

LAGUNA DE TÉRMINOS

30 AÑOS DE INVESTIGACIÓN
Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

1996 — 2026

UN
ECOSISTEMA
SU GENTE
SU CIENCIA
SU FUTURO



EDITORES

Yassir Edén Torres Rojas

Editor principal y coordinador

Patricia Huerta

María Amparo Rodríguez Santiago

Juan Carlos Pérez

Jorge Alejandro Kurczyn Robledo

Nicolás Álvarez Pliego

Alberto J. Sánchez

Eduardo Amir Cuevas Flores

Rolando Gelabert Fernández

Francisco Serrano Flores

Área Natural Protegida "Laguna de Términos": 30 años de ciencia para México y el Mundo

Yassir E. Torres Rojas
(editores)



2026

Torres- Rojas, Y.E., (eds.). 206. Área Natural Protegida "Laguna de Términos": 30 años de ciencia para México y el mundo. Universidad Autónoma de Campeche. XXX p.

© UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, PESQUERÍAS Y OCEANOGRAFÍA DEL GOLFO DE MÉXICO
(EPOMEX)
AV. AGUSTÍN MELGAR S/N
COL. BUENAVISTA 24039
SAN FRANCISCO DE CAMPECHE, CAMPECHE. MÉXICO

ISBN 978-607-8907-xx-xx
DOI 10.26359/EPOMEXXX2026

El Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX) de la Universidad Autónoma de Campeche, publica su antología de libros "Serie Científica", desde hace 35 años. Colección producto de diferentes convenios editoriales y de colaboración amplia con Instituciones de Educación Superior y de Investigación, nacionales e internacionales, como la UNAM, CINVESTAV, TECNM-ITBOCA, CISESE, CIBNOR, CICIMAR, entre otros. A la fecha se han publicado más de 80 obras bajo el sello editorial de la Universidad Autónoma de Campeche.

La obra *Área Natural Protegida "Laguna de Términos": 30 años de ciencia para México y el mundo*, editado por Yassir E. Torres Rojast *et al.*, se publica en el 2026 en el marco de esta Serie Científica, y forma parte de una colección de libros que conjuntan y dan seguimiento a investigaciones de diferentes instituciones sobre los sistemas costeros y marinos del país.

Como todos los libros de la Serie Científica esta obra completa fue sometida para su revisión por parte del Consejo Editorial de la UACAM, y los capítulos revisados por pares académicos para asegurar su calidad y valor científico.

Contenido

Prólogo	17
Presentación	19
Índice de autores	21

1. Una Revisión de los Primeros Estudios Realizados en la Laguna de Terminos desde la Década de 1960 hasta la de 1980	31
<i>A Review of Early Studies in Laguna de Terminos from the 1960s through the 1980s</i>	
<i>John W. Day y Ana Laura Lara-Dominguez</i>	

Tomo 1: Objetivo prioritario I

Fortalecimiento del manejo efectivo de las ANP e impulso del incremento de la superficie de conservación para mantener la representatividad de la biodiversidad, la conectividad y funcionalidad de los ecosistemas y la provisión de sus servicios ambientales para el mejoramiento de la calidad de vida de las actuales y futuras generaciones

2. Reseña Histórica sobre el Estudio de las Comunidades de Peces en el Área Protegida de Laguna de Términos: Hábitats Prioritarios	59
<i>Historical Review of the Study of Fish Communities in the Protected Area of Laguna de Términos: Priority Habitats</i>	
<i>Julia Ramos-Miranda, Luis Amado Ayala-Pérez y Domingo Flores-Hernández</i>	

3. Variación a Largo Plazo del Oleaje en la Región Marina de Laguna de Términos a partir de ERA5: 1960-2019	79
<i>Long-term variability of wave climate in the marine region of Laguna de Términos based on ERA5 reanalysis (1960–2019)</i>	
<i>Gregorio Posada-Vanegas, Airam de Jesús Chi-Zapata, Beatriz Edith Vega-Serratos y Felipe-Ernesto Puc-Cutz</i>	

4. Parásitos de Organismos Acuáticos de Importancia Ecológica, Económica y Social de la Laguna de Términos: Estudio Retrospectivo de 30 Años Parasites of Aquatic Organisms of Ecological, Economic, and Social Importance in Laguna de Términos: A Retrospective Study Over 30 Years A. L. May-Tec, J. P. Ek-Huchim, E. F. Mendoza-Franco, E. Rivera-Arriaga, A.a Peña-Puch, A. Rodríguez-González y L. Aguirre-Macedo	95
5. Ecología y Civilización en la Laguna de Términos y sus Alrededores durante los Últimos 5000 años Ecology and Civilization in the Laguna de Términos and Its Surroundings over the Last 5,000 Years Nuria Torrescano-Valle, Joel Gunn Richard-Hansen y Ross Ensley	121
6. Conocimiento Científico de la Laguna de Términos: Avances, Redes de Colaboración, Temáticas de Investigación, e Implicaciones para el Manejo Scientific Knowledge of Términos Lagoon: Advances, Collaboration Networks, Research Themes, and Management Implications Frank Alberto Ocaña-Borrego y Rolando Gelabert-Fernández	139
7. Entre el Petróleo y la Biodiversidad: El Desafío de Conservar el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos Between Oil and Biodiversity: The Challenge of Conserving Terminos Lagoon Protected Area Nallely Vázquez-Pérez, Julio César Canales-Delgadillo y Luis Enrique Benítez-Orduña	155

Tomo 2: Objetivo prioritario II

Participación comunitaria en la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en las ANP para mejorar sus medios de vida y reducir su vulnerabilidad.

