



**UJAT**  
UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

ISSN 2448-508X

“ ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE ”

# KUXULKAB'

-Tierra viva o naturaleza en voz Chontal-

—Número especial—

**Áreas Naturales Protegidas**

Volumen 30

Número 68

Septiembre-Diciembre 2024

**Dra. Eunice Pérez Sánchez**

Bióloga por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Maestra en Ciencias en Acuicultura y Doctora en Ciencias (Acuicultura) por el Instituto de Acuicultura de la Universidad de Stirling (Reino Unido). Editora invitada y responsable del número especial.

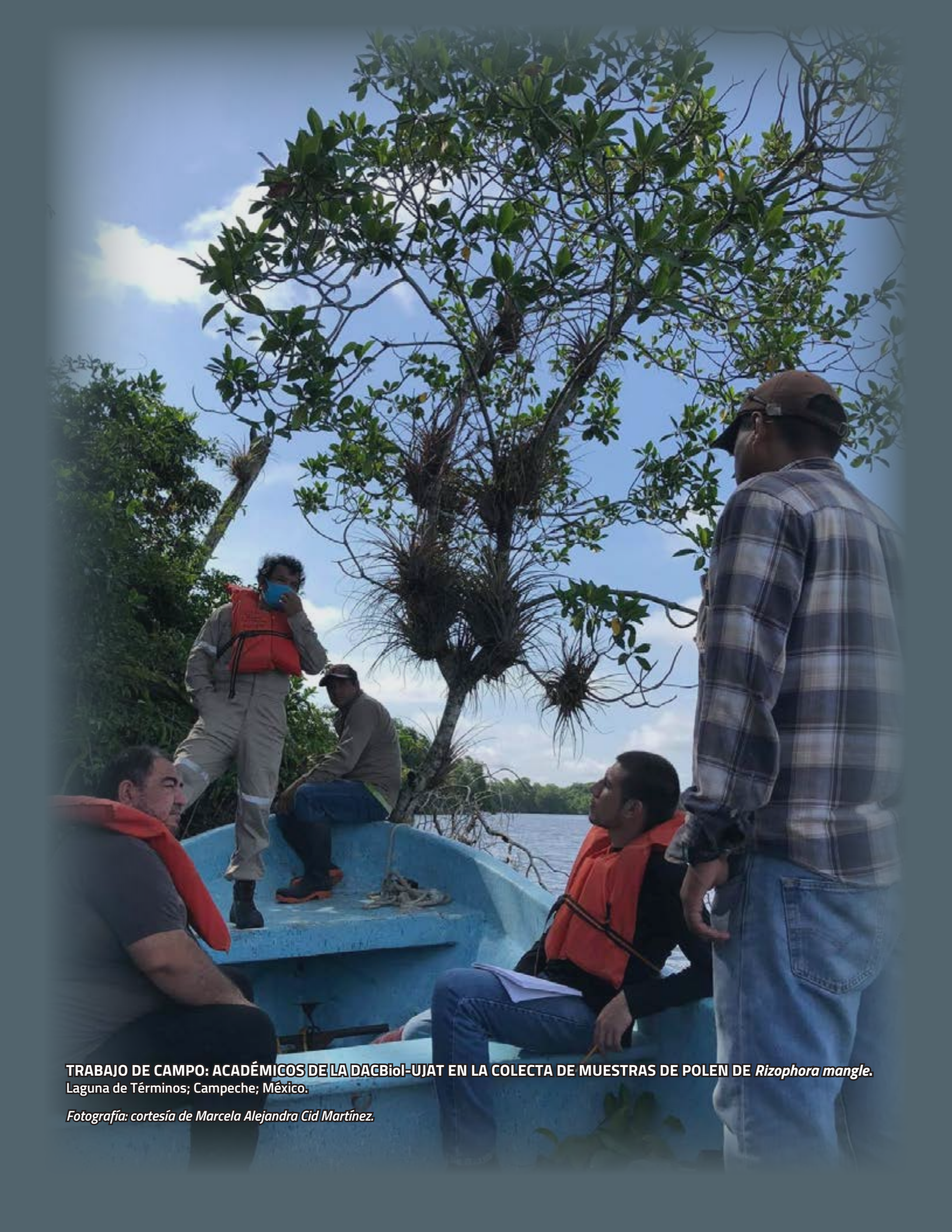
«Una visión a la conservación de la biodiversidad, protección de especies amenazadas, evaluación del impacto humano, planificación del uso del suelo y monitoreo a largo plazo»

División Académica de Ciencias Biológicas

« REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA »







**TRABAJO DE CAMPO: ACADÉMICOS DE LA DACBioI-UJAT EN LA COLECTA DE MUESTRAS DE POLEN DE *Rizophora mangle*.**  
Laguna de Términos; Campeche; México.

*Fotografía: cortesía de Marcela Alejandra Cid Martínez.*





# UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE ”

## DIRECTORIO

L.D. Guillermo Narváez Osorio  
Rector

Dr. Luis Manuel Hernández Govea  
Secretaria de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez  
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Lic. Alejandro Bastar Cordero  
Encargado de despacho de la Secretaría de Servicios Administrativos

Mtro. Miguel Armando Vélez Téllez  
Secretario de Finanzas

Dr. Arturo Garrido Mora  
Director de la División Académica de Ciencias Biológicas

Dr. José Roberto Hernández Barajas  
Coordinador de Investigación y Posgrado, DACBioI-UJAT

L.C.P. Luz del Carmen Pulido Novero  
Coordinadora Administrativa, DACBioI-UJAT

Dra. María Elena Macías-Valadez Treviño  
Coordinadora de Docencia, DACBioI-UJAT

M.I.P.A. Araceli Guadalupe Pérez Gómez  
Coordinadora de Difusión Cultural y Extensión, DACBioI-UJAT

## COMITÉ EDITORIAL DE KUXULKAB'

Dr. Andrés Reséndez Medina †  
Editor fundador

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo  
Editor ejecutivo y encargado

Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa

Dr. Jesús García Grajales

Dra. Carolina Zequeira Laríos

Dr. Rodrigo García Morales

Dra. María Elena Macías-Valadez Treviño

Ocean. Rafael García de Quevedo Machain

M.C.A. Ma. Guadalupe Rivas Acuña

Dr. Nicolás Álvarez Pliego

Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez

Dr. Marco Antonio Altamirano González Ortega

Dra. Rocío Guerrero Zárate

Dr. Eduardo Salvador López Hernández

Dra. Nadia Florencia Ojeda Robertos

Dr. Maximiano Antonio Estrada Botello

Dra. Melina del Carmen Uribe López

Dr. José Guadalupe Chan Quijano

Dra. Martha Alicia Perera García

Editores asociados

Dra. Ramona Elizabeth Sanlúcar Estrada

M.C.A. Alma Deysi Anacloto Rosas

Dra. Ena Edith Mata Zayas

M. en Pub. Magally Guadalupe Sánchez Domínguez

Correctores de estilo

M.C.A. María del Rosario Barragán Vázquez

M. en C. Leonardo Noriel López Jiménez

Dra. Violeta Ruiz Carrera

Correctores de pruebas

M.Arq. Marcela Zurita Macías-Valadez

M. en C. Sulma Guadalupe Gómez Jiménez

Traductores

L.I.A. Ervey Baltazar Esponda

Soporte técnico institucional

Téc. Juan Pablo Quiñonez Rodríguez †

Apoyo técnico

## CONSEJO EDITORIAL (EXTERNO)

Dra. Lilia María Gama Campillo

División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT - México

Dr. Roberto Carlos González Fócil

Jefe del Departamento de Revistas Científicas, UJAT - México

Dra. Juliana Álvarez Rodríguez

División Académica de Ciencias Económico Administrativas, UJAT - México

Dr. Jesús María San Martín Toro

Universidad de Valladolid (UVA) - España

ISSN 2448-508X

# KUXULKAB'

La revista KUXULKAB' (vocablo chontal que significa «tierra viva» o «naturaleza») es una publicación cuatrimestral de divulgación científica la cual forma parte de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; aquí se exhiben tópicos sobre la situación de nuestros recursos naturales, además de avances o resultados de las líneas de investigación dentro de las ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales principalmente.

El objetivo fundamental de la revista es transmitir conocimientos con la aspiración de lograr su más amplia presencia dentro de la propia comunidad universitaria y fuera de ella, pretendiendo igualmente, una vinculación con la sociedad. Se publican trabajos de autores nacionales o extranjeros en español, con un breve resumen en inglés.

KUXULKAB' se encuentra disponible en su portal electrónico a **texto completo** y en **acceso abierto**, así como en diversas plataformas editoriales, directorios y catálogos de revistas:



### Revistas Universitarias

Portal electrónico de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).



### Repositorio Institucional UJAT

Plataforma desarrollada con el aval del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); cuenta con un acervo académico, científico, tecnológico y de innovación de la universidad.



### Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Red de instituciones que reúnen y diseminan información sobre las publicaciones científicas seriadas producidas en Iberoamérica.



### PERIÓDICA - Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

Base de datos bibliográfica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con registros publicados América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.



### Google académico - Google Scholar

Buscador de Google enfocado y especializado en la búsqueda de contenido y bibliografía científico-académica (artículos, tesis, libros, patentes, etcétera).



### BASE - Bielefeld Academic Search Engine

Motor de búsqueda más voluminosos del mundo, especialmente para recursos web académicos; es operado por la biblioteca de la Universidad de Bielefeld (Bielefeld, Alemania).



### MIAR - Matriz de Información para el Análisis de Revistas

Matriz con repertorio de revistas y bases de datos de indexación (citas, multidisciplinarias o especializadas), con el propósito de identificar revistas científicas.



### fatcat! - Perpetual Access to the Scholarly Record

Catálogo de publicaciones de investigación que incluye artículos de revistas, actas de congresos y conjuntos de datos.



### OAJI - Open Academic Journals Index

Base de datos internacional para indexar revistas científicas de acceso abierto; es manejada por la Universidad Global de Cherkas (United States of America).



## Nuestra portada:

«Áreas Naturales Protegidas: conservación y protección de ecosistemas, mediante tecnología, gestión participación comunitaria.

## Diseño de:

Eunice Pérez Sánchez & Fernando Rodríguez Quevedo (DACBioI-UJAT).

**Fotografías de:** Imágenes vectoriales de libre uso alusivas a: manglares, selva y mapeo por GPS.

KUXULKAB', año 30, No. 68, septiembre-diciembre 2024; es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI). Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura; Col. Magisterial; Villahermosa, Centro, Tabasco, México; C.P. 86040; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; <https://revistas.ujat.mx>; [kuxulkab@ujat.mx](mailto:kuxulkab@ujat.mx). Editor responsable: Fernando Rodríguez Quevedo (encargado). Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-090610320400-203; ISSN: 2448-508X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Editor ejecutivo, Fernando Rodríguez Quevedo; Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5; entronque a Bosques de Saloya; CP. 86039; Villahermosa, Centro, Tabasco; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; Fecha de la última modificación: 17 de septiembre de 2024.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la revista, ni de la DACBioI y mucho menos de la UJAT. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.





# Editorial

## Estimados lectores:

El conjunto de artículos que se presenta en este número especial ofrece una visión integral de la conservación ambiental en México, con un enfoque particular en las áreas naturales protegidas. A través de diversos estudios de caso, los artículos resaltan la importancia de estos espacios para la preservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la protección de servicios ecosistémicos, como la captura de carbono y la protección costera.

El análisis de los manglares, presente en varios de los artículos, refleja la crítica situación que enfrenta este ecosistema. Los manglares no solo son una barrera natural contra el cambio climático y desastres naturales, sino que también son considerados como holobiontes, ecosistemas complejos e interdependientes que requieren una visión holística para su conservación. La degradación de estos ecosistemas, a pesar de su resistencia natural, es alarmante, lo que plantea la necesidad de una intervención más firme y sostenida para evitar su desaparición. Uno de los puntos clave es el uso de tecnologías avanzadas para el monitoreo de ecosistemas, como lo ejemplifica el artículo que utiliza imágenes satelitales para evaluar los cambios forestales en las reservas de Tabasco. El empleo de datos espaciales y herramientas tecnológicas permite realizar seguimientos más precisos y a largo plazo, lo que es imprescindible para entender la dinámica de la degradación y recuperación de la cobertura forestal. Sin embargo, se advierte que estos avances deben ser complementados con acciones políticas y ecológicas concretas para que el monitoreo se traduzca en soluciones efectivas. Por otra parte, se demuestra que los manglares son ecosistemas clave que han experimentado una significativa degradación en las últimas décadas. Aunque estos ecosistemas son resilientes y pueden persistir en condiciones adversas, la degradación continúa siendo un problema grave. Se subraya la necesidad urgente de conservar estos ecosistemas y de realizar estudios adicionales para verificar su estructura y composición.

