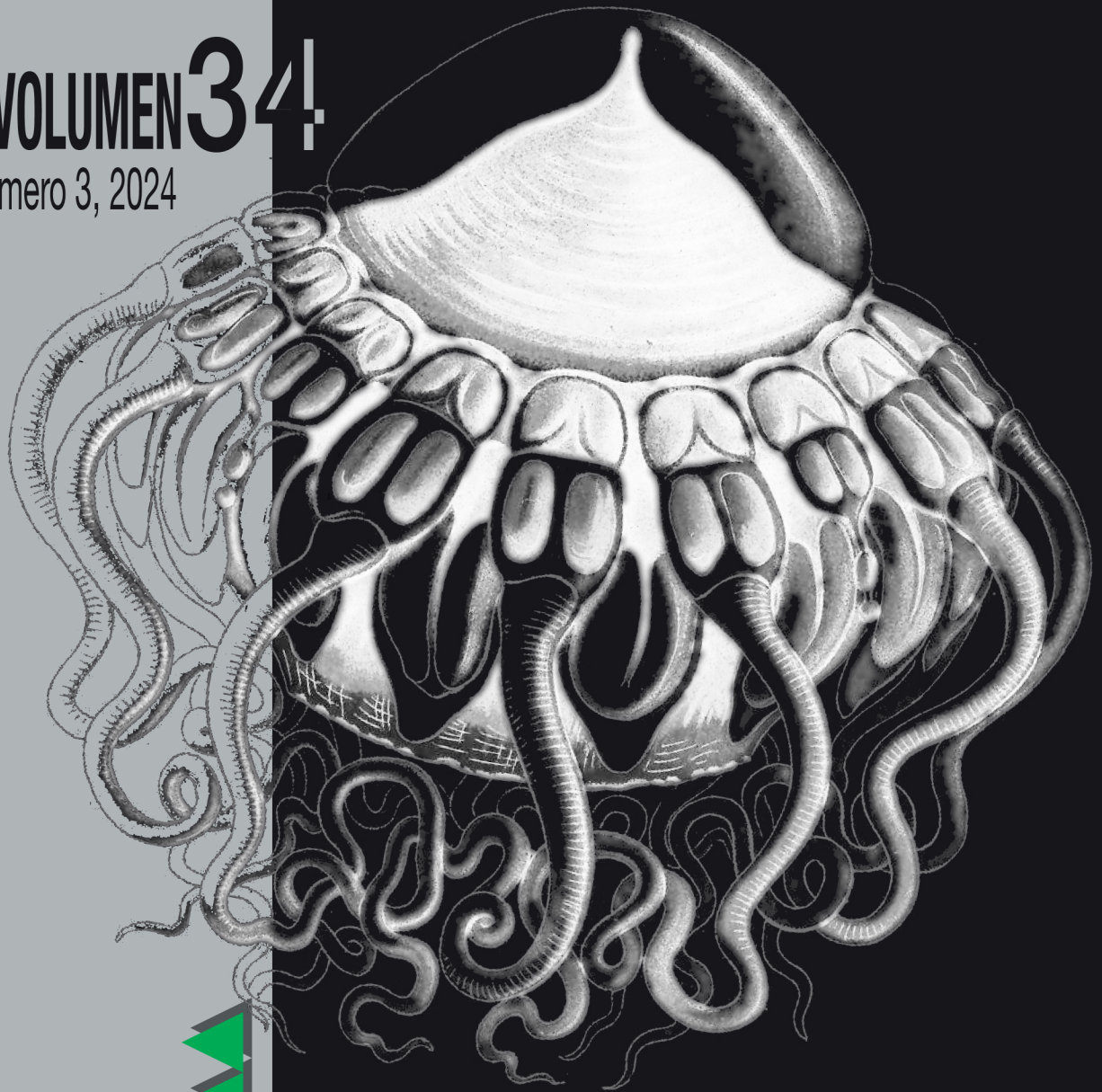


# HIDROBIOLÓGICA

VOLUMEN 34  
Número 3, 2024



Casa abierta al tiempo  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
Unidad Iztapalapa



Septiembre-Diciembre de 2024

# **HIDROBIOLÓGICA**

**Revista del Departamento de Hidrobiología**

VOLUMEN 34

Número 3

2024

---

**Hidrobiológica** es una publicación científica cuatrimestral del Departamento de Hidrobiología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa creada desde 1991. **Hidrobiológica** está dirigida a publicar investigaciones originales e inéditas sobre la hidrología, biología, pesquerías, acuicultura, contaminación y ecología de los recursos y sistemas acuáticos, realizados en México y en todo el mundo.