- 8. La Presencia de Pemex en el Área Natural Protegida de Laguna de Términos, Campeche y su Impacto en el Sector Pesquero Regional** **171**
The Presence of PEMEX in Términos Lagoon Protected Natural Area, Campeche, and Its Impact on the Regional Fisheries Sector
Moisés Frutos-Cortés, Rolando Gelabert-Fernández y Esther Solano-Palacios
- 9. Propuesta para el Desarrollo de un Modelo de Turismo Azul en Isla Aguada, Campeche** **197**
Proposal for the Development of a Blue Tourism Model in Isla Aguada, Campeche
Angelina del C. Peña-Puch, Evelia Rivera-Arriaga, Diana I. Aguilar De León, Eduardo S. Flores González y Teresita de J. Gutiérrez Anchevida
- 10. Investigación de Largo Plazo en Manglares: Cambio Climático, Conservación y Restauración Comunitaria en la Laguna de Términos, Campeche** **211**
Long-Term Research in Mangroves: Climate Change, Conservation, and Community-Based Restoration in Laguna de Terminos, Campeche
C. M. Agraz Hernández, J. Osti Saénz, C. Chan Keb, A. Gregorio Cortes, H. G. Manzanilla, G. Expósito-Díaz, G. Posada-Vanegas J. E. Reyes-Castellanos, J. Chávez-Barrera y J.E. Macías-Samano
- 11. Los Tiburones Olvidados de México: Redescubriendo un Legado Natural** **237**
Mexico's Forgotten Sharks: Rediscovering a Natural Legacy
Ilse Alejandra Martínez-Candelas y Arantxa Zamora-Rendon
- 12. Bancos de Ostiones ¿Los Grandes Olvidados en la Laguna de Términos?** **251**
Oyster Reefs: The Great Forgotten of the Laguna de Términos?
Abigail Uribe Martínez, Nancy Yolimar Suarez Mozo, Mariana Capparelli, Sandra Laffón-Leal y Luis Uribe Sandoval

13. La Laguna que Resiste: Secretos del Agua y su Edad The Lagoon that Resists: Secrets of Water and Its Age <i>J. G. Cardoso-Mohedano, E. Gómez-de la Peña, M. Meneses-Fernández, J. A. Sánchez-Cabeza, A. C. Ruiz-Fernández, M. E. Allende-Arandía, M. A. Gómez-Ponce, C. A. Herrera-Becerril y J. F. Ontiveros-Cuadras</i>	269
14. Sistema Híbrido de Energías Renovables para Laguna de Términos, Campeche, México Hybrid Renewable Energy System for the Laguna de Términos <i>Ma. Eugenia Allende-Arandía, César Sánchez-Rucobo y Huerdo, Christian M. Appendini y Bernardo Figueroa-Espinoza</i>	279
15. Influencia de la Marea y el Viento, en la Circulación Promedio al Interior de la Laguna de Términos, a partir de Observaciones Directas Influence of Tides and Wind on the Average Circulation Inside the Terminos Lagoon, Based on Direct Observations <i>E. Carsolio Priego, X. Flores Vidal, I. Rodríguez Padilla, B. Juárez, J.G. Cardoso Mohedano y J. A. Kurczyn Robledo</i>	301
16. Cambios en la Geomorfología Costera de Isla del Carmen, México Changes in the Coastal Geomorphology of Isla del Carmen, Mexico <i>Sandra A. Gallegos-Fernández, Jorge A. Trujillo-Córdova, Napoleón Gudiño-Elizondo, Abigail Uribe-Martínez y Eduardo Cuevas</i>	313

Tomo 3: Objetivo prioritario III

Restauración de ecosistemas, acciones de protección y monitoreo para la conservación y recuperación de especies prioritarias y sus hábitats en las ANP y zonas de influencia.

- 17. Cuarenta y ocho Años y Contando: Registro de Nutria Mesoamericana (*Lontra annectens*) en el APFF Laguna de Términos, México** **327**
Forty-eight Years and Counting: Record of the Mesoamerican (*Lontra annectens*) in the APFFLT, Mexico
Laura Elena Vázquez-Maldonado^{1,*}, Juan Pablo Gallo-Reynoso² y Alberto Delgado-Estrella¹
- 18. Interacción de las Toninas *Tursiops truncatus*, con las Actividades Pesqueras en la Laguna de Términos, Campeche, México** **341**
Interaction of Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) with Fishing Activities in Laguna de Términos, Campeche, Mexico
Alberto Delgado-Estrella, Itzel Escanga-Vicente, Laura Elena Vázquez-Maldonado y Enrique Núñez-Lara
- 19. Reflexión sobre Logros y Retos en la Recuperación de Poblaciones de Tortugas Marinas tras Cuatro Décadas y Media de Esfuerzos de Conservación en Laguna de Términos** **355**
Reflection on Achievements and Challenges in the Recovery of Sea Turtle Populations after Four and a Half Decades of Conservation Efforts in Laguna de Términos
Vicente Guzmán-Hernández, Patricia Huerta-Rodríguez, Pedro A. García-Alvarado y Eduardo Cuevas
- 20. Salud y Resiliencia de los Manglares: Enfrentando Cambios Ambientales y Desmitificando las Plagas. Caso Península de Atasta** **373**
Health and Resilience of Mangroves: Addressing Environmental Changes and Demystifying Pest Impacts. Case Study: Atasta Peninsula
C. M. Agraz Hernández, J. Macías, J. Osti-Saénz, A. Niño-Domínguez, C. Chan Keb, A. Gregorio Cortes, H. Manzanilla y J. E. Reyes Castellano

21. Variación Espacio-Temporal de Metales Pesados en Sedimentos de la Laguna de Términos, Campeche, México Spatio-Temporal Variation of Heavy Metals in Sediments from Laguna de Términos, Campeche, México <i>Merle M. Borges-Ramírez, Jorge A. Benítez, Maurilio Lara-Flores y Jaime Rendón-von Osten</i>	391
22. Macrofauna como Indicador de Éxito en la Restauración del Ecosistema de Manglar Macrofauna as an Indicator of Success in Mangrove Ecosystem Restoration <i>Miriam Soria-Barreto, Rolando Gelabert-Fernández, Rosela Pérez-Ceballos y Arturo Zaldívar-Jiménez</i>	409
23. Los Jaguares de Laguna de Términos: Conocimiento y Acciones de Conservación para una Población en Riesgo The Jaguars of Laguna de Términos: Research and Conservation for a Population at Risk <i>Mircea G. Hidalgo-Mihart, Alejandro Jesús-de la Cruz y Elías J. Gordillo-Chávez</i>	421
24. Una Revisión de la Distribución Espaciotemporal de los Atributos Comunitarios de la Ictiofauna de Laguna de Términos A Review of the Spatiotemporal Distribution of Community Attributes of the Ichthyofauna of Laguna de Términos <i>Carlos E. Paz-Ríos, Yassir E. Torres-Rojas y Atahualpa Sosa-López</i>	433
25. Monitoreo no Extractivo (BRUVS) de Ictiofauna en Zonas Restauradas de Manglar: ¿La Mejor Alternativa para ANP? Non-Extractive Monitoring (BRUVS) of Ichthyofauna in Restored Mangrove Areas: The Best Alternative for Natural Protected Areas? <i>Ashley Gerardo Escamilla-Carpizo, Yassir Eden Torres-Rojas y Claudia Maricusa Agraz-Hernández</i>	447

