impedir la proliferación de bacterias en las encías, aún no existen soluciones definitivas. No obstante, en los últimos años se ha reportado que las bacterias probióticas inhiben el crecimiento excesivo de las bacterias que causan el padecimiento, además de que mejoran nuestras defensas.

Pero mucho antes de que existiera el término “probiótico”, los pueblos indígenas del sureste de México ya practicaban la fermentación, un proceso para conservar los alimentos, y que además los satura de microorganismos “buenos”. Las bebidas resultantes son parte fundamental de la cultura y la identidad regionales. Es el caso del pozol, una de las más representativas del sur-sureste de México; se elabora con maíz y cacao molido fermentados, contiene una gran cantidad de bacterias y levaduras beneficiosas, y la población la considera un alimento energético. Otro caso es la taberna, un fermento de palma de coyol, tradicional entre la población chiapaneca y tabasqueña, y que podríamos considerar un primo lejano del pulque; también contiene importantes microorganismos útiles.

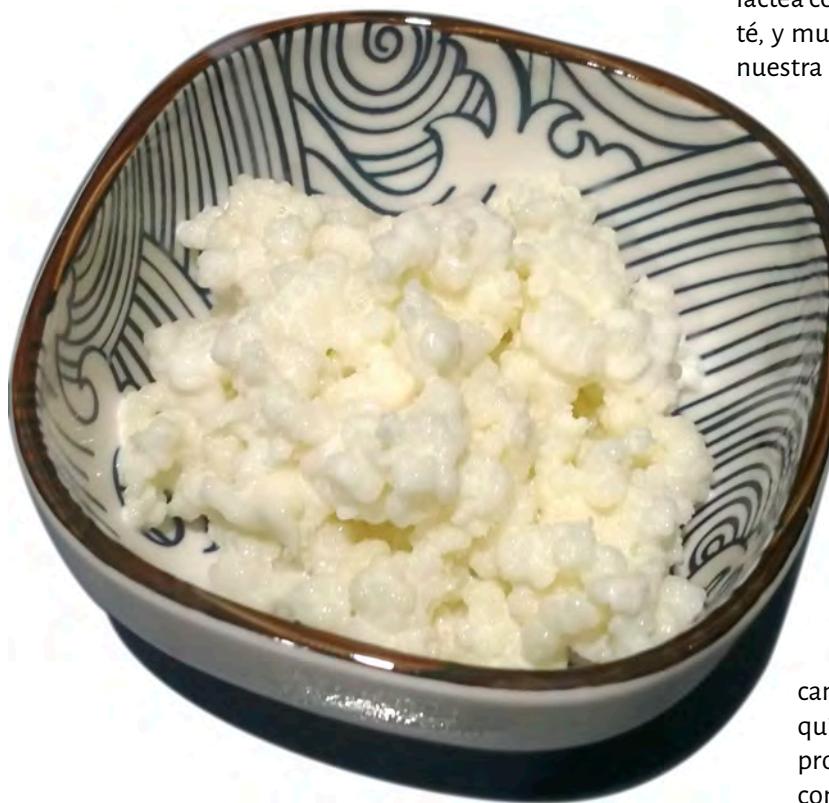
Además de estas preparaciones tradicionales, existen muchas otras maneras de incorporar probióticos, ya sea mediante suplementos o en distintos alimentos. Entre ellos están el yogur y el queso, elaborados a partir de la leche; el kéfir, una bebida láctea con bacterias y levaduras; la kombucha, una infusión de té, y muchas otras opciones que contribuyen al equilibrio de nuestra microbiota.

En definitiva, incluir alimentos que contengan probióticos en nuestra dieta es una magnífica opción. Y en primer lugar tendríamos las bebidas tradicionales de la región, que no representan peligro, son de relativo fácil acceso y en conjunto con otros tratamientos, ayudan a disminuir o prevenir la enfermedad periodontal.

### Dietas con tradición y ciencia

Entonces, ¿nuestra comida puede contener probióticos? Sí, pero no hay que confundirse. Los alimentos que los contienen primero deben pasar por un proceso de fermentación, que consiste en agregar microorganismos “buenos” a una base, por ejemplo, la leche. Para que estos aprovechen los compuestos de la base mientras se multiplican, se deja reposar la mezcla, y mediante reacciones químicas producen nuevos alimentos. Al consumir ese producto final de la fermentación, los probióticos que contiene comienzan a ejercer sus efectos positivos sobre la salud.

Búlgaros. Foto: Laura Rubio Delgado.





Kefir de agua. Foto: Laura Rubio Delgado.

Después de conocer lo anterior, podemos incluir probióticos de forma segura en nuestra dieta para mejorar nuestra salud bucal, aunque no todos funcionan igual para todas las personas. Cada microorganismo tiene variantes específicas, llamadas cepas, que pueden comportarse de manera distinta y ofrecer diferentes resultados. Normalmente su consumo es seguro, pero algunas cepas podrían no ser recomendables para quienes tienen el sistema inmunológico debilitado o padecen ciertas enfermedades intestinales. En estos casos, es importante contar con orientación profesional para elegir la cepa y la dosis más adecuadas, además de considerar que hay personas intolerantes a la lactosa o alérgicas a algún componente del producto fermentado. Aun con estas precauciones, los probióticos son muy útiles para cuidar la salud bucal y apoyar la prevención de problemas en las encías.

Sin duda, su uso es prometedor para ayudar a prevenir la enfermedad periodontal, pero de ninguna forma sustituye la limpieza dental ni otros tratamientos profesionales. Incluir alimentos o bebidas con probióticos en nuestra dieta, especialmente aquellos tradicionales como el pozol, el yogur

o la kombucha, contribuye a mantener la microbiota, esas “ciudades internas” equilibradas y saludables, demostrando cómo tradición y ciencia se entrelazan en nuestra dieta cotidiana

### Bibliografía

Hajishengallis, G., y Lamont, R. (2021). Polymicrobial communities in periodontal disease: Their quasi-organismal nature and dialogue with the host. *Periodontology 2000*, 86(1), 210-230.