Otro tema recurrente es la necesidad de una gestión efectiva de las áreas protegidas, como lo exponen los estudios sobre la capacidad de manejo y las primeras reservas de la biósfera. Se destaca cómo la falta de recursos, personal especializado y participación comunitaria adecuada puede limitar los esfuerzos de conservación y sostenibilidad a largo plazo. La gestión no es solo un aspecto técnico, sino un elemento transversal que impacta tanto en la conservación de la biodiversidad como en el desarrollo turístico sostenible y el bienestar de las comunidades locales. En cuanto al enfoque en la biodiversidad, los artículos señalan cómo las áreas protegidas, por ejemplo Mapimí y La Michilía, son refugios importantes para especies de mamíferos que enfrentan amenazas constantes. Estos estudios de monitoreo no solo proporcionan datos clave para la conservación de estas especies, sino que también sirven para identificar factores externos, como la ganadería, que ejercen presión sobre los ecosistemas. La creación de nuevas áreas naturales protegidas como Wanha' refuerza la importancia de diseñar estrategias que equilibren el desarrollo humano con la conservación. En este estudio se escribe las etapas clave que llevaron a la creación de la reserva, así como los trabajos de investigación y reforestación que se han realizado en la zona. Asimismo, se proyecta hacia el futuro, subrayando la necesidad de continuar los estudios para comprender mejor la biodiversidad del área y garantizar la conservación a largo plazo.

En síntesis, los artículos destacan la urgente necesidad de fortalecer la capacidad de manejo, invertir en investigación y tecnología, así como promover la participación activa de las comunidades locales en los esfuerzos de conservación. La biodiversidad de México, y particularmente de Tabasco, enfrenta desafíos críticos que solo pueden abordarse a través de un enfoque multidimensional que combine la ciencia, la política y la colaboración comunitaria.

*Ennice Pérez Sánchez*

EDITORA INVITADA, PROFESORA-  
INVESTIGADORA DE LA DACBIOL

*Fernando Rodríguez Queredo*

EDITOR EJECUTIVO Y ENCARGADO DEL  
DESPACHO DE KUXULKAB'

*Arturo Garrido Mora*

DIRECTOR DE LA DACBIOL-UJAT

## LOS MANGLARES COMO HOLOBIONTES Y OTRAS HISTORIAS DEL MAR

### MANGROVES AS HOLOBIONTS AND OTHER SEA STORIES

Diego Montes Gabriel<sup>1</sup>, Mariana B. Becerril Jiménez<sup>2</sup>, Enrique Hernández Martínez<sup>3</sup> & Mirna Vázquez Rosas Landa<sup>4✉</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Licenciatura en Ciencias Genómicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); partícipe de investigaciones en bioelectroquímica, biorremediación, evolución experimental y metagenómica. En el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL-UNAM) realiza su tesis sobre el microbioma de manglar contaminado con petróleo y microplásticos, así como la capacidad de este para la degradación de hidrocarburos. <sup>2</sup>Estudiante de Ingeniería Biológica en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM); realiza una estancia en el ICMyL-UNAM, investigando el ciclo del carbono en metagenomas de manglar. <sup>3</sup>Ilustrador mexicano y biólogo por la UNAM, colaborador en publicaciones educativas y de divulgación; expositor de arte naturalista. <sup>4</sup>Doctora por el Instituto de Ecología de la UNAM; investigadora del ICMyL-UNAM; su atención se centra al estudio de las comunidades microbianas de los ecosistemas marinos, su distribución y papel en la biogeoquímica de la Tierra, utilizando enfoques computacionales y experimentales.

Unidad Académica de Ecología y Biodiversidad Acuática, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL); Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria; Delegación Coyoacán; C.P. 04510. Ciudad de México; México.

✉ mvazquez@cmarl.unam.mx

 0000-0002-6928-7930

#### Como referenciar:

Montes Gabriel, D.; Becerril Jiménez, M.B.; Hernández Martínez, E. & Vázquez Rosas Landa, M. (2024). Los manglares como holobiontes y otras historias del mar. *Kuxulkab'*, 30(68): e6388, septiembre-diciembre. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a30n68.6388>

#### Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx> | <https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>  
<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/6388>

#### DOI:

<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a30n68.6388>

#### Resumen

Los manglares son ecosistemas complejos y muy importantes ya que ofrecen protección costera, captura de carbono y proporcionan hábitat para tiburones, rayas, crustáceos, peces entre otros, es por esto que pueden representar auténticos holobiontes, entidades formadas por plantas, animales y una comunidad microbiana interdependiente que ha coevolucionado durante millones de años. Los microbios desempeñan roles cruciales como la fijación de nitrógeno y la solubilización de nutrientes, tanto para las plantas como para el ecosistema entero. Comprender los manglares como holobiontes es esencial para apreciar su complejidad y tomar decisiones informadas sobre su conservación, esta perspectiva holística puede aplicarse a otros ecosistemas promoviendo una gestión ambiental más efectiva y una mejor comprensión de la vida.

**Palabras clave:** Manglar; Holobionte; Microbioma; Conservación; Ecosistema.

#### Abstract

Mangroves are complex and very important ecosystems as they offer coastal protection, carbon sequestration and provide habitat for sharks, rays, crustaceans, fish and others, which is why they may represent true holobionts, entities formed by plants, animals and an interdependent microbial community that has co-evolved for millions of years. Microbes play crucial roles such as nitrogen fixation and nutrient solubilization for both plants and the entire ecosystem. Understanding mangroves as holobionts is essential to appreciate their complexity and make informed decisions about their conservation; this holistic perspective can be applied to other ecosystems promoting more effective environmental management and a better understanding of life.

**Keywords:** Mangrove; Holobiont; Microbiome; Conservation; Ecosystem.

¿Sabías que los seres vivos no son solo individuos, sino comunidades de organismos que cooperan para sobrevivir y prosperar?. En el caso de los manglares, estos forman asociaciones con organismos y microorganismos que colaboran para desarrollarse y mantenerse sanos. Comprender cómo cada uno de estos organismos es fundamental para los demás nos permite gestar una conservación más integral de los manglares, un ecosistema vital por su alta biodiversidad y su capacidad como sumidero de carbono. Al almacenar más carbono del que libera a la atmósfera, los manglares contribuyen a la reducción de los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y a la regulación del clima global (Zhang, Guo & Li, 2013; Segaran, Azra, Lananan, Burlakovs, Vincevica-Gaile, Rudovica, Grinfelde, Rahim & Satyanarayana, 2023).

En este texto, analizamos qué son los holobiontes, por qué los manglares con su microbioma son holobiontes y planteamos la hipótesis que este ecosistema está compuesto por múltiples holobiontes distintos.

### ¿Qué es un holobionte?

Lynn Margulis propuso el término al sugerir que las células eucariotas evolucionaron mediante la simbiosis entre bacterias independientes, lo que permitió la creación de seres más complejos (Sagan, 1967). En 1991 Margulis definió los «holobiontes» como organismos compuestos por un macroorganismo y sus simbioses (bacterias, hongos, virus, etcétera), que coevolucionan y dependen entre sí (Margulis & Fester, 1991).