26. Ecología Isotópica de Especies Acuáticas de Laguna de Términos: Herramienta para la Gestión de Áreas Naturales Protegidas Isotopic Ecology of Aquatic Species in Laguna de Términos: A Tool for the Management of Protected Natural Areas <i>Katia Lileni Pacheco Ruiz, Yassir E Torres Rojas, Claudia M. Agraz Hernández y Antonio Delgado Huertas</i>	463
27. Osteotecnia para la Identificación de Ictiofauna en la Laguna de Términos Osteotechniques for the Identification of Ichthyofauna in Laguna de Términos <i>Jaydy Itayetzi Carrera-Lira y Yassir Edén Torres-Roja</i>	479
28. Microalgas como Indicadoras de la Calidad del Agua en la Laguna de Términos, Golfo de México: un Enfoque para el Monitoreo y Conservación a Futuro Microalgae as Indicators of Water Quality in Laguna de Términos, Gulf of Mexico: An Approach for Future Monitoring and Conservation <i>Carlos Antonio Poot-Delgado, Jaime Rendon-von Ostén, Yuri B. Okolodkov y José Antolín Aké-Castillo</i>	495
29. Uso de Parásitos de Organismos Acuáticos como Potenciales Bioindicadores de Salud Ambiental en la Laguna de Términos Use of Parasites of Aquatic Organisms as Potential Bioindicators of Environmental Health in Laguna de Términos <i>M. A. Rodríguez-Santiago, L. García-Prieto, E. Ávila-Torres, M. Velloso-Capparelli, J. A. Iannacone-Oliver, G. Argota-Pérez, J. Á. Caballero-Vázquez, y J. M. Osuna-Cabanillas</i>	505
30. Avances en el Conocimiento de la Biodiversidad de la Macrofauna Acuática Asociada a Ecosistemas de Manglar y de Pastos Marinos de la Laguna de Términos Advances in the Knowledge of Aquatic Macrofaunal Biodiversity Associated with Mangrove and Seagrass Ecosystems of Terminos Lagoon <i>E. Ávila-Torres, M. A. Rodríguez-Santiago, M. Velloso Capparelli, J. Canales-Delgadillo, A. Gómez-Ponce, L. E. Vázquez-Maldonado, O. Celis-Hernández, A. Briceño-Vera, G. Massaine-Moulatlet y G Argota-Pérez</i>	529

- 31. Tremátodos Parásitos en Aves Ictiófagas del Sistema Fluvio-Lagunar Palizada del Este, Campeche: Contribuciones al Conocimiento Parasitológico de la Laguna de Términos** 539
Parasitic Trematodes of Piscivorous Birds in the Palizada del Este Fluvio-lagoon System, Campeche: Contributions to the Parasitological Knowledge of Laguna de Términos
 María Amparo Rodríguez-Santiago, Karina López-García, David Iván Hernández-Mena, Enrique Ávila-Torres, Julio Cesar Canales-Delgadillo y Luis García-Prieto
- 32. Fauna Parásita del Pez *Acanthostracion quadricornis* (Tetraodontiformes: Ostraciidae) en el Sureste del Golfo de México** 555
Parasite fauna of the fish *Acanthostracion quadricornis* (Tetraodontiformes: Ostraciidae) in the southeastern Gulf of Mexico
 M. A. Rodríguez-Santiago, E. N. Silva-Martínez, E. Ávila-Torres, Y. E. Torres-Rojas, E. Aznar-Chulín, J. A. Iannacone-Oliver, G. Argota-Pérez, Jorge A. Rosales-Casian, O. Celis-Hernández y Z. M. Hernández-Russo
- 33. Fauna Parasitaria del Jurel Amarillo Común *Caranx hippos* (Pisces: Carangidae) en la Laguna de Términos, Campeche** 567
Parasitic fauna of the common crevalle jack *Caranx hippos* (Pisces: Carangidae) Laguna de Terminos, Campeche
 M. L. Cupil-Ruiz, E. Ávila-Torres, C. R. Canché-Tun, E. N. Silva-Martínez, J. A. Iannacone-Oliver, G. Argota-Pérez, R. Gelabert-Fernández, J. A. Rosales-Casian, Z. M. Hernández-Russo y M. A. Rodríguez-Santiago
- 34. Diversidad Parasitaria en la Tonina *Tursiops truncatus* y la Nutria Neotropical *Lontra annectens* del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, Campeche** 577
Parasitic Diversity of the Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* and the Neotropical Otter *Lontra annectens* in Laguna de Terminos Protected Area, Campeche
 C. R. Canche-Tun, M. A. Rodríguez-Santiago, L. Vázquez-Maldonado, A. Delgado-Estrella, E. Ávila-Torres, G. Argota-Perez y J. Iannacone-Oliver

35. Parásitos y Epibiontes Presentes en Tortuga Verde <i>Chelonia mydas</i> (Linnaeus, 1758) en Isla Aguada, APFF Laguna de Términos, Campeche Parasites and Epibionts in Green Turtle <i>Chelonia mydas</i> (Linnaeus, 1758) at Isla Aguada, Laguna de Terminos Flora and Fauna Protected Area, Campeche M. A. Rodríguez-Santiago, E. Ávila-Torres, P. Huerta-Rodríguez, V. Guzmán-Hernández, A. Cruz-Quintana, L. García-Prieto, D. I. Hernández-Mena, A. Ocegüera-Figueroa, G. A. Rivas-Hernández, C. R. Canche-Tuny . Labastida-Estrada	591
36. Parasitismo por el Balano Cirripedio Rizocéfalo <i>Loxothylacus texanus</i> en la Jaiba Negra de la Laguna de Términos Parasitism by the Rhizocephalan Barnacle <i>Loxothylacus texanus</i> in the Black Swimming Crab from Laguna de Terminos D. Medrano-Domínguez, E. Ávila-Torres, C. R. Canche-Tun, G. Rivas-Hernández, M. Alejandro Gómez-Ponce, J. M. Osuna-Cabanillas y M. A. Rodríguez-Santiago	605
37. Diversidad de Aves en Laguna de Términos: Manglares, Selvas y Dunas como Refugios de Biodiversidad Bird Diversity in Laguna de Terminos: Mangroves, Forests, and Dunes as Biodiversity Refuges J. C. Canales-Delgadillo, R. Pérez-Ceballos, A. Zaldívar-Jiménez, N. Vázquez-Pérez, G. Cardoso-Mohedano, M. A. o Gómez-Ponce, O. Celis-Hernández, M. E. Paredes-Pérez, E. Ávila-Torres y M. A. Rodríguez-Santiago	617
38. Ecología de Postlarvas de Camarón en la Laguna de Términos Ecology of Shrimp Postlarvae in Laguna de Terminos M. A. Gómez-Ponce, E. Ávila-Torres, J. C. Canales-Delgadillo, R. J. Pérez-Ceballos, O. Celis-Hernández, M. Capparelli-Vellosa, M. A. Rodríguez-Santiago, J. G. Cardoso-Mohedano y M. López-Hernández	637