Silvera, E., Pereira, V., Asquino, N. et al. (2022). Probióticos y enfermedad periodontal. Revisión de la literatura. *International Journal of Interdisciplinary Dentistry*, 15(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S2452-55882022000100054>

Puzhankara, L., Banerjee, A., Chopra, A., Venkitachalam, R., y Kedlaya, M. (2024). Effectiveness of probiotics compared to antibiotics to treat periodontal disease: Systematic review. *Oral Diseases*, 30(5), 2820–2837. <https://doi.org/10.1111/odi.14781>

Elda Georgina Chávez-Cortéz es profesora-investigadora de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Yucatán (Mérida, Yucatán, México) | elda.chavez@correo.uady.mx | <https://orcid.org/0000-0002-9566-2976>

Zureya Fontes-García es profesora-investigadora de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Baja California (Mexicali, Baja California, México) | zureya.fontes@uabc.edu.mx | <https://orcid.org/0000-0002-6329-1285>

Pilar Elena Núñez-Ortega es investigadora posdoctorante del Departamento de Salud de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal (San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México) | penunez@guest.ecosur.mx | <https://orcid.org/0000-0002-3103-6837>

Silvia Viviana Pitones-Rubio es profesora-investigadora de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Baja California (Mexicali, Baja California, México) | viviana.pitones@uabc.edu.mx | <https://orcid.org/0000-0002-0583-6718>





# Reinvención en el reino de los hongos

Fatima Lizeth Gандarilla Pacheco, Isela Quintero Zapata y Myriam Elías Santos

**Resumen:** Los hongos entomopatógenos se caracterizan por su capacidad para infectar insectos. Son ampliamente conocidos por su exitosa trayectoria al usarlos en el control de plagas de relevancia agrícola; más aún, en años recientes se ha descubierto que tienen otras propiedades de notable interés ambiental, y para la salud y alimentación humanas. Por eso importa reevaluarlos y saber que son aliados multifacéticos cuyas ventajas evolutivas pueden ser de gran utilidad para el mejoramiento de la vida humana.

**Palabras clave:** Hongos entomopatógenos, insectos, ambiente, salud.

## Maayat'aan (maya): Ka'a muk'a'ankunsajil tu kúuchil kuxtal hongo'ob

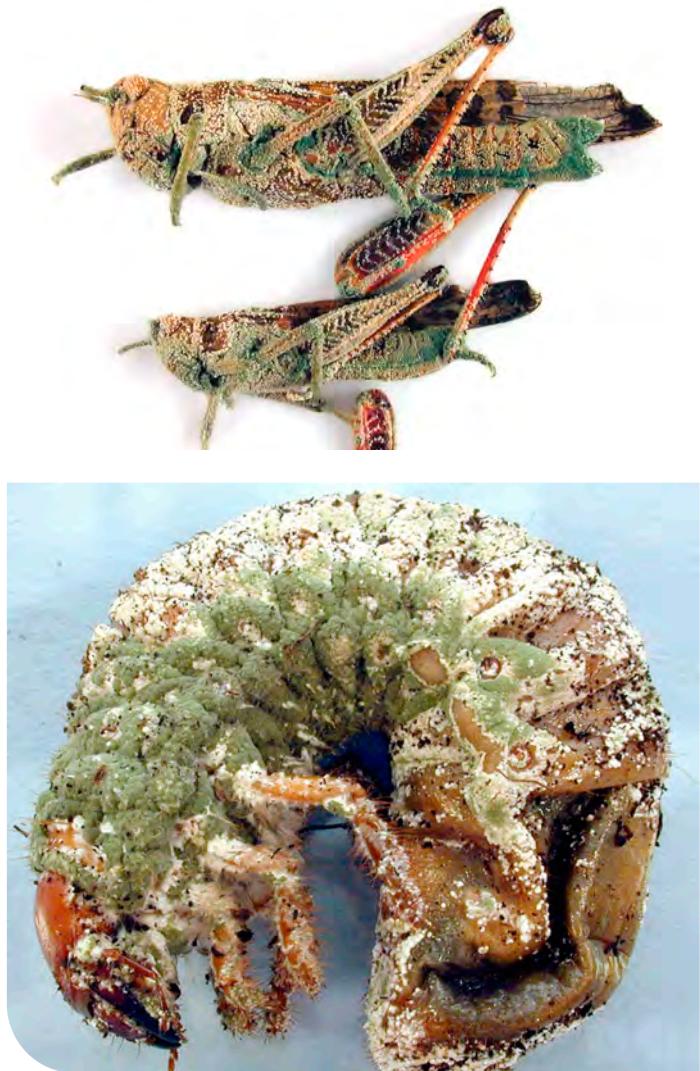
**Kóom ts'íibil meyaj:** Le kuuxumo'ob wáaj hongo'ob ku ya'ala'al entomopatógeno'ob jun müuch' kuxa'an ba'alo'ob jach k'aj óo-la'ano'ob tumen ku k'oj'a'ankuntik ik'elo'ob ts'o'oke' ku k'uchul tak u kíinso'ob. Jach máan k'aj óola'ano'ob tumen ku seen áantaj ti'ál u to'opol ik'elo'ob ku báan kíinsin paak'alo'ob; ba'ale' ichil le ja'abo'ob máano'oba' ts'o'ok u yila'al yaan uláak' ba'alo'ob ti' ku yáantajo'ob, jach k'a'ana'an ti'ál u kanáanta'al yóok'ol kaab, u toj óolal wíinik yéetel ti' u tsentikubaj máak. Jach k'a'abet k'yabilti-ko'ob tumen táaj k'a'ana'ano'ob ti' jejeláas ba'alo'ob ku yáantajo'ob, tumen ku seen ma'alobkuntiko'ob u kuxtal wíinik.

**Áantaj t'aano'ob:** Hongo'ob entomopatógeno'ob, ik'elo'ob, ba'ax ba'apachtiko'on, toj óolal.

## Bats'i k'op (tsotsil): Ach' smelolal ya'yejal skuxaltak k'usi oy

**Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op:** Li skuxaltak k'usi oy ti ta kaxlan k'op ja' hongos entomopatógenos sbie ja' me bik'it chonetik ti ta xmil yu'un li bik'tal chon usetik (insectos). Yu'un lek xa ojtkinbil ti lek xtun sventa smilobil ti bik'tal chonetik taje ti ja' ta sokesan ti ts'ubaletike; va'i un, ti ech' talel jabiletike yu'un laj yich' k'elel ojtkinel ti tsots stu sventa li osil balamile, li ch'abal ipik o ti jnaklometike xchi'uk oyuk lek ti sve'elike. Yu'un ja' me tsots sk'oplal ti ja' ta melel oy lek stu ti jech xa ta xak' iluk k'u x-elan ta x-abtej ti k'usi no'ox ta spase tsots yabetel oy no'ox stu sventa xlekub ti stalel skuxlej ti jnaklometike.

**Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun:** Skuxaltak k'usi oy, bik'tal chon usetik, osil balamil, ch'abaluk chamel.



Insectos atacados por *Metarhizium anisopliae*. Fuentes: <https://bit.ly/47lk5mg>; <https://bit.ly/43bRNzh>

**D**urante millones de años los hongos han acompañado la vida en la Tierra, y han desempeñado funciones primordiales en los ecosistemas, que van desde la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes, hasta la interacción con otros organismos. Sin embargo, en este vasto grupo, los hongos entomopatógenos destacan y nos sorprenden por su capacidad de infectar insectos, una característica invaluable para el control de plagas agrícolas.