Esta simbiosis es tan exitosa que los organismos se especializan en funciones complementarias (Bosch & Miller, 2016), y en algunos casos, los genomas se intercambian entre hospedador y huésped (Roughgarden, 2023), lo que crea una unidad

ecológica única e interdependiente (Salvucci, 2016; Skillings, 2016; Singh, Liu & Trivedi, 2020).

### La simbiosis: el coral como un ejemplo

Los holobiontes están en todas partes. Muchos organismos, como los corales, los seres humanos o los líquenes se estudian como holobiontes, no como macroorganismos individuales.

Profundicemos un poco más en los corales, que es lo más cercano a un ecosistema como el manglar; desde finales del siglo pasado, se descubrió que los corales son entidades simbióticas formadas por múltiples microorganismos y el coral (Rowan, 1998), principalmente las microalgas de la familia Symbiodiniaceae que proporcionan entre el 75 y 90 % de sus nutrientes, así como su característico color marrón. Esta simbiosis data de hace 240 millones de años, y ha sido clave en la formación de los arrecifes de coral (Lajeunesse, Parkinson, Gabrielson, Jeong, Reimer, Voolstra & Santos, 2018). Además, el moco de coral es esencial no sólo para su nutrición, sino también para la colonización de nuevas especies coralinas, al contener millones de bacterias beneficiosas que las nuevas colonias pueden incorporar (Wild, Woyt & Huettel, 2005; Ritchie, 2006). El microbioma coralino se encuentra principalmente en la dermis, donde forma el moco protector, y en la mesodermis, donde bacterias, hongos y arqueas contribuyen al ciclo del nitrógeno y al crecimiento mediante la disposición de carbonato de calcio (Thompson, Rivera, Closek & Medina, 2015; Cárdenas, Ye, Ziegler, Payet, McMinds, Vega & Voolstra, 2020).

Comprender a los corales como holobiontes ha revolucionado la conservación de los arrecifes, antes se consideraba al coral como un organismo único, ahora al descubrir que son una compleja asociación entre un animal y algas microscópicas, se ha podido

abordar la conservación de manera más integral (Doering, Maire, van Oppen & Blackall, 2023). Esta perspectiva permite entender mejor fenómenos como el blanqueamiento, que ocurre cuando las algas abandonan al coral debido al estrés ambiental (Helgoe, Davy, Weis & Rodriguez-Lanetty, 2024). Al conocer esta relación simbiótica, los científicos pueden diseñar estrategias de conservación más efectivas, como seleccionar especies de algas más resistentes al cambio climático o manipular las condiciones ambientales para favorecer la recolonización de las algas (Scott, 2024).

### **Manglar como unidad ecológica**

Los manglares prosperan en la interfaz entre el mar y la tierra, adaptándose a la salinidad y protegiendo las costas con sus raíces y troncos, que actúan como barreras naturales contra inundaciones, erosión, tormentas y maremotos (tsunamis). Además, son capaces de capturar grandes cantidades de dióxido de carbono, contribuyendo a mitigar el cambio climático (Primavera, Friess, Van Lavieren & Lee, 2019; Alongi, 2020; Liu, Zhai & Gu, 2023).

Clave en estos procesos son los microorganismos, por tanto, los manglares y su microbiota forman un holobionte, interactuando en sinergia tras millones de años de coevolución (Yu, Tu, Liu, Peng, Wang, Xiao, Lian, Yang, Hu, Yu, Qian, Wu, He, Shu, He, Tian, Wang, Wang, Wu, Huang, He, Yan & He, 2023). Esta relación simbiótica beneficia a ambos, permitiéndoles realizar funciones esenciales como la fijación de nitrógeno, descomposición de materia orgánica y protección costera. Cambios en la composición microbiana pueden afectar significativamente la salud del ecosistema (Scherer, Mason & Mast, 2022). La comunidad microbiana varía según factores como la edad del bosque, la materia orgánica, la salinidad y la bioturbación (Sarker, Masud-Ul-Alam, Hossain, Rahman & Sharifuzzaman, 2021).

Los manglares más antiguos y con mayor materia orgánica albergan comunidades microbianas más diversas, mientras que los sedimentos arcillosos y la baja bioturbación favorecen la estabilidad microbiana. La relación entre los manglares y sus microbios es mutuamente beneficiosa: las plantas modifican el suelo, creando un ambiente favorable para los microbios, que a su vez transforman nutrientes esenciales como los mucopolisacáridos (Holguin, Guzman & Bashan, 1992).

Las cianobacterias y diazotrofos, como *Azospirillum* sp., se asocian con las raíces y aceleran el crecimiento mediante la fijación de nitrógeno (Hossain, Siddique, Abdullah, Saha, Ghosh, Rahman & Limon, 2013). Hongos y bacterias liberan nutrientes y modifican el pH del suelo, facilitando la absorción por las plantas, que les proporcionan exudados ricos en energía (Maria, Sridhar & Raviraja, 2005; Rajendran & Kathiresan, 2007).

Se ha demostrado que la fijación de nitrógeno ocurre tanto en las raíces subterráneas como en las aéreas de los manglares, aumentando durante la marea o la lluvia (Alvarenga, Rigonato, Branco & Fiore, 2015). Además, los microbios desempeñan un papel en la solubilización de minerales y la producción de ácidos orgánicos que liberan nutrientes para las plantas (Holguin, Vazquez & Bashan, 2001). Un estudio demostró que la inoculación de hojas de *Avicennia* — un género de árbol de mangle— con bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato duplicó la absorción de nitrógeno (Vazquez, Holguin, Puente, Lopez-Cortes & Bashan, 2000). En Australia Occidental, se ha observado que la reducción de sulfato está correlacionada con la productividad de los manglares, evidenciando la interacción entre árboles y suelo anaeróbico (Alongi 2005).