39. Revisión de Contaminantes en el Área Natural Protegida Laguna de Términos Review of Contaminants in the Laguna de Terminos Natural Protected Area <i>O. Celis-Hernández, J. F. Ontiveros-Cuadras, M. Velloso-Capparelli, R. Y. Pérez-Ceballos, E. Ávila-Torres, J. C. Canales-Delgadillo, M. A. Gómez-Ponce, J. Gi. Cardoso-Mohedano y M. A. Rodríguez-Santiago</i>	651
40. Ecotoxicología Acuática con Bioecotoximonitores como Paradigma de la Restauración Ecológica para la Laguna de Términos, Campeche: Propuesta Metodológica Aquatic Ecotoxicology with Bioecotoximonitors as a Paradigm of Ecological Restoration for Laguna de Terminos, Campeche: Methodological Proposal <i>George Argota-Pérez y María Amparo Rodríguez-Santiago</i>	661

Área Natural Protegida “Laguna de Términos”: 30 años de ciencia para México y el mundo
Torres-Rojas et al. (eds.)

Poot-Delgado, C.A., Rendon-von Ostén, J., Okolodkov, Y.B., Aké-Castillo, J.A. 2026. Microalgas como Indicadoras de la Calidad del Agua en la Laguna de Términos, Golfo de México: un Enfoque para el Monitoreo y Conservación a Futuro, p. 495-504. In: Y.E. Torres-Rojas *et al.* (eds.). Área Natural Protegida "Laguna de Términos": 30 años de ciencia para México y el mundo. Universidad Autónoma de Campeche. xxx p. ISBN 978-607-8907-xx-x. doi 10.26359/EPOMEX0x20260x.

Microalgas como Indicadoras de la Calidad del Agua en la Laguna de Términos, Golfo de México: un Enfoque para el Monitoreo y Conservación a Futuro

Microalgae as Indicators of Water Quality in Laguna de Términos, Gulf of Mexico: An Approach for Future Monitoring and Conservation

Carlos Antonio Poot-Delgado^{1,2*}, Jaime Rendon-von Ostén¹,
Yuri B. Okolodkov³ y José Antolín Aké-Castillo³

¹Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX)
Universidad Autónoma de Campeche

²Instituto Tecnológico de Champotón,
Tecnológico Nacional de México

³Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías,
Universidad Veracruzana

*autor de correspondencia: carlos.pd@champtoton.tecnm.mx

Resumen

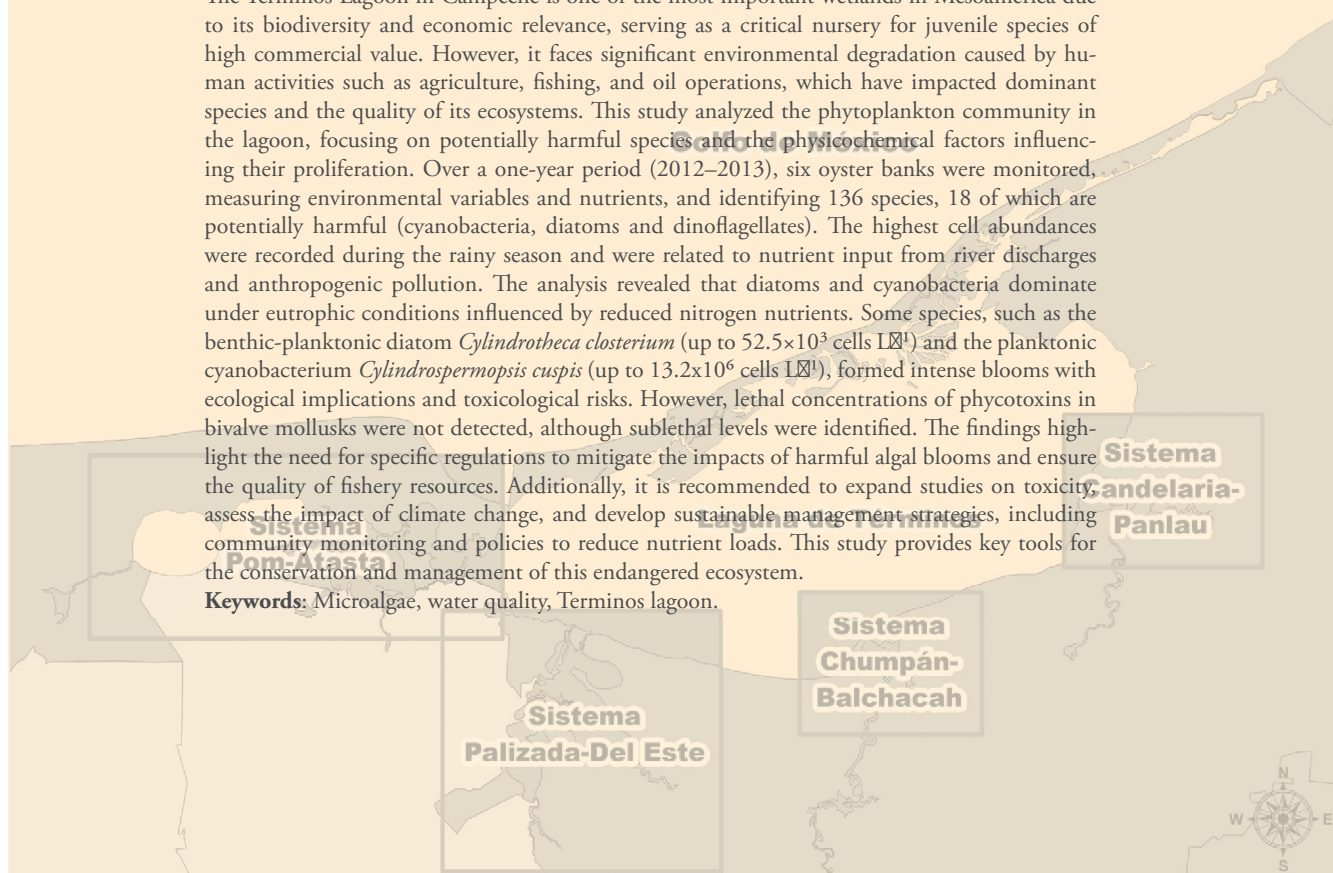
La laguna de Términos en el estado de Campeche, el sur del golfo de México es uno de los humedales más importantes de Mesoamérica por su biodiversidad y relevancia económica, al ser un área clave para larvas y juveniles de alto valor comercial. Sin embargo, enfrenta un deterioro ambiental significativo por actividades humanas como agricultura, pesca y operaciones petroleras, que han afectado especies dominantes y la calidad de sus ecosistemas. Este estudio analizó la comunidad fitoplanctónica de la laguna, con énfasis en especies potencialmente nocivas y factores fisicoquímicos que determinan su proliferación. Durante un ciclo anual (2012-2013), se monitorearon seis bancos ostrícolas, midiendo variables ambientales y nutrientes, e identificando 136 especies fitoplanctónicas, de las cuales 18 son potencialmente nocivas. Las abundancias más altas se registraron en la temporada de lluvias, vinculadas a aportes de nutrientes por descargas fluviales y contaminación antropogénica. El análisis reveló que diatomeas y cianobacterias dominan en condiciones eutróficas, influenciadas por nutrientes nitrogenados reducidos. Algunas especies como *Cylindrotheca closterium* y *Cylindrospermopsis cuspidata* presentaron florecimientos intensos, con implicaciones ecológicas y riesgos toxicológicos. Sin embargo, no se detectaron concentraciones letales de ficotoxinas en moluscos, aunque sí niveles subletales. Los resultados destacan la necesidad de normativas específicas para mitigar los impactos de florecimientos algales nocivos (FAN) y garantizar la calidad de los recursos pesqueros. Además, se recomienda ampliar estudios sobre toxicidad, evaluar el impacto del cambio climático, y desarrollar estrategias de manejo sostenible, incluyendo monitoreo comunitario y políticas para reducir cargas de nutrientes. Este trabajo proporciona herramientas clave para la conservación y gestión de este ecosistema crítico.