Pero más allá de esa utilidad, se ha descubierto que también tienen un potencial amplio y variado para campos como la salud, el medio ambiente y la biotecnología. Al igual que una persona descubre nuevas habilidades a lo largo de su vida, estos hongos revelan facetas desconocidas y nuevas aplicaciones, ampliando su alcance y ofreciendo soluciones a los desafíos contemporáneos. En ellos se encarna una auténtica reinvenCIÓN.

### De observaciones curiosas a descubrimientos científicos

El reino Fungi se compone de una gran diversidad de organismos que, a diferencia de las plantas, no producen su alimento mediante la fotosíntesis, sino que absorben los nutrientes de su entorno, ya sea descomponiendo materia orgánica o estableciendo relaciones simbóticas con otros seres vivos. Levaduras, mohos y setas integran un mismo reino que sostiene los ciclos naturales de la vida en la Tierra. Su historia evolutiva se remonta a un ancestro unicelular común del que también descienden los animales, el cual surgió entre 600 y 1,400 millones de años atrás.

Un grupo muy particular son los hongos entomopatógenos. Esta palabra se compone de *entomo*, que significa "insecto", y



patógeno, que designa a cualquier agente causante de enfermedades, en alusión a su capacidad para infectar y provocarlas en los insectos. Gracias a esta peculiaridad, algunos se utilizan como aliados en el control natural de plagas agrícolas, reduciendo la necesidad de pesticidas químicos y favoreciendo prácticas más sostenibles.

El estudio de estos hongos comenzó en el siglo XVIII. Hacia 1734, el francés René Antoine Ferchault de Réaumur, mientras observaba insectos, notó en el cuerpo de una polilla muerta el crecimiento de algo parecido a una planta. Más tarde, en 1754, el naturalista español fray Joseph Torrubia describió los pequeños “árboles” que parecían crecer en los cuerpos de las avispas. Hoy sabemos que ambos se referían a insectos parasitados por *Cordyceps*, el hongo que saltó a la fama por la serie *The Last of Us* de 2013 y por el videojuego basado en ella.

En 1835, el bacteriólogo y entomólogo italiano Agostino Bassi demostró que el gusano de seda podía infectarse por un hongo, hoy identificado como *Beauveria bassiana*, el cual le provocaba la enfermedad de la muscardina. Y para 1879, el zoólogo y microbiólogo ruso Elie Metchnikoff logró cultivar en laboratorio conidios —esporas asexuales del hongo *Metarhizium anisopliae*—, mismos que utilizó para probar su eficacia contra el escarabajo *Anisoplia austriaca*, una plaga que devastaba los cultivos de trigo, centeno y cebada en las estepas del este europeo. Fue así como estos hongos que infectan insectos recibieron el nombre de entomopatógenos, una solución natural para el control de plagas.

### ¿Cómo es que los hongos infectan a los insectos?

Los hongos entomopatógenos no solo destacan por su capacidad para afectar a insectos plaga, sino también por sus mecanismos para lograrlo. Los insectos cuentan con un exoesqueleto, una fuerte barrera formada principalmente por quitina que les sirve para protegerse. Sin embargo, los hongos entomopatógenos despliegan un modo de acción sorprendente: no necesitan ser ingeridos para infectar, basta con que una de sus esporas tenga contacto con el cuerpo del insecto para iniciar la infección.

Esta eficacia ha permitido que especies como *Beauveria bassiana* se empleen para controlar pulgones, mosca blanca y gorgojos en cultivos de algodón, cítricos, café y maíz, mientras que *Metarhizium anisopliae* ha demostrado su valor contra escarabajos del suelo, langostas y hormigas en cereales, caña de azúcar y diversas hortalizas.

El proceso de infección sigue varias etapas (figura 1):

**Aterrizaje y adhesión.** Transportadas por la lluvia o el viento, las pequeñas esporas del hongo se adhieren firmemente

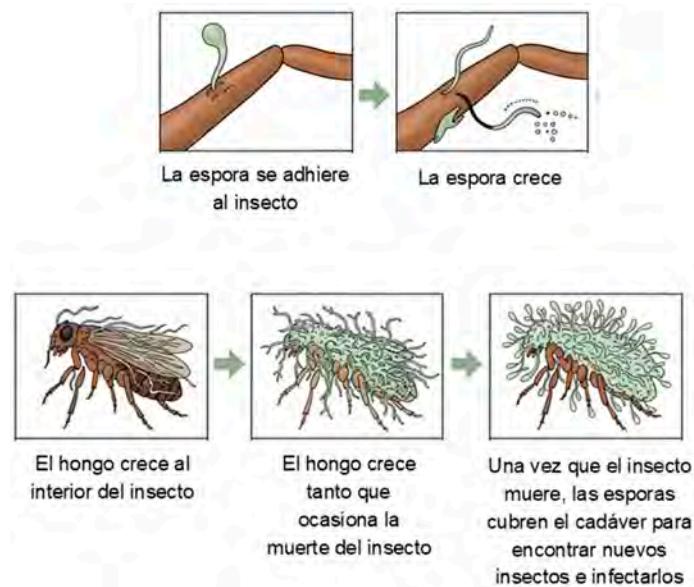


Figura 1. Cómo infectan los hongos entomopatógenos a los insectos. Imagen generada con DeeVid AI. Los textos son de elaboración propia.

al cuerpo del insecto, y esperan el momento más adecuado para infectarlo.

**Crecimiento.** Si hay suficiente humedad y la temperatura ronda entre los 25 y 28 °C, la espora se activa y comienza a crecer. Durante este proceso, ejerce presión y produce enzimas, que actúan como “tijeras” para ablandar y disolver la cutícula o piel del insecto.

**Invasión.** Una vez rota la cutícula, el hongo penetra hasta la hemolinfa, el equivalente a la sangre en los insectos.

**Colonización.** Ya dentro del insecto, el hongo crece rápidamente aprovechando sus nutrientes y, además, puede producir compuestos tóxicos que ocasionan la muerte del huésped.

**Salida en busca de un nuevo huésped.** Cuando el insecto muere, el hongo cubre su cuerpo con un moho formado por numerosas esporas. Estas “semillas” son la puerta de salida al ambiente, listas para infectar a nuevos insectos y reiniciar el ciclo.

### Renovarse o morir

Aunque el uso histórico que el ser humano ha dado a los hongos entomopatógenos ha sido el control de insectos, actualmente muestran un espectro de aplicaciones que incluye la mejora ambiental, la salud humana y la biotecnología, lo que evidencia que su potencial continúa expandiéndose.

En aplicaciones ambientales, se ha encontrado que algunos pueden degradar los contaminantes presentes en plásticos, pesticidas y otros desechos, mientras que otros producen nanopartículas capaces de inhibir bacterias y levaduras patógenas





*Cordyceps*. Foto: <https://bit.ly/3XCuRWC>

o controlar insectos vectores de enfermedades. En cuanto a la salud y la biotecnología, ciertos hongos son aprovechables porque actúan contra las plagas y generan compuestos con propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas, lo que abre posibilidades para tratamientos médicos y aplicaciones farmacéuticas innovadoras.