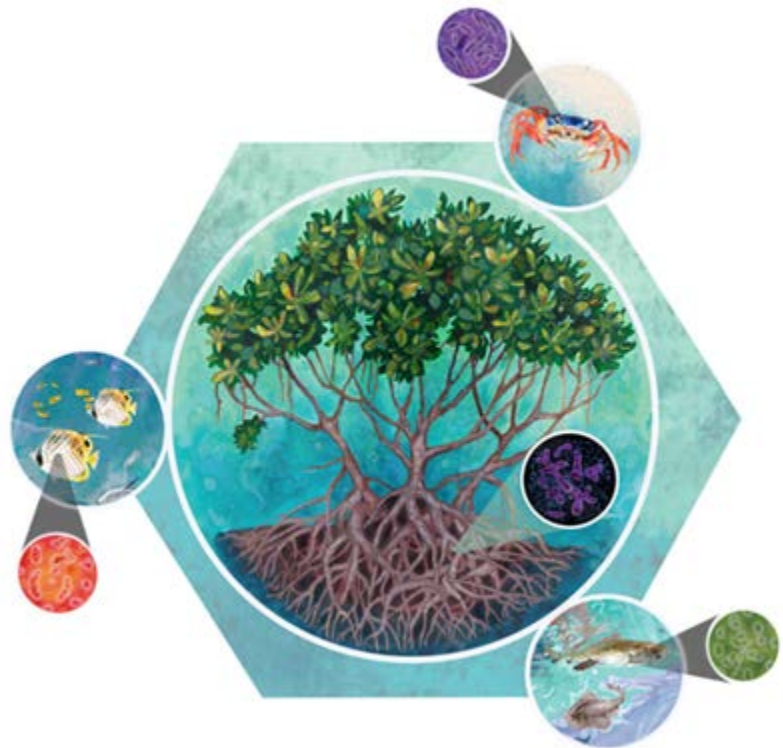
Además, los manglares son hábitats naturales de una gran variedad de macroorganismos, entre los más llamativos se encuentran los tiburones y rayas



(elasmobranquios), que mantienen una fuerte relación ecológica con estos ecosistemas (Knip, Heupel & Simpfendorfer, 2010). Muchas especies de tiburones y rayas inician su vida en los manglares y regresan al crecer, ya que ofrecen refugio y protección contra depredadores más grandes y altas temperaturas (Heupel, Kanno, Martins & Simpfendorfer, 2018; Hammerschlag, Morgan & Serafy, 2010).

Los manglares también les proporcionan alimento directo e indirecto (Crossin, Heupel, Holbrook, Hussey, Lowerre-Barbieri, Nguyen, Raby & Cooke, 2017; Davy, Simpfendorfer & Heupel, 2015). A su vez, tiburones y rayas benefician a los manglares al translocar nutrientes y minerales, ayudando a mantener el equilibrio trófico y controlando las poblaciones de presas (Kneib, 2002; Shipley, Matich, Hussey, Brooks, Chapman, Frisk, Guttridge, Guttridge, Howey, Kattan, Madigan, O'Shea, Polunin, Power, Smukall, Schneider, Shea, Talwar, Winchester, Brooks & Gallagher, 2023). Las rayas, además, realizan bioturbación al modificar el suelo mientras cazan y se refugian, lo cual es esencial para el flujo hídrico adecuado en los manglares (O'Shea, Thums, van Keulen & Meekan, 2012; Pérez-Ceballos, Zaldívar-Jiménez, Canales-Delgadillo, López-Adame, López-Portillo & Merino-Ibarra, 2020). Además, una mayor bioturbación se asocia con mayor diversidad microbiana (Bertics & Ziebis, 2009).

Estas interacciones mutuas entre macroorganismos refuerzan la idea de que todos los seres vivos y su entorno están interconectados en un ecosistema y es muy posible que estos otros macroorganismos albergan una microbiota que se conecte a este sistema (figura 1).



**Figura 1.** Representación de las interacciones entre organismos que cohabitan el manglar y su microbiota; (Ilustración de Enrique Hernández Martínez).

### **Impacto de los manglares a nivel global**

Los manglares, a través de su crecimiento y la acción de microorganismos, capturan, transforman y almacenan dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en sedimentos costeros durante largos períodos.

También exportan carbono orgánico de la zona costera al océano, lo que es crucial para prevenir la erosión costera y el entierro de carbono orgánico (Zhang, Thompson & Townend, 2023; Adame, Cormier, Taillardat, Iram, Rovai, Sloey, Yando, Blanco-Libreros, Arnaud, Jennerjahn, Lovelock, Friess, Reithmaier, Buelow, Muhammad-Nor, Twilley & Ribeiro, 2024); ya que la exportación de carbono orgánico por parte de los manglares inicia una serie de procesos biológicos que favorecen la estabilización de los sedimentos costeros, aumentando la cohesión de los sedimentos, esto



gracias a los “biofilms” que sirven como «pegamento» (Zhang *et al.*, 2023), y al crear estructuras biológicas que protegen la línea de costa, tal como las raíces de los manglares (Alongi, 2014).

El calentamiento global amenaza gravemente la biosfera, según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero es la principal causa del calentamiento global, lo que provoca incendios forestales, huracanes, inundaciones, calor extremo, pérdida de biodiversidad y destrucción de ecosistemas naturales (Frame & Stone, 2013).

Esto subraya que, aunque los manglares son importantes localmente como hábitats, también tienen un impacto significativo en la salud global del planeta. Además, influyen en la economía de las comunidades que dependen de ellos, como la pesca, el turismo y la extracción de madera (Alongi, 2014; Fajriyah, 2024). Los manglares también son esenciales para la investigación científica, ayudando a comprender y conservar otros ecosistemas complejos de nuestro planeta.

## Conclusión

Comprender los manglares como holobiontes — complejas comunidades de organismos que interactúan entre sí— nos brinda una perspectiva integral para su conservación, al reconocer que estos ecosistemas son mucho más que la suma de sus partes, podemos diseñar estrategias de manejo más efectivas y sostenibles, analizando las intrincadas relaciones entre las plantas, los animales y los microorganismos que conforman los manglares, podemos identificar las vulnerabilidades y fortalezas de estos ecosistemas frente a los desafíos ambientales, como el cambio climático; por ejemplo, al estudiar el microbioma del manglar, descubrimos una comunidad de microorganismos que

desempeñan un papel crucial en la salud y resiliencia de estos ecosistemas, supongamos que estas comunidades microbianas pueden ayudar a las plantas de mangle a tolerar condiciones de estrés, como la salinidad y la inundación, y a secuestrar carbono de la atmósfera de una manera más efectiva.

Esta visión holística nos permite abordar la conservación de los manglares desde múltiples ángulos: por ejemplo la restauración ecológica se beneficia enormemente de este enfoque; al comprender las interacciones entre los componentes del holobionte, podemos diseñar estrategias de restauración más efectivas, como la reintroducción de especies clave o la manipulación de las comunidades microbianas, también el manejo de enfermedades en los manglares se vuelve más preciso cuando se considera el contexto del holobionte, al reconocer que las enfermedades a menudo son el resultado de desequilibrios en estas interacciones complejas, podemos desarrollar tratamientos más específicos y preventivos.

El monitoreo de la salud de los ecosistemas de manglar también se beneficia del enfoque holobionte, al identificar indicadores biológicos sensibles a los cambios ambientales, como la composición del microbioma o la abundancia de especies clave, podemos detectar tempranamente los impactos de las perturbaciones y tomar medidas correctivas a tiempo.