Palabras clave: microalgas, calidad de agua, laguna de Términos.

Abstract

The Términos Lagoon in Campeche is one of the most important wetlands in Mesoamerica due to its biodiversity and economic relevance, serving as a critical nursery for juvenile species of high commercial value. However, it faces significant environmental degradation caused by human activities such as agriculture, fishing, and oil operations, which have impacted dominant species and the quality of its ecosystems. This study analyzed the phytoplankton community in the lagoon, focusing on potentially harmful species and the physicochemical factors influencing their proliferation. Over a one-year period (2012–2013), six oyster banks were monitored, measuring environmental variables and nutrients, and identifying 136 species, 18 of which are potentially harmful (cyanobacteria, diatoms and dinoflagellates). The highest cell abundances were recorded during the rainy season and were related to nutrient input from river discharges and anthropogenic pollution. The analysis revealed that diatoms and cyanobacteria dominate under eutrophic conditions influenced by reduced nitrogen nutrients. Some species, such as the benthic-planktonic diatom *Cylindrotheca closterium* (up to 52.5×10^3 cells L^{-1}) and the planktonic cyanobacterium *Cylindrospermopsis cuspidata* (up to 13.2×10^6 cells L^{-1}), formed intense blooms with ecological implications and toxicological risks. However, lethal concentrations of phycotoxins in bivalve mollusks were not detected, although sublethal levels were identified. The findings highlight the need for specific regulations to mitigate the impacts of harmful algal blooms and ensure the quality of fishery resources. Additionally, it is recommended to expand studies on toxicity, assess the impact of climate change, and develop sustainable management strategies, including community monitoring and policies to reduce nutrient loads. This study provides key tools for the conservation and management of this endangered ecosystem.

Keywords: Microalgae, water quality, Terminos lagoon.



Introducción

La laguna de Términos, ubicada en el estado de Campeche, el sureste del golfo de México es uno de los humedales más relevantes de Mesoamérica por su extraordinaria biodiversidad y su papel como área de crianza para los estadios larvarios y juveniles de múltiples especies acuáticas. Este ecosistema es esencial para el reclutamiento de adultos en la plataforma continental, que incluye especies de gran valor económico (Raz-Guzmán, 2010). Los hábitats de vegetación acuática sumergida de la laguna sostienen una elevada abundancia, riqueza de especies, densidad y diversidad (Raz-Guzmán & Sánchez, 1996; Raz-Guzmán & Barba, 2000; Beck *et al.*, 2001; Raz-Guzmán, 2010). Además, alberga importantes bancos ostrícolas que son fundamentales para la pesca local.

No obstante, la laguna ha experimentado un deterioro ambiental significativo debido a factores tanto naturales como antropogénicos. Entre las principales causas se encuentran las actividades agrícolas, pesqueras y, especialmente, las operaciones petroleras. Este deterioro ha afectado a las poblaciones dominantes de la laguna, como las almejas de las familias Mactridae y Corbiculidae, los bancos de ostras del género *Crassostrea* Sacco y el “callo de árbol” (*Isognomon alatus* (Gmelin)) (Díaz-González *et al.*, 2005).

Dado que cada ecosistema es único, es imprescindible el uso de herramientas eficientes para su diagnóstico, lo que permite identificar los parámetros clave que indiquen el grado de impacto humano o el estado ecológico (Anderson *et al.*, 2012). Estos indicadores pueden ser fisicoquímicos, hidromorfológicos o biológicos (Costanza *et al.*,

1997; Crooks & Turner, 1999), y su análisis es esencial para la evaluación y manejo del ecosistema.