**Hidrobiológica** (ISSN 0188-8897) pertenece al Catálogo de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del CONACYT desde 1994. Indizada en:

PERIÓDICA. Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.

Latindex. Catálogo-Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal.

Redalyc. Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal.

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA).

ISI-Thomson: Biological Abstracts y Biosis Previews.

E&M Biology (Elsevier)

Journal Citation Reports - Thomson Reuters (JCR)

**Página electrónica:** <http://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/login>

**HIDROBIOLÓGICA.** Vol. 34 Año 2024, Número 3, septiembre-diciembre de 2024, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Hidrobiología. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Colonia Ex Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, México, Ciudad de México y Avenida Ferrocarril San Rafael Atlixco, número 186, Colonia Leyes de Reforma 1A Sección, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, México, Ciudad de México, teléfono: 5804-6475.

Página electrónica de la revista: <http://hidrobiologica.izt.uam.mx> y dirección electrónica: [rehb@xanum.uam.mx](mailto:rehb@xanum.uam.mx). Editora Responsable: Dra. Ma. del Rocío Torres Alvarado. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2014-071117092600-102.

Fecha de última modificación: 30 de diciembre de 2024. Tamaño de archivo: 2.4 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

## COMITÉ EDITORIAL

Responsable de la edición del número

**Editor en Jefe: Dra. María del Rocío Torres Alvarado**

Área de Ecosistemas Costeros. Depto. de Hidrobiología.

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

## EDITORES ASOCIADOS

### ÁREA SISTEMÁTICA, FILOGENIA Y MORFOLOGÍA

**Dr. Sergio Díaz Martínez**

Laboratorio de Ficología, Herbario FEZA

Universidad Autónoma de México

CDMX, México

**Dr. J. Rolando Bastida Zavala**

Laboratorio de Sistemática de Invertebrados Marinos (LABSIM)

Universidad del Mar, Campus Puerto Angel

Oaxaca, México

**Dra. María A. Mendoza Becerril**

Depto. de Sistemática y Ecología Acuática (Meduzoa)

El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal

Quintana Roo, México

**Dr. Francisco F. Pedroche**

Área de Ciencias Ambientales

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma (UAML)

Estado de México, México

**Dra. María Luisa Núñez Reséndiz**

Área de Ficología

Depto. de Hidrobiología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

### ÁREA DE MANEJO DE RECURSOS ACUÁTICOS

**Dr. Manuel Mendoza Carranza**

Depto. de Ciencias de la Sustentabilidad,

El Colegio Frontera Sur, Unidad Villahermosa

Tabasco, México

**Dr. Pedro Cervantes Hernández**

Área de Evaluación pesquera

Universidad el Mar, Puerto Ángel

Oaxaca, México

**Dra. Eloísa Pacheco Almanzar**

Área de Producción acuática

Depto. de Hidrobiología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

**Dra. Ana Laura Ibañez Aguirre**

Área de Producción Acuática. Depto. de Hidrobiología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

### ÁREA AMBIENTAL

**Dra. Laura Georgina Calva Benítez**

Área de Ecosistemas Costeros. Depto. de Hidrobiología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

**Dra. Flor de María Cuervo López**

Área de Microbiología. Depto. de Biotecnología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

**Dra. Alma Socorro Sobrino Figueroa**

Área de Producción Acuática. Depto. de Hidrobiología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

### ÁREA DE ECOLOGÍA

**M. en B. E. Sergio Humberto Álvarez Hernández**

Área de Producción Acuática. Depto. de Hidrobiología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

**Dr. Jose Alejandro Zavala Hurtado**

Área de Ecología

Depto. de Biología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

## EDITORES EXTERNOS

**Dr. Eugenio Alberto Aragón-Noriega**

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. Unidad  
Sonora

**Horacio Vázquez López**

Facultad de Estudios Superiores Iztacala,  
Universidad Nacional