En la tabla adjunta resumimos algunas de las principales especies de hongos entomopatógenos y sus aplicaciones documentadas.

Estos hallazgos muestran que los hongos entomopatógenos, más allá de su valor para la agricultura, poseen un potencial amplio y diverso para la mejora ambiental, la producción de compuestos bioactivos y la biotecnología. Organismos que antes se asociaban a una función única, ahora nos revelan facetas desconocidas, evidenciando su versatilidad frente a los desafíos contemporáneos. La investigación en el reino Fungi permitirá comprender mejor su diversidad y complejidad,

<i>Beauveria bassiana</i>	Producción de compuestos anticancerígenos y antimicrobianos	Producción de beauvericina que actúa contra la leucemia, bacterias y levaduras patógenas en humanos.
<i>Metarhizium robertsii</i>	Producción de compuestos antimicrobianos	Producción de nanopartículas para inhibir bacterias y levaduras patógenas en humanos.
<i>Isaria fumosorosea</i>	Producción de compuestos con actividad insecticida	Producción de nanopartículas para el control de mosquitos transmisores de virus que causan enfermedad en humanos.
<i>Isaria farinosa</i> <i>Beauveria bassiana</i> <i>Isaria fumosorosea</i>	Transformación de esteroides y flavonoides	Usos en medicina como hormonas, antioxidantes, antiinflamatorios, antibacterianos y antitumorales.

abriendo la puerta a nuevas formas de aprovechar estos organismos y ofreciendo soluciones innovadoras en la agricultura, la salud humana y la conservación del entorno.

## Bibliografía

Litwin, A., Nowak, M., y Różalska, S. (2020). Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19, 23-42. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09525-1>

Qayyum, M. A. et al. (2024). Entomopathogenic Fungi: Prospects and Challenges. En S.K. Deshmukh y K. R. Sridhar (eds.), *Entomopathogenic Fungi*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-5991-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-97-5991-0_3)

Saminathan, N., Subramanian, J., Sankaran Pagalahalli, S. et al. (2025). Entomopathogenic fungi: translating research into field applications for crop protection. *Arthropod-Plant Interactions*, 19, 8. <https://doi.org/10.1007/s11829-024-10110-4>

Fatima Lizeth Gандarilla Pacheco es investigadora de la Universidad Autónoma de Nuevo León (San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México) | fatima.gандarillap@uanl.edu.mx | <https://orcid.org/0000-0001-7076-926X>

Isela Quintero Zapata es profesora titular de la Universidad Autónoma de Nuevo León (San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México) | isela.quinterozp@uanl.edu.mx | <https://orcid.org/0000-0003-1358-0289>

Myriam Elías Santos es profesora titular de la Universidad Autónoma de Nuevo León (San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México) | myriam.eliassn@uanl.edu.mx | <https://orcid.org/0000-0002-4179-0251>





# Vivir del turismo, vivir con la naturaleza

Eduardo Bello Baltazar

**En esta sección presentamos las novedades de Libros ECOSUR. ¡Conócelas!**  
**Le toca el turno a Ecoturismo, cultura y transdisciplina.**

**Maayat'aan (maya):** Kuxtal ti' turismo, kuxtal yéetel ba'ax bak'pachtiko'on yóok'ol kaab.

Tí' le jaatsa' kek ts'áaik k'ajóolbil le túumben meyajo'ob yaan ichil Áanalte'ob ECOSUR. Bejla'e' yaan k k'ajóoltik *Ecoturismo, cultura y transdisciplina*. ¡Ka k'ajóolto'ob!

**Bats'i k'op (tsotsil):** Talel kuxlej xchi'uk jvu'la'aletik, talel kuxlej xchi'uk osil balamil.

Ta jchop vun li'e ta xka'ktik ta ilel ach' a'yejetik ta vunetik yu'un ECOSUR. *Ecoturismo, cultura y transdisciplina*. ¡Ojtikino!

**Objetivo de la obra.** Analiza los impactos del ecoturismo en la vida doméstica, las relaciones de género, las juventudes, el espacio comunitario y las prácticas alimentarias. Muestra los efectos positivos, como el fortalecimiento de capacidades y el ingreso monetario, así como los desafíos que surgen con la reorganización del trabajo, la competencia interna y los cambios en la relación con la naturaleza.

**¿Cómo se obtuvo la información?** El libro reúne los resultados de la investigación reciente hecha por especialistas en turismo, biología y antropología. Su base metodológica es el trabajo colaborativo con comunidades rurales dedicadas al ecoturismo, pero reconociendo sus problemas y buscando soluciones conjuntas. Se promueve el diálogo entre disciplinas desde una mirada crítica y complementaria.

**Público al que va dirigido.** Comunidad científica, profesionales y público interesado en el ecoturismo y el desarrollo rural; estudiantes de licenciatura y posgrado, instancias de toma de decisiones y prestadores de servicios turísticos.



**¿Por qué leerlo?** Porque ofrece una mirada analítica y actual sobre los efectos sociales y culturales del ecoturismo en comunidades rurales.

Porque ayuda a comprender cómo la transición de actividades productivas tradicionales a las de los servicios turísticos transforman la vida cotidiana, las relaciones sociales y los valores locales.

**Anécdota.** Una comunidad lacandona rechazó participar en investigaciones que no aportaran soluciones a sus problemas. Esto impulsó a estudiantes y académicos a replantear su forma de trabajo, lo que originó nuevas acciones transdisciplinarias basadas en la colaboración honesta y propositiva, las cuales hoy enriquecen su labor académica.

## **Hemos desarrollado investigaciones en la escala doméstica, comunitaria y de la empresa ecoturística para atender una interrogante básica: ¿Qué sucede con las personas del ámbito rural que incorporaron el ecoturismo en sus actividades cotidianas?**

### **Términos clave:**

**Ecoturismo.** Turismo responsable que busca conservar la diversidad biológica y cultural, mejorar la economía de las comunidades locales y promover la educación ambiental.

**Transdisciplina.** Enfoque que integra conocimientos de distintas disciplinas con saberes locales para abordar problemas complejos de manera holística.

**Cultura local.** Conjunto de tradiciones, costumbres y prácticas de una comunidad que influyen en su forma de relacionarse con el entorno y el turismo.

**Sostenibilidad.** Capacidad de satisfacer necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas, aplicable a recursos naturales y sociales.

**Participación comunitaria.** Involucramiento activo de la población local en decisiones y proyectos de desarrollo, como el ecoturismo, que afectan su territorio y cultura.

### Tres datos relevantes:

Destaca el papel de las juventudes en el ecoturismo, cuya participación suele limitarse porque generaciones de mayor edad las consideran inexpertas.

Las masculinidades aparentan transformarse ante la mirada del turista, pero persisten los roles tradicionales de género.