Un ejemplo de lo anterior es el uso de las microalgas que permiten determinar el estado trófico de los ambientes acuáticos, ya que reflejan las condiciones ambientales al responder rápidamente a cambios causados por procesos naturales o actividades humanas. Estas respuestas, que incluyen modificaciones en la estructura de las comunidades, las convierten en indicadores clave de la calidad del agua (Huszar *et al.*, 1998; De la Lanza-Espino *et al.*, 2000; Troccoli *et al.*, 2004; De la Lanza-Espino & Gómez-Rojas, 2005). Además, el monitoreo de la biomasa y las especies dominantes permite evaluar la variabilidad ambiental y predecir los impactos en los niveles superiores de las redes tróficas (Reynolds, 1997; Jones *et al.*, 2001; De la Lanza-Espino *et al.*, 2000).

Estudios pioneros, tales como la composición florística, sistemática y distribución de las diatomeas en los sedimentos de la laguna, han señalado la predominancia de diatomeas de origen nerítico en el fitoplancton, mientras que las especies dulceacuícolas y oceánicas son menos comunes (Silva-Bárcenas, 1963; Loyo-Rebolledo, 1965, 1966; Gómez-Aguirre, 1965, 1974; Pinzón-Medina, 1985; Torres, 1987; Barreiro-Güemes & Aguirre-León, 1999).

En estudios más recientes realizados en los sistemas fluvio-lagunares de Pom-Atasta y Palizada del Este identificaron a *Cylindrotheca closterium* como la especie más abundante, alcanzando concentraciones de 52.5×10^3 céls L⁻¹. Asimismo, se documentaron 21

especies de cianobacterias, de las cuales siete son formadoras de florecimientos algales nocivos (FAN): *Pseudanabaena catenata* Lauterborn, *P. limnetica* (Lemmermann) Komárek, *Anabaenopsis circularis* (G.S.West) V.V.Miller, *A. elenkinii* V.V.Miller, *Aphanizomenon* cf. *ovalisporum* Forti, *A. schindleri* Kling, Findlay et Komárek y *Dolichospermum circinalis* (Rabenhorst ex Bornet et Flahault) Wacklin, Hoffmann et Komárek (Muciño-Márquez et al., 2014, 2015).

Entre los principales problemas ambientales de la laguna, los FAN destacan por su impacto en la calidad del agua, la biodiversidad y las actividades económicas locales. Este capítulo sintetiza los hallazgos más relevantes de estudios recientes sobre la dinámica del fitoplancton en la laguna de Términos, haciendo énfasis en las especies potencialmente nocivas y su impacto en el ecosistema y la economía regional.

Objetivo del proyecto

El proyecto tuvo como objetivo la caracterización de la comunidad fitoplanctónica en la laguna de Términos, con un enfoque especial en las especies potencialmente nocivas, para comprender los factores fisicoquímicos que determinan su presencia y prolifera-

ción. Asimismo, generó información clave para promover la gestión sostenible de los recursos acuáticos de la región y desarrollar estrategias para mitigar los riesgos asociados a los FAN.

Material y métodos

El presente estudio se realizó en las áreas silvestres de extracción de moluscos bivalvos del subsistema lagunar San Carlos y Puerto Rico, en la laguna de Términos (figura 1a), ubicado a 30 km hacia el oeste de ciudad del Carmen, Campeche, y se localiza entre las coordenadas 18°33' y 18°38' N y 92°01' y 92°14' O. El estudio se llevó a cabo en seis bancos ostrícolas de la laguna de Términos (figura 1b) durante un ciclo anual (agosto de 2012 a septiembre de 2013). Se realizaron muestreos mensuales en seis sitios (estaciones). Se midieron variables fisicoquímicas (temperatura del agua, salinidad, pH y oxígeno disuelto), ambientales (precipitación

pluvial, velocidad y dirección del viento) y nutrientes inorgánicos (nitritos, nitratos, amonio, ortofosfatos y silicatos). Además, se analizaron muestras cuantitativas de fitoplancton mediante técnicas microscópicas, determinando el conteo de células en células por litro (céls L⁻¹).

Los datos fueron analizados mediante herramientas estadísticas para identificar patrones estacionales y explorar posibles relaciones entre las condiciones ambientales y la abundancia de fitoplancton. Este enfoque permitió determinar el patrón anual de abundancia y composición específica de microalgas en los bancos ostrícolas, así como

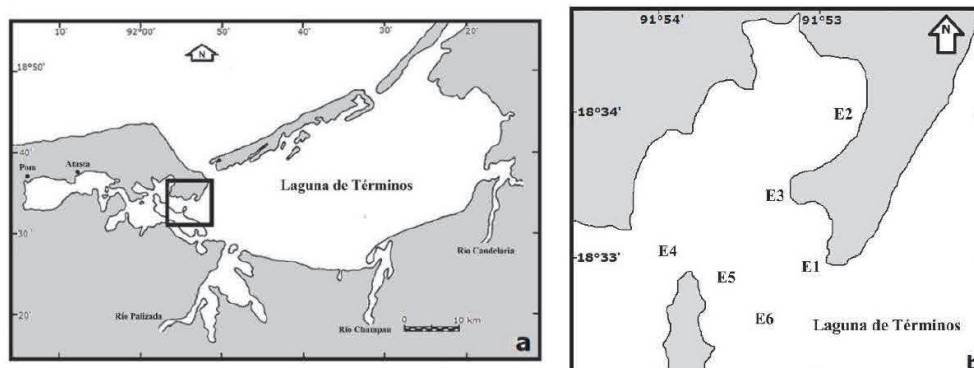


Figura 1. La zona de estudio correspondiente a las áreas silvestres de extracción del molusco bivalvo (*Crassostrea virginica* (Gmelin)).

identificar aquellas especies potencialmente nocivas presentes en estos ecosistemas. Además, se definieron las condiciones ambientales asociadas con la presencia de cada especie nociva, y se aplicaron índices ecológicos basados en la comunidad de microalgas para evaluar la presencia, dominancia y diversidad de las especies en los bancos ostrícolas.

Para jerarquizar la dominancia de las especies, se utilizó el diagrama de Olmstead-Tuckey (Sokal & Rohlf, 1981) aplicado a la comunidad fitoplanctónica. Asimismo, se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Shannon & Weaver, 1949) por sitio de muestreo, tanto a nivel de género como

de especie, con el objetivo de determinar la diversidad alfa (α) y analizar la uniformidad en los valores de importancia entre las especies muestreadas.