También es extremadamente importante concientizar a la población sobre el uso sostenible de los recursos de los manglares, como limitar la pesca excesiva, no usar la madera del mangle en exceso, o hacer lo posible por evitar la contaminación de los manglares; todas estas son actividades cruciales para mantener el equilibrio del ecosistema. Otras acciones comunitarias o académicas para la conservación puede ser la creación de áreas

naturales protegidas (ANP), como el caso de la recién decretada Reserva de la Biosfera Wanha' (RBW) en colaboración con la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); esta área es fundamental para preservar tales ecosistemas únicos, especialmente los manglares interiores, que son un ejemplo de resiliencia y adaptabilidad, ya que como sabemos los manglares se desarrollan en aguas salobres — interacción de agua dulce y salada— mientras que los manglares presentes en la ANP son enteramente de agua dulce, lo que la vuelve un área de estudio sumamente interesante (Montejo, 2023; Spalding, Kainuma & Collins, 2010).

La visión holobionte no solo es aplicable a los manglares, sino que puede extenderse a otros ecosistemas, promoviendo una gestión ambiental más efectiva y sostenible. En un mundo donde la biodiversidad enfrenta múltiples amenazas, adoptar enfoques holísticos como el holobionte es crucial para la conservación de los ecosistemas y el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

## Referencias

**Adame, M.F.; Cormier, N.; Taillardat, P.; Iram, N.; Rovai, A.; Sloey, T.M.; Yando, E.S.; Blanco-Liberos, J.F.; Arnaud, M.; Jennerjahn, T.; Lovelock, C.E.; Friess, D.; Reithmaier, G.M.S.; Buelow, C.A.; Muhammad-Nor, S.M.; Twilley, R.R. & Ribeiro, R.A.** (2024). Deconstructing the mangrove carbon cycle: gains, transformation, and losses. *Ecosphere*, 15(3): e4806. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4806>

**Alongi, D.M.** (2005). Mangrove–microbe–soil relations. In: Kistensen, E.; Haese, R.R. & Kostka, J.E. (Eds.); *Interactions between macro- and microorganisms in marine sediments* (pp. 85-103). American Geophysical Union as part of the Coastal and Estuarine Studies. <https://doi.org/10.1029/CE060p0085>

**Alongi, D.M.** (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6: 195–219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>

**Alongi, D.M.** (2020). Carbon cycling in the World's mangrove ecosystems revisited: significance of Non-Steady state diagenesis and subsurface linkages between the forest floor and the coastal ocean. *Forests*, 11(9): 977. <https://doi.org/10.3390/f11090977>

**Alvarenga, D.O.; Rigonato, J.; Branco, L.H.Z., & Fiore, M.F.** (2015). Cyanobacteria in mangrove ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, 24: 799–817. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0871-2>

**Bertics, V.J. & Ziebis, W.** (2009). Biodiversity of benthic microbial communities in bioturbated coastal sediments is controlled by geochemical microniches. *The ISME Journal*, 3: 1269–1285. <https://doi.org/10.1038/ismej.2009.62>

**Bosch, T.C.G. & Miller, D.J.** (2016). *The holobiont imperative: perspectives from early emerging animals* (p. 155). Springer Vienna. eBook ISBN 978-3-7091-1896-2. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1896-2>

**Cárdenas, A.; Ye, J.; Ziegler, M.; Payet, J.P.; McMinds, R.; Vega Thurber, R. & Voolstra, C.R.** (2020). Coral-associated viral assemblages from the central Red Sea align with host species and contribute to holobiont genetic diversity. *Frontiers in Microbiology*, 11: 572534. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.572534>

- Crossin, G.T.; Heupel, M.R.; Holbrook, C.M.; Hussey, N.E.; Lowerre-Barbieri, S.K.; Nguyen, V.M.; Raby, G.D.; & Cooke, S.J.** (2017). *Acoustic telemetry and fisheries management. Ecological Applications*, 27(4): 1031–1049. <https://doi.org/10.1002/eap.1533>
- Davy, L.E.; Simpfendorfer, C.A. & Heupel, M.R.** (2015). Movement patterns and habitat use of juvenile mangrove whiprays (*Himantura granulata*). *Marine & Freshwater Research*, 66(6): 481–492. <https://doi.org/10.1071/MF14028>
- Doering, T.; Maire, J.; van Oppen, M.J.H. & Blackall, L.L.** (2023). Advancing coral microbiome manipulation to build long-term climate resilience. *Microbiology Australia*, 44(1): 36–40. <https://doi.org/10.1071/MA23009>
- Fajriyah, N.** (2024). Community-Based blue economy development in Mangrove Ecosystems (Case study in the Segara Anakan Lagoon, Cilacap Regency). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1314: 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1314/1/012055>
- Frame, D.J. & Stone, D.A.** (2013). Assessment of the first consensus prediction on climate change. *Nature Climate Change*, 3: 357–359. <https://doi.org/10.1038/nclimate1763>
- Hammerschlag, N.; Morgan, A. & Serafy, J.E.** (2010). Relative predation risk for fishes along a subtropical mangrove–seagrass ecotone. *Marine Ecology Progress Series*, 401, 259–267. <https://doi.org/10.3354/MEPS08449>
- Helgoe, J.; Davy, S.K.; Weis, V.M. & Rodriguez-Lanetty, M.** (2024). Triggers, cascades, and endpoints: connecting the dots of coral bleaching mechanisms. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 99(3): 715–752. <https://doi.org/10.1111/brv.13042>
- Heupel, M.R.; Kanno, S.; Martins, A.P.B. & Simpfendorfer, C.A.** (2018). Advances in understanding the roles and benefits of nursery areas for elasmobranch populations. *Marine and Freshwater Research*, 70(7): 897–907. <https://doi.org/10.1071/MF18081>
- Holguin, G.; Guzman, M.A. & Bashan, Y.** (1992). Two new nitrogen-fixing bacteria from the rhizosphere of mangrove trees: Their isolation, identification and *in vitro* interaction with rhizosphere *Staphylococcus* sp. *FEMS Microbiology Letters*, 10(3): 207–216. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1992.tb05777.x>
- Holguin, G.; Vazquez, P. & Bashan, Y.** (2001). The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. *Biology and Fertility of Soils*, 33: 265–278. <https://doi.org/10.1007/s003740000319>
- Hossain, M.; Siddique, M.R.H.; Abdullah, S.M.R.; Saha, S.; Ghosh, D.C.; Rahman, M.S. & Limon, S.H.** (2013). Nutrient dynamics associated with leaching and microbial decomposition of four abundant mangrove species leaf litter of the Sundarbans, Bangladesh. *Wetlands*, 34(3): 439–448. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0510-1>
- Kneib, R.T.** (2002). Salt marsh ecoscapes and production transfers by estuarine nekton in the Southeastern United States. In: Weinstein, M.P. & Kreeger, D.A. (Eds.); *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology* (pp. 267–291). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/0-306-47534-0\\_13](https://doi.org/10.1007/0-306-47534-0_13)
- Knip, D.M.; Heupel, M.R. & Simpfendorfer, C.A.** (2010). Sharks in nearshore environments: models, importance, and consequences. *Marine Ecology Progress Series*, 402: 1–11. <https://doi.org/10.3354/meps08498>