El enfoque económico del ecoturismo es limitado frente a las dimensiones del vivir bien comunitario: ser, convivir, lugar, hacer y tener. Privilegiar el “tener” genera tensiones culturales.

**Menciones especiales.** La obra fue elegida para obtener el apoyo de publicación por parte de la Academia Mexicana de Investigación Turística 2024.



**Título:** Ecoturismo, cultura y transdisciplina

**Editor:** Eduardo Bello Baltazar

**Editorial:** ECOSUR-Academia Mexicana de Investigación Turística

**ISBN:** 978-607-26900-9-7

**E-ISBN:** 978-970-96646-0-7

**Formato:** Impreso, PDF

**Tipo de obra:** Es un libro que combina investigación y reflexión interdisciplinaria. Pertenece a la Colección Enfoques Socioambientales.

**Serie temática:** Cultura e identidades

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](http://www.ecosur.mx/libros) y [www.altexto.mx](http://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.

También existen versiones en acceso abierto desde el repositorio institucional.

Información: [libros@ecosur.mx](mailto:libros@ecosur.mx) y [ochow@ecosur.mx](mailto:ochow@ecosur.mx)



# Novedades editoriales de ECOSUR



## Globalizando la esperanza: agroecología e internacionalismo campesino de Cuba a Mozambique

Valentín Val Rodríguez

Esta obra muestra cómo el campesinado agroecológico ha defendido su tierra, expulsado al agronegocio corporativo y transformado la arena en oasis a partir del caso del norte de Mozambique, donde se trabaja cada día para producir en medio de dos desiertos: uno provocado por la aridización que resulta del cambio climático, y el que representa el avance de los monocultivos. En sus páginas encontraremos constancia de una agroecología campesina para la vida digna y en equilibrio con su entorno.

## Entre el cielo y el agua. Cacao, artesanías y trabajo colectivo en la Chontalpa

Gabriela Vera Cortés, Magdalena Hernández Hernández, Ariel García Martínez

Este trabajo nos presenta cómo es que las monterías, la actividad cacaotera, la influencia de la Comisión del Río Grijalva y la economía de los hidrocarburos han moldeado los procesos sociales en la región de la Chontalpa. Estudia al mismo tiempo las condiciones de vida de los campesinos que aún permanecen en la zona y continúan trabajando la tierra a pesar de las perturbaciones producidas por intereses económicos externos. Los autores nos narran cómo es que, ante este desafío, artesanas y artesanos, cacaoteros y chocolate ras, carpinteros y mangleros de Río Playa han realizado una laboral cultural y productiva respetuosa con el medioambiente. Sus ideas y testimonios son parte fundamental de la investigación que ha dado origen a este libro.

ENTRE EL CIELO Y EL AGUA  
Cacao, artesanías y trabajo colectivo en la Chontalpa



GABRIELA VERA CORTÉS  
MAGDALENA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ  
ARIEL GARCÍA MARTÍNEZ

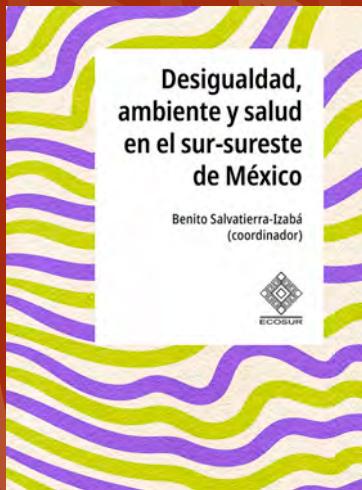


## Introducción a la investigación científica

Lorena Ruiz-Montoya, Francisco Delfín Gurri García, Ramón Abraham Mena Farrera, José Pablo Lledo Fernández (coordinación)

En este libro autoras y autores exploran las bases filosóficas, teóricas y metodológicas de la ciencia, ofreciéndonos su conocimiento y experiencia respecto a la evolución del pensamiento científico, la importancia de usar un método y las ventajas de la integración de enfoques cuantitativos y cualitativos. Pensada para quienes inician su camino en la investigación o buscan fortalecer sus conocimientos respecto a la forma de hacer ciencia, esta obra surge en el seminario de tesis de la Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo Rural de El Colegio de la Frontera Sur y de un diplomado en línea vigente desde 2010.

Disponible en acceso abierto: <https://bit.ly/3JP9ka6>



## Desigualdad, ambiente y salud en el sur-sureste de México

Benito Salvatierra Izabá

Este libro aborda la compleja relación entre la desigualdad social, el ambiente y la salud en la región sur-sureste de México, destacando la necesidad de enfoques multidisciplinarios para mejorar la salud de poblaciones vulnerables. El Colegio de la Frontera Sur ha realizado investigaciones sustantivas en esta región de México durante más de 30 años, de modo que la obra ofrece información actual y relevante para el sector en mención, y particularmente sobre los migrantes y las comunidades indígenas en este contexto.

## Sembrando vida. Una mirada desde los protagonistas

Rodimiro Ramos Reyes, Leydi Diana Mena de la Rosa

El propósito de este libro es compartir las experiencias y la realidad de sembradoras y sembradores de Huimanguillo, Tabasco, luego de su participación en Sembrando Vida, programa del gobierno de México que busca contribuir al bienestar social a través del impulso de la autosuficiencia alimentaria, con acciones que favorezcan la reconstrucción del tejido social y la recuperación del medio ambiente, a través de la implementación de parcelas con sistemas productivos agroforestales.

Mediante una investigación etnográfica que recurre a la observación participante, la obra presenta los testimonios de las mujeres y hombres que participan del programa. Se explora el aspecto económico, cuestionando su influencia sociocultural y sus ventajas y desventajas.



## Tornados en la ciudad. Daños, vulnerabilidad y prevención en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas

Juan Carlos Velasco Santos

Este libro ofrece una exploración profunda, sensible y meticulosa sobre los tornados que han impactado a San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, en los últimos trece años. Mediante una investigación con fuerte énfasis cualitativo, se documentan veinte eventos que, a pesar de su limitada atención institucional, han dejado huellas tangibles en la vida de los habitantes: viviendas destrozadas, redes eléctricas colapsadas, memorias marcadas por el miedo y la pérdida.

Dirigido a autoridades de protección civil y tomadores de decisiones—además de público interesado en el tema—la obra va más allá del análisis académico: representa un llamado urgente a la acción. Su lectura permite dimensionar la importancia de reforzar la cultura de la prevención y replantear las políticas públicas ante un contexto cada vez más vulnerable.

Estableciendo monitores. Foto: Lucio López Méndez.



# Investigación forestal en acción. Conversación con Angélica Navarro Martínez

Laura López Argoytia

**Resumen:** Angélica Navarro Martínez nos comparte su experiencia investigando la ecología forestal en la península de Yucatán, en el manejo sostenible de especies arbóreas y en el impacto del cambio climático en la regeneración de la selva.