Finalmente, se examinó la presencia e intensidad de florecimientos de cianobacterias, debido a su frecuencia y elevada intensidad en ambientes eutróficos, donde pueden afectar gran parte de la masa de agua. Este análisis reviste especial interés, ya que algunas especies de cianobacterias presentan cepas tóxicas con implicaciones ecológicas y potenciales riesgos para los bancos ostrícolas.

Logros (Resultados)

Con base en un muestreo mensual realizado en seis sitios de la laguna de Términos durante un año de estudio (2012-2013), se caracterizó la comunidad fitoplanctónica por la dominancia del nanofitoplancton ($<20 \mu\text{m}$) y de diatomeas microfitoplanctónicas

($>20 \mu\text{m}$), con un patrón estacional influenciado principalmente por el régimen hidrometeorológico. Las mayores abundancias se registraron durante la temporada de lluvias (junio-septiembre), mientras que las más bajas ocurrieron en la temporada de secas

(febrero-mayo). La comunidad incluyó 136 especies: 66 diatomeas (49 %), 33 dinoflagelados (24 %), 23 cianobacterias (17 %), 10 fitoflagelados no identificados (7 %) y 4 silicoflagelados (3 %). La alta abundancia del nanofitoplancton se atribuyó a la ausencia de condiciones limitantes por nitrógeno, favoreciendo su dominancia, con un crecimiento sustentado por formas reducidas de nitrógeno.

Las diatomeas predominaron en tamaños pequeños ($\sim 20 \mu\text{m}$), con alta tasa de crecimiento y afinidad por formas nitrogenadas reducidas, lo que generó condiciones desfavorables para la mayoría de las especies de este grupo. Se encontraron 18 especies potencialmente nocivas, destacando proliferaciones estacionales durante la temporada de lluvias (junio-septiembre) en las estaciones E1-E6, causadas por diatomeas como la bentónica-planctónica *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et J.C.Lewin (1.0×10^6 céls L^{-1}) y la planctónica *Thalassiosira* sp. (9.5×10^5 céls L^{-1}), y durante la temporada de nortes (octubre-enero) por la cianobacteria planctónica *Cylindrospermopsis cuspidis* Komárek et Kling (13.2×10^6 céls L^{-1}), influenciadas por una salinidad de ~ 7 . En la estación E7, afectada por descargas de aguas residuales, se registraron proliferaciones de dinoflagelados asociados a ambientes eutróficos, como el planctónico *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) J.D.Dodge (= *Prorocentrum minimum* (Pavillard) J.Schiller) y el planctónico-bentónico *Blixaea quinquecornis* (T.H.Abé) Gottschling in Gottschling et al. (= *Peridinium quinquecorne* T.H.Abé), con abundancias de hasta 10^6 céls L^{-1} durante la temporada de lluvias.

Ocasionalmente, proliferaron especies como las diatomeas *Cyclotella* sp., la cianobacteria *Cylindrospermopsis cuspidis*, la rafidofícea *Chattonella* sp. y la euglenofita *Euglena* sp. Komárek et Kling, en todas las estaciones, asociadas a una disminución de la salinidad durante las lluvias. La dinámica de la comunidad fitoplanctónica estuvo influida por cambios en las proporciones estequiométricas de nutrientes; el índice de diversidad de Shannon-Wiener mostró valores más altos cuando la proporción N/P era baja. El crecimiento de diatomeas y dinoflagelados nanoplanctónicos estuvo relacionado principalmente con formas reducidas de nitrógeno, como el amonio. Sin embargo, el análisis de correspondencia canónica no reveló una relación estadísticamente significativa entre los nutrientes y los cambios en la composición de especies de fitoplancton, aunque los nutrientes se asociaron con el tiempo de residencia del agua y la conectividad laguna-oceano.

La disponibilidad de nutrientes estuvo vinculada al periodo de mayor descarga de ríos (junio-septiembre), con influencia de contaminación antropogénica derivada de aguas residuales urbanas y actividades agrícolas y ganaderas, modulada por la circulación y procesos biogeoquímicos. Los factores principales que afectaron la dinámica de la comunidad fitoplanctónica fueron la temperatura, el viento, la concentración de nutrientes y las especies químicas nitrogenadas. Aunque las abundancias de especies productoras de ficotoxinas no superaron las 10^5 céls L^{-1} en los bancos ostrícolas (E1-E6), se detectaron signos clínicos compatibles con toxinas tipo brevetoxinas en concentra-

ciones subletales (<10 UR/100 g de carne de molusco bivalvo), indicando que la abundancia celular no siempre refleja el grado de toxicidad.

Se establecieron indicadores como el enriquecimiento por nutrientes, las condiciones ambientales, las altas abundancias fitoplanctónicas (10^6 células L^{-1}), la presencia de especies potencialmente nocivas, las cianobacterias y los cambios temporales en la comunidad. Además, se aplicaron índices ecológicos: el de Olmstead-Tukey evidenció el impacto de la salinidad; el porcentaje de cianobacterias resaltó su dominancia, espe-

cialmente en especies tóxicas; el índice de diversidad de Shannon-Wiener frente a la proporción N/P indicó la prevalencia de diatomeas y dinoflagelados nanoplanctónicos asociados a formas reducidas de nitrógeno.

En cuanto a la calidad del agua para la extracción de moluscos bivalvos, los resultados sugieren que la normatividad mexicana vigente, aplicada al manejo de moluscos expuestos a FAN, es deficiente. Por ello, es urgente establecer normativas específicas para áreas que busquen garantizar la inocuidad alimentaria de estos organismos en la laguna de Términos.

Hallazgos importantes no contemplados en el proyecto

La identificación de *Cylindrospermopsis cuspidis* Komárek et Kling, como una especie dominante y recurrente en la laguna resalta la necesidad de monitorear sus posibles implicaciones toxicológicas, dado que en otras regiones del golfo de México se asocia a la bioacumulación de toxinas.

Se observó que las dinámicas de las corrientes y las descargas fluviales son factores cruciales que determinan la composición y abundancia fitoplanctónica.

Impacto de los resultados

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido comprender mejor los procesos ecológicos de la laguna de Términos y la influencia de las variaciones climáticas en los FAN. Estos hallazgos aportan informa-

ción valiosa para el diseño de estrategias de manejo y conservación, como la implementación de sistemas de monitoreo continuo para mitigar o prevenir impactos negativos en la pesca y la calidad del agua.