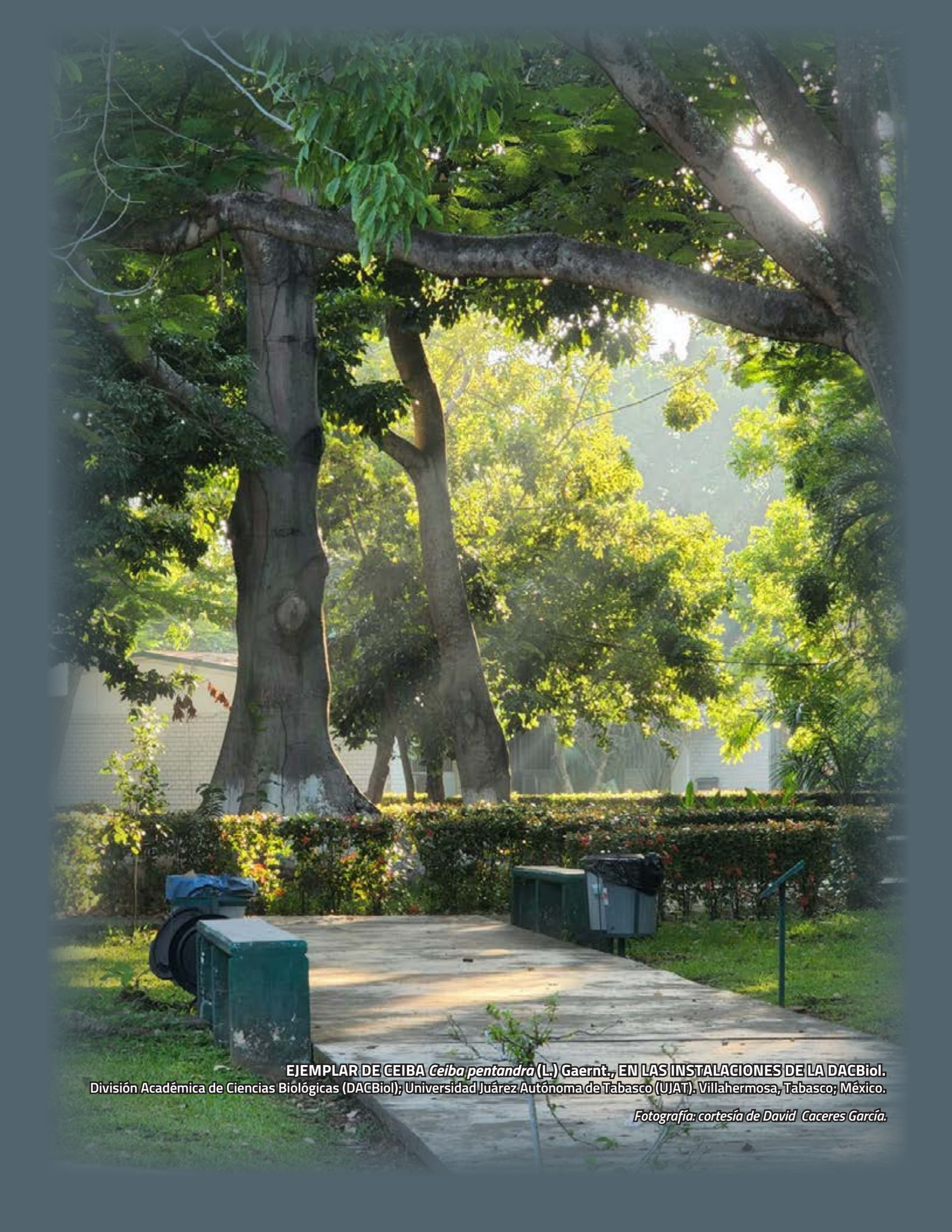
- LaJeunesse, T.C.; Parkinson, J.E.; Gabrielson, P.W.; Jeong, H.J.; Reimer, J.D.; Voolstra, C.R. & Santos, S.R.** (2018). Systematic revision of Symbiodiniaceae highlights the antiquity and diversity of coral endosymbionts. *Current Biology*, 28(16): 2570–2580.e6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.07.008>
- Liu, Z.; Zhai, F. & Gu, Y.** (2023). Mangroves' role in supporting ecosystem-based techniques to reduce disaster risk and adapt to climate change: a review. *Journal of Sea Research*, 196: 102449. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2023.102449>
- Margulis, L. & Fester, R.** (1991). *Symbiosis as a source of evolutionary innovation: speciation and morphogenesis* (p. 470). The MIT Press. ISBN: 9780262519908
- Maria, G.L.; Sridhar, K.R. & Raviraja, N.S.** (2005). Antimicrobial and enzyme activity of mangrove endophytic fungi of southwest coast of India. *Journal of Agricultural Technology*, 1(1): 67–80. Retrieved June 6, 2024 from <https://www.thaiscience.info/journals/Article/IJAT/10843227.pdf>
- Montejo, E.** (2023, agosto 30). Reserva de la Biosfera Wanha': la nueva Área Natural Protegida que alberga un manglar único en el mundo. *National Geographic en Español—Ecología* [Web]. Consultado en <https://www.ngenespanol.com/ecologia/reserva-de-la-biosfera-wanha-nueva-area-natural-protegida-en-mexico/>
- O'Shea, O.R.; Thums, M.; van Keulen, M. & Meekan, M.** (2012). Bioturbation by stingrays at Ningaloo Reef, Western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 63(3): 189–197. <https://doi.org/10.1071/MF11180>
- Pérez-Ceballos, R.; Zaldívar-Jiménez, A.; Canales-Delgadillo, J.; López-Adame, H.; López-Portillo, J. & Merino-Ibarra, M.** (2020). Determining hydrological flow paths to enhance restoration in impaired mangrove wetlands. *PLOS ONE*, 15(1): e0227665. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227665>
- Primavera, J.H.; Friess, D.A.; Van Lavieren, H. & Lee, S.Y.** (2019). Chapter 1 - The Mangrove Ecosystem. In: Sheppard, C. (Ed.); *World seas: an environmental evaluation* (Second Edition, Volume Three; pp. 1–34). Elsevier Ltd. & Academic Press. ISBN 978-0-12-805052-1. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04336-2>
- Rajendran, N. & Kathiresan, K.** (2007). Microbial flora associated with submerged mangrove leaf litter in India. *Revista de Biología Tropical*, 55(2): 393–400. Retrieved from [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442007000200005&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442007000200005&lng=en&tlng=en)
- Ritchie, K.B.** (2006). Regulation of microbial populations by coral surface mucus and mucus-associated bacteria. *Marine Ecology Progress Series*, 322: 1–14. <https://doi.org/10.3354/meps322001>
- Roughgarden, J.** (2023). Holobiont evolution: population theory for the hologenome. *The American Naturalist*, 201(6): 763–778. <https://doi.org/10.1086/723782>
- Rowan, R.** (1998). Review-diversity and ecology of Zooxanthellae on coral reefs. *Journal of Phycology*, 34(3): 407–417. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1998.340407.x>
- Sagan, L.** (1967). On the origin of mitosing cells. *Journal of Theoretical Biology*, 14(3): 225–274. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(67\)90079-3](https://doi.org/10.1016/0022-5193(67)90079-3)