**Palabras clave:** Ecología forestal, diversidad arbórea, conservación, selva tropical, cambio climático.

## Maayat'aan (maya): Xak'almeyaj yóok'olal k'áaxilo'ob. Tsikbal yéetel Angélica Navarro Martínez

**Kóom ts'íibil meyaj:** Ti' le tsikbal k'áat chi'a' le x-doctora Angélica Navarro Martínez ku tsolik to'on ba'ax jóok'ik yéetel ba'ax ku ka'ansa'al yóok'olal u kuxtal yéetel tuláakal ba'al yo'olal k'áaxilo'ob wáaj ecología forestal, u ka'a utsil kuxtal k'áax yéetel u kanáanta'al u jejeláas ch'i'ibalil che'ob yaan tu petenil Yucatán, tu'ux ku ye'esik le ka'anal k'áax wáaj bosqueo' jump'éel kúuchil tu'ux ku múul kuxtal jejeláas ba'alo'ob.

**Áantaj t'aano'ob:** Ecología forestal, jejeláas che'ob, kanáanil, selva tropical, cambio climático.

## Bats'i k'op (tsotsil): Bijil abtelal sventa osil balamil. Lo'il a'yejal xchi'uk Angélica Navarro Martínez

**Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op:** Li lo'il li'e, li doctora Angélica Navarro Martínez te ta xal k'u x-elan sna'oj sventa sk'elel li osil balamile, k'uxi x-ach'ub lek li te'tike sk'elel k'uxi lek xch'i xpul ja'maletik muk'tik te'etik te ta yosilal ech'el Yucatán, ti taje ja' me na'bil ti tsots sk'opla li ste'tikal li osil balamile ti ja' talel kuxlejal ku'untike.

**Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun:** Yelanil ts'unbal, yelanil te'tik, sk'elel xchabel, te'tik ta k'ixin osil, chjel xa sk'ixnal balamil.

**L**os bosques son ecosistemas complejos donde la diversidad de árboles y otros organismos interactúan continuamente, regulando funciones esenciales como la regeneración, la dispersión de semillas y la polinización, importantes para la conservación de los recursos naturales. Su estudio es clave para comprender cómo manejarlos de manera sustentable y cómo enfrentan los efectos del cambio climático. En esta entrevista conversamos con Angélica Navarro Martínez, investigadora del Departamento de Observación y Estudio de la Tierra, la Atmósfera y el Océano de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) y experta en ecología forestal y manejo de bosques tropicales. Entre otros reconocimientos, obtuvo el nombramiento de Académica Colaboradora de la Academia Nacional de Ciencias Forestales. Es parte de la Sociedad Internacional de Forestales Tropicales, donde fue vicepresidenta, y su trabajo mantiene un vínculo estrecho con las comunidades para promover la conservación de los bosques.



Laguna Chan Santa Cruz, ejido en la zona maya de Quintana Roo. Foto: Angélica Navarro-Martínez.

Háblanos de tu infancia y de cómo surgió tu interés por la naturaleza.

Nací en la Ciudad de México, y desde niña fui muy activa. Por eso mi mamá me elegía, entre sus siete hijos, para ir por los mandados; y si se le olvidaba algo, yo iba otra vez. Me gustaba mucho el deporte y también la música. Bueno, la música sigue muy presente en mi vida.

En la secundaria empecé mi interés por la biología, y estudié esa carrera en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Fue una etapa que disfruté mucho y tuve excelentes profesores. Hacíamos muchas prácticas de campo, lo que nos permitía un contacto directo con la naturaleza. Además, nos motivaban a participar en congresos y actividades académicas, y a compartir lo que aprendíamos. Ahí nació mi interés por dedicarme a la investigación.

**¿Cómo fuiste centrándote en lo forestal y cómo llegaste a ECOSUR?**

Por recomendación de un maestro de la UNAM comencé a relacionarme con profesores de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Hice mi servicio social en su herbario, y ahí surgió el contacto para colaborar en un proyecto del Servicio Forestal en Chiapas, estudiando la flora arbórea de la región Frailesca. Durante un año viajé periódicamente a cuatro municipios, haciendo colectas y elaborando fichas botánico-ecológicas para más de 100 especies. Luego realicé mi maestría en Ciencias Forestales, y el doctorado en Ecología Tropical.

De mi vida profesional, una etapa importante fue en la Huasteca potosina al terminar la licenciatura, en el programa Solidaridad; ahí aprendí mucho sobre las comunidades rurales. A finales de 1995 me integré a ECOSUR, y desde entonces desarrollo estudios de ecología a distintos niveles, combinando la formación académica con la interacción comunitaria. Me





Mapeo comunitario. Foto: Angélica Navarro-Martínez.

siento muy agradecida por el trabajo en las selvas y por todo lo que me enriquece el conocimiento de la gente del bosque.

#### En términos generales, ¿en qué consiste tu trabajo en ECOSUR?

Mi investigación en ECOSUR se centra en la ecología de los árboles y de la selva. He trabajado especialmente en la diversidad arbórea de la península de Yucatán. Desde finales de los noventa, junto con el doctor Hans Vester, emprendimos la tarea de traducir los nombres comunes de los árboles a sus equivalentes científicos. Elaboramos fichas ecológicas y botánicas, y hoy tenemos registradas más de 300 especies.

También he realizado estudios sobre los efectos de los huracanes y del manejo forestal en la vegetación, y trabajé con especies de importancia comercial, como la caoba —una de las más emblemáticas del trópico—, para analizar su dinámica demográfica. Ese monitoreo, realizado durante ocho años, sirvió para evaluar su estado de conservación y dio origen a mi tesis doctoral.

En casi 30 años en ECOSUR, he colaborado con colegas de distintas instituciones en investigaciones sobre manejo forestal. Entre 2018 y 2020 coordinamos un proyecto financiado por el fondo sectorial CONACYT-CONAFOR, con el que propusimos un nuevo modelo de manejo de selvas en México. A diferencia de los métodos tradicionales, este coloca la ecología de los árboles y de la selva en el centro, para favorecer la regeneración y recuperación de las especies aprovechadas. Además, actualmente exploramos cómo el cambio climático podría modificar la distribución futura de las especies arbóreas.

#### ¿Cómo llevan a cabo las colectas para estudiar la diversidad arbórea?

Para identificar plantas, especialmente árboles, es necesario ir al campo a realizar colectas de ramas con hojas, flores o frutos,

ya que la identificación correcta requiere estructuras reproductivas del árbol. Durante los recorridos, recogemos especies desconocidas, prensamos las muestras, las comparamos con ejemplares de herbarios o floras de la región, y finalmente las depositamos en el herbario para que otros investigadores puedan consultarlas.