Recomendaciones para futuros proyectos

- Ampliar la investigación sobre la toxicidad de las especies dominantes, particularmente las cianobacterias.
- Realizar estudios a largo plazo para evaluar tendencias en la dinámica de los FAN en respuesta al cambio climático y las actividades humanas.
- Desarrollar programas de monitoreo comunitario para involucrar a los pescadores locales en la vigilancia ambiental.
- Evaluar el impacto de las descargas de nutrientes sobre la frecuencia e intensidad de los florecimientos algales.
- Promover políticas de gestión sostenible que reduzcan la carga de nutrientes en la laguna.

Literatura citada

- Anderson, D.M., Cembella, A.D., Hallegraeff, G.M. 2012. Progress in understanding harmful algal blooms: paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. *Ann. Rev. Mar. Sci.*, 4: 143-176. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120308-081121>
- Barreiro-Güemes, M.T., Aguirre-León, A. 1999. Distribución espacio-temporal de la biomasa fitoplanctónica en el sistema Lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. *Rev. Biol. Trop.*, 47(1): 27-35.
- Beck, W.M. 1955. Suggested method for reporting biotic data. *Sewage Ind. Wastes*, 27: 1193-1197.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Crooks, S., Turner, R.K. 1999. Intergrated coastal management: sustaining estuarine natural resources. Pp. 241-289. In: Nedwell, D.B. y D.G. Raffaelli (Eds.). *Estuaries: advances in ecological research*. Academic Press, New York, USA.
- De la Lanza-Espino, G., Gómez-Rojas, J.C. 2005. Calidad de agua e indicadores fitoplanctónicos en tres ambientes acuáticos costeros al noroeste del Golfo de México. Pp. 565-574. In: A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. 2da ed. Universidad Autónoma de Campeche. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- De la Lanza-Espino, G., Hernández-Pulido, S., Carbajal-Pérez, J.L. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). Edit. Plaza y Valdés, México, D.F., México. 650 p.
- Díaz-González, G., Botello, A.V., Ponce-Vélez, G. 2005. Plaguicidas organoclorados en pastos y peces de los sistemas Candelaria-Panlau y Palizada del Este, Laguna de Términos, Campeche, México. Pp. 207-224. In: A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2da ed. Universidad Autónoma de Campeche,

- Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Gómez-Aguirre, S. 1965. Algunas consideraciones acerca del fitoplancton primaveral en la boca de Paso Real, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol.* 36(1-2): 65-69.
- Gómez-Aguirre, S. 1974. Reconocimientos estacionales de hidrología y plancton en la Laguna de Términos Campeche, México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol.*, 1(1): 61-82.
- Huszar, V.L.M., Silva, L.H.S., Domingos, M. Marinho, P., Melo, S. 1998. Phytoplankton species composition in more sensitive than OCED criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. *Hydrobiologia*, 369(370): 59-71.
- Jones, A.B., O'Donohue, M.J., Udy, J., Denison, W.C. 2001. Assessing ecological impacts of shrimp and sewage effluent: biological indicators with standard water quality analyses. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 52: 91-109.
- Loyo-Rebolledo, M.E. 1965. Notas acerca de la flora de diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol.*, 36(1-2): 61-64.
- Loyo-Rebolledo, M.E. 1966. Sistemática y distribución de las diatomeas del plancton de la Laguna de Términos. Campeche. México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México. 169 p.
- Muciño-Márquez, R.E., Figueroa-Torres, M.G., Aguirre-León, A. 2014. Composición fitoplanctónica en los sistemas fluvio-Lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, adyacentes a la Laguna de Términos Campeche, México. *Acta Biol. Colomb.*, 19(1): 63-84.
- Muciño-Márquez, R.E., Figueroa-Torres, M.G., Aguirre-León, A. 2015. Cianofitas de los sistemas fluvio-Lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, adyacentes a la Laguna de Términos, Campeche, México. *Polibotánica*, 39: 49-78.
- Pinzón-Medina, R.M. 1985. Sistemática y distribución del género *Rhizosolenia* (Ehrenberg) Brightwell en la Laguna de Términos, Campeche. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México. México, D.F., México. 40 p.
- Raz-Guzmán, A. 2010. Estudio de caso: crustáceos de la Laguna de Términos. Pp. 275-279. In: G.J. Villalobos-Zapata, y J. Mendoza-Vega (Eds.). La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur, México.
- Raz-Guzmán, A., Barba, E. 2000. Seagrass biomass, distribution and associated macrofauna in southwestern Gulf of Mexico coastal lagoons. *Biol. Mar. Mediterr.*, 7(2): 271-274.
- Raz-Guzmán, A., Sánchez, A.J. 1996. Trophic structure related to seagrass habitat complexity. Pp. 241-248. In: J. Kuo, R.C. Phillips, D.I. Walker y H. Kirkman. (Eds.). Seagrass biology. Proceedings of an International Workshop. Rottnest Island, Western Australia. The University of Western Australia.
- Reynolds C.S. 1997. Vegetation processes in the pelagic: A model for ecosystem theory. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany. xxvii+371.
- Shannon, C.E., Weaver, W. 1949. The mathematical theory of communication. Urbana, University of Illinois Press, IL, USA. 125 p.
- Silva-Bárcenas, A. 1963. Sistemática y distribución de los géneros de diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Bol. Inst. Geol.*, 67(2): 1-31.
- Sokal, R., Rohlf, F.J. 1981. Biometry: The principles and practice of statistics in biological research. Freeman, New York, NY, USA. 937 p.

Área Natural Protegida “Laguna de Términos”: 30 años de ciencia para México y el mundo
Torres-Rojas et al. (eds.)

- Torres, C. 1987. Sistemática y distribución del género *Chaetoceros*, Ehrenberg (Bacillariophyceae) en la Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Profesional. Universidad Veracruzana, Jalapa, Veracruz, México. 46 p.
- Troccoli, G.L., Herrera-Silveira, J.A., Comín, E.A. 2004. Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico. *Hydrobiologia*, 519: 85-102. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000026487.78497.b6>
- Sitio WEB o Repositorio. <https://www.uv.mx/veracruz/dep/files/2016/04/TESIS-CARLOS-POOT-A-LA-RED.pdf>