- Salvucci, E.** (2016). Microbiome, holobiont and the net of life. *Critical Reviews in Microbiology*, 42(3): 485–494. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2014.962478>
- Sarker, S.; Masud-Ul-Alam, M.; Hossain, M.S.; Rahman Chowdhury, S. & Sharifuzzaman, S. M.** (2021). A review of bioturbation and sediment organic geochemistry in mangroves. *Geological Journal*, 56(5): 2439–2450. <https://doi.org/10.1002/gj.3808>
- Scherer, B.P.; Mason, O.U. & Mast, A.R.** (2022). Bacterial communities vary across populations and tissue type in red mangroves ('*Rhizophora mangle*', Rhizophoraceae) along an expanding front. *FEMS Microbiology Ecology*, 98(12): fiac139. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiac139>
- Scott, C.B.** (2024). *Long-term dynamics and theoretical considerations in coral holobiont adaptation* (Dissertation presented for the degree of Doctor of Philosophy). The University of Texas at Austin. <https://repositories.lib.utexas.edu/bitstreams/b8f5463c-445f-4121-9d90-82283bdec239/download>
- Segaran, T.C.; Azra, M.N.; Lananan, F.; Burlakovs, J.; Vincevica-Gaile, Z.; Rudovica, V.; Grinfelde, I.; Rahim, N.H.A. & Satyanarayana, B.** (2023). Mapping the link between climate change and mangrove forest: a global overview of the literature. *Forests*, 14(2): 421. <https://doi.org/10.3390/f14020421>
- Shiple, O.N.; Matich, P.; Hussey, N.E.; Brooks, A.M.L.; Chapman, D.; Frisk, M.G.; Guttridge, A.E.; Guttridge, T.L.; Howey, L.A.; Kattan, S.; Madigan, D.J.; O'Shea, O.; Polunin, N.V.; Power, M.; Smukall, M.J.; Schneider, E.V.C.; Shea, B.D.; Talwar, B.S.; Winchester, M.; Brooks, E.J. & Gallagher, A.J.** (2023). Energetic connectivity of diverse elasmobranch populations – implications for ecological resilience. *Proceedings of the Royal Society B: biological sciences*, 290: 20230262. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.0262>
- Singh, B.K.; Liu, H. & Trivedi, P.** (2020). Eco-holobiont: a new concept to identify drivers of host-associated microorganisms. *Environmental microbiology*, 22(2): 564–567. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14900>
- Skillings, D.** (2016). Holobionts and the ecology of organisms: multi-species communities or integrated individuals? *Biology & Philosophy*, 31: 875–892. <https://doi.org/10.1007/s10539-016-9544-0>
- Spalding, M.; Kainuma, M. & Collins, L.** (2010). *World Atlas of Mangroves* (p. 336). Routledge. eBook ISBN 9781849776608. <https://doi.org/10.4324/9781849776608>
- Thompson, J.R.; Rivera, H.E.; Closek, C.J. & Medina, M.** (2015). Microbes in the coral holobiont: partners through evolution, development, and ecological interactions. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 4: 176. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2014.00176>
- Vazquez, P.; Holguin, G.; Puente, M.E.; Lopez-Cortes, A. & Bashan, Y.** (2000). Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semiarid coastal lagoon. *Biology and Fertility of Soils*, 30(5): 460–468. <https://doi.org/10.1007/s003740050024>
- Wild, C.; Woyt, H. & Huettel, M.** (2005). Influence of coral mucus on nutrient fluxes in carbonate sands. *Marine Ecology Progress Series*, 287: 87–98. <http://dx.doi.org/10.3354/meps287087>
- Yu, X.; Tu, Q.; Liu, J.; Peng, Y.; Wang, C.; Xiao, F.; Lian, Y.; Yang, X.; Hu, R.; Yu, H.; Qian, L.; Wu, D.; He, Z.; Shu, L.; He, Q.; Tian, Y.; Wang, F.; Wang, S.; Wu, B.; Huang, Z.; He, J.; Yan, Q. & He, Z.** (2023). Environmental selection and evolutionary process jointly shape genomic and functional profiles of mangrove rhizosphere microbiomes. *mLife*, 2(3): 253–266. <https://doi.org/10.1002/mlf2.12077>

**Zhang, L.; Guo, Z.H. & Li, Z.Y.** (2013). Carbon storage and carbon sink of mangrove wetland: research progress. *The journal of applied ecology*, 24(4): 1153–1159.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23898678/>

**Zhang, N.; Thompson, C.E.L. & Townend, I.H.** (2023). The effects of disturbance on the microbial mediation of sediment stability. *Limnology and Oceanography*, 68(7): 1567–1579.  
<https://doi.org/10.1002/lno.12368>





**EJEMPLAR DE CEIBA *Ceiba pentandra* (L.) Gaernt., EN LAS INSTALACIONES DE LA DACBIOL.**  
División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa, Tabasco; México.

*Fotografía: cortesía de David Caceres García.*



«La disciplina es no perder de vista lo que se desea alcanzar»

DACBIOL



**ILUMINACIÓN NOCTURNA DE LA ENTRADA PRINCIPAL Y FACHADA DE LA DACBIOL-UJAT.**

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: cortesía de David Caceres García.



**KUXULKAB'**

División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

☎ +52 (993) 358 1500, 354 4308 ext. 6415

✉ kuxulkab@ujat.mx

🌐 www.revistas.ujat.mx

Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya. C.P. 86039.  
Villahermosa, Tabasco. México.