Este trabajo es de particular relevancia en Quintana Roo y Campeche, donde durante más de 300 años la madera aprovechada provenía casi exclusivamente de la caoba. Con el Plan Piloto Forestal de los años ochenta se amplió la

lista de especies maderables, por lo que era crucial conocerlas correctamente. Antes, las identificaciones se hacían solo con nombres locales, que a menudo son confusos: por ejemplo, *Enterolobium cyclocarpum* se llama “pitch” en Quintana Roo y “orejón” o “guanacaste” en Chiapas. Conocer la identidad científica asegura un aprovechamiento adecuado y resalta la relevancia de nuestro trabajo.

#### Si se trata de árboles ya muy conocidos, ¿cuál es la diferencia de identificarlos científicamente?

Conocer la identidad científica de los árboles permite, por ejemplo, diferenciar especies que comparten el mismo nombre común. Por decir algo, hay dos especies maderables llamadas “palos de rosa”, pero una tiene mejor calidad que la otra. La gente local las distingue, pero quienes no tenemos ese conocimiento podríamos sobreexplotar una especie o subaprovechar la otra. Identificarlas sin error asegura un tratamiento adecuado, sin desperdiciar ni dañar el recurso. Al mismo tiempo, se enriquece nuestro conocimiento de la flora local, permitiendo comprender mejor la diversidad y las características de cada especie.

#### ¿Por qué es importante la ecología para el manejo de los recursos naturales?

Para un aprovechamiento sustentable, es fundamental conocer el estado de las poblaciones de árboles, pero los estudios de ecología poblacional son escasos. Si una especie es abundante y está bien distribuida, su uso puede ser seguro; de lo contrario, corre riesgo de desaparecer. Además, estos estudios permiten estimar cuánta madera o productos forestales se pueden utilizar sin afectar la regeneración natural, proporcionando datos clave para planificar un manejo forestal responsable.

#### En el caso de la caoba, ¿estos estudios contribuyen a su conservación?

En mi estudio sobre la caoba analicé cómo produce semillas, el porcentaje de germinación y crecimiento de plántulas y con



ello, la recuperación de los individuos extraídos. Los resultados muestran que la especie no está en riesgo, pues está ampliamente distribuida en la península de Yucatán; sin embargo, su regeneración es limitada. La selva muy cerrada dificulta la entrada de luz al suelo, provocando alta mortalidad de los árboles jóvenes, alrededor del 50%. Aunque actualmente no está en peligro de extinción, podría llegar a estarlo. Los estudios de ecología de poblaciones permiten identificar estos problemas y definir acciones.

#### **Cuando hablamos de “forestal”, ¿a qué nos referimos?**

“Forestal” se refiere básicamente a los bosques, los cuales no son únicamente árboles, sino ecosistemas complejos con gran riqueza de plantas, animales y otros organismos. La diversidad varía según el tipo de bosque: los tropicales son mucho más diversos que los templados. Por ejemplo, en un bosque de pino en Chiapas hay pocas especies y estructura más uniforme; en cambio, en la selva hemos identificado más de 300 especies de árboles con situaciones diversas, como el hecho de que los árboles del dosel y los que crecen debajo pueden tener edades similares, pero los de abajo son más pequeños debido a la competencia por luz y recursos. Además, hay hierbas, palmas, orquídeas y hasta cactáceas! Por supuesto, animales que dispersan semillas o polinizan, y hongos que degradan materia muerta. En general, mayor diversidad de árboles implica más diversidad de otros organismos.

#### **¿Qué papel desempeñan las comunidades humanas en los bosques?**

El ser humano ha dependido históricamente de los bosques para alimentación, vivienda y otros usos. En la selva, las comunidades locales han conocido y cuidado la diversidad de su entorno. Arturo Gómez Pompa (por cierto, recién fallecido), en su trabajo *La silvicultura de la selva maya* (años ochenta), describe cómo las comunidades utilizan los recursos según las etapas su-

cesionales del bosque: tras una perturbación como huracanes, fuego o aprovechamiento, usan la madera para leña o carbón; en etapas más avanzadas, los árboles funcionan para postes, muebles o construcción. Gracias a este conocimiento tradicional y manejo constante, las comunidades se han convertido en actores clave para la conservación de los árboles y de la selva.

#### **¿Cuándo se pone en riesgo la sustentabilidad de los bosques?**

Todo recurso es limitado. Si aprovechamos la selva más rápido de lo que crece, se pone en riesgo su equilibrio. Algunas plantas se usan parcialmente —hojas o frutos—, pero extraer individuos completos aumenta el riesgo. La sobre-explotación ocurre cuando mueren más individuos de los que nacen, incrementando la probabilidad de extinción. La sustentabilidad consiste en utilizar los recursos de manera que se respete el equilibrio natural y también se garantice su disponibilidad para las generaciones futuras. Por eso los estudios poblacionales son clave: permiten conocer qué especies hay, su cantidad y distribución, y así determinar cuánto se puede extraer sin comprometer sus poblaciones.

#### **¿Cómo afectan los huracanes y cambio climático a los bosques y su regeneración?**

Los bosques necesitan “renovarse” de vez en cuando, y fenómenos como huracanes, incendios o un uso moderado de sus recursos forman parte de ese proceso natural. En la península de Yucatán, los huracanes periódicos han moldeado selvas capaces de resistir y recuperarse. Actualmente hay muchas áreas tan densas que la luz casi no llega al suelo, y los árboles jóvenes tienen dificultad para crecer. Por eso, estos eventos naturales siguen jugando un papel clave en mantener la selva viva y diversa. Aunque a veces se perciben como catástrofes, los huracanes forman parte del ciclo natural. Conservar no significa dejar el ecosistema intacto.

Con el cambio climático, se teme que aumenten la frecuencia e intensidad de los huracanes; sin embargo, el mayor riesgo no proviene de ellos sino de la sequía. Las plantas necesitan agua para crecer y reproducirse, pero las temporadas secas están aumentando, lo que puede provocar pérdida de poblaciones locales e incluso extinción de especies. Además, muchas plantas podrían cambiar su distribución buscando condiciones adecuadas de temperatura y humedad. En un estudio con caoba se simuló cómo el cambio climático afectaría su distribución: para 2070, Quintana Roo será la región más favorable, mientras que se perderán áreas en Campeche y otras partes de México.

#### **Esa reubicación implica riesgos si las nuevas áreas no están preservadas.**

Efectivamente. Las plantas tienen requerimientos específicos de temperatura y agua; si los encuentran, se desarrollan, si no, se extinguén. En cuanto a bosques, los estudios indican que



Aprovechamiento forestal. Foto: Alejandro Vela Pelaez.



Árboles de chaká rojo o *Bursera simaruba*. Foto: Angélica Navarro-Martínez.

se perderá superficie de hábitat adecuado y se restringirá la distribución de muchas especies. Habrá problemas de crecimiento e incluso posibles extinciones. Aunque son proyecciones basadas en modelos, esperemos que se equivoquen y no ocurra tal tragedia.

#### ¿Las políticas públicas podrían mitigar estos efectos?

Sí, sobre todo desde las comunidades, que son quienes usan los recursos y suelen ser conscientes de su importancia. A nivel gubernamental, lo ideal sería alinear las políticas agrícolas y forestales, pues existen contradicciones: mientras la política forestal prohíbe explotar el bosque, la agrícola fomenta nuevas milpas o ganadería. Más que crear nuevas políticas, lo que hace falta es armonizarlas para que lo que se prohíbe y lo que se fomenta tenga coherencia, protegiendo realmente los bosques.

#### Pasando a un terreno más personal, ¿cuáles son tus plantas o árboles favoritos?

Me gustan todos los árboles de la selva, pero en particular el *Bursera simaruba*, conocido como chaká rojo, por la arquitectura de sus ramas. Tuve la oportunidad de aprender sobre arquitectura arbórea con el investigador Hans Vester, una disciplina que estudia los patrones de ramificación y crecimiento de los árboles. Surgió como una forma de identificar especies en la selva, ya que todos los individuos de la misma especie siguen un patrón similar; hoy existen más de 20 modelos arquitectónicos desarrollados en el mundo.

También me gustan las orquídeas por su belleza. Despues del huracán Dean, al evaluar su efecto en la selva, pude recoger siete especies de orquídeas caídas de distintos tamaños y formas, y conservarlas en mi jardín personal.

#### ¿Hay alguna experiencia de trabajo de campo que te haya marcado?

Afortunadamente, nunca he tenido problemas serios más allá de garrapatas, moscos y algunos encuentros con serpientes que no pasaron a mayores. Recuerdo una vez que estuve a punto de pisar una... En segundos, un acompañante local sacó su machete y la mató ya prácticamente debajo de mi pie. ¡Era una nauyaca!

También recuerdo un día que nos perdimos en la selva, pese a ir acompañados de personas que conocían muy bien la zona. Dimos vueltas y vueltas por horas, y regresábamos al mismo punto.

#### ¿Existen protocolos para actuar ante estos riesgos en el trabajo de campo?

No hay protocolos consolidados. Se recomienda llevar suero antiviperino y una jeringa de extracción, pero incluso quienes trabajan habitualmente en la selva no cuentan con pautas establecidas. Sería muy valioso disponer de protocolos, especialmente en salidas de campo con estudiantes, para manejar situaciones inesperadas de forma más segura.

#### ¿Qué es para ti un bosque y qué sientes cuando estás en él?

Un bosque es un conjunto de organismos vivos—plantas y animales— que interactúan para cumplir diversas funciones. Muchos animales, como murciélagos e insectos, polinizan o dispersan semillas. Algunos árboles, como las acacias, tienen espinas con líquido que alimenta a las hormigas, que a cambio protegen al árbol de otros organismos. Mamíferos como los tapíes también contribuyen a la dispersión de semillas. Es, entonces, un sistema complejo en el que cada organismo cumple un papel específico. Observar estas interacciones me permite sentir de manera tangible la armonía y el equilibrio de la vida natural.

Estar en un bosque me da mucha paz. Aunque trabajar en la selva implica caminar kilómetros bajo calor y humedad, a veces durante jornadas de 12 horas, resulta muy gratificante. Disfruto medir los árboles, sentir el entorno y convivir con la gente local, cuya sabiduría me ha enseñado incluso a resolver problemas cotidianos, como cuando se atora la camioneta en los caminos, o a identificar riesgos, como que el olor a huevo indica la presencia de serpientes. Es una experiencia que siempre ha valido mucho la pena.



## CRITERIOS 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); en cuanto a la figura de asesoría temática, se reconoce un máximo de tres integrantes.

Aunque no se propicia la recepción de otros géneros, estos no se descartan: reportajes, crónicas, ensayos, reseñas o algún otro pertinente. Los textos deben tener lenguaje y tratamiento de divulgación para resultar atractivos, ágiles y claros para públicos no especializados y de ámbitos diversos, procurando que la audiencia reconozca algún aporte o conexión de los temas con su vida cotidiana.

## 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...

Al final del manuscrito se debe incorporar una bibliografía de tres referencias relevantes al texto, aunque no necesariamente deben haberse citado.

Las unidades de medida deben usarse, en lo posible, sin abreviaturas: 15 centímetros.

El signo de porcentaje (%) se anotará junto a la cifra, sin espacio: 88%.

Se redondearán cifras en caso de que faciliten la comprensión del texto.

Se utilizarán números con letra y cifras de forma alternada, buscando la facilidad de lectura y comprensión: Mil ejemplares, 8 millones de habitantes.

Las principales referencias para gramática y ortografía son la Real Academia Española y la Fundación del Español Urgente. Se adoptarán las novedades de la *Ortografía de la lengua española*, edición 2010.

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, estado si es en México y país; correo electrónico; 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 Villahermosa (Villahermosa, Tabasco, México) | arodriguezmag@ecosur.mx | <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>

Francisco Neptalí Morales Serna es estudiante del Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable, El Colegio de la Frontera Sur (San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México) | neptali@ola.icmly.unam.mx | <https://orcid.org/0000-0009-8765-4321>

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.

## PROCESO GENERAL

Pedimos a las personas colaboradoras que envíen su manuscrito a la cuenta [articulos.ecofronteras@ecosur.mx](mailto:articulos.ecofronteras@ecosur.mx). Se les dará acuse de recibo 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 los responsables 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. Se requiere una carta de responsabilidad, declaración de originalidad y cesión de derechos para fines de divulgación.

La distribución de la revista es gratuita. Se pueden solicitar ejemplares: [ecofronteras@ecosur.mx](mailto:ecofronteras@ecosur.mx).



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.

**Unidad Campeche**  
Av. Rancho Polígono 2-A  
Ciudad Industrial Lerma · CP 24500  
Campeche, Campeche · Tel. 981 127 3720

**Unidad Chetumal**  
Av. Centenario km 5.5 · CP 77014  
Chetumal, Quintana Roo · Tel. 983 835 0440

**Unidad San Cristóbal**  
Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n  
Barrio María Auxiliadora · CP 29290  
San Cristóbal de Las Casas, Chiapas · Tel. 967 674 9000

**Unidad Tapachula**  
Carretera Antiguo Aeropuerto km 2.5 · CP 30700  
Tapachula, Chiapas · Tel. 962 628 9800

**Unidad Villahermosa**  
Carretera Villahermosa-Reforma km 15.5  
Ranchería El Guineo, 2a. Sección · CP 86280  
Villahermosa, Tabasco · Tel. 993 313 6110

**Oficina de enlace**  
Parque Científico y Tecnológico de Yucatán PCTY, Tablaje Catastral  
31257. km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná · CP 97302  
Mérida Yucatán · Tel. 999 406 0048

[www.ecosur.mx](http://www.ecosur.mx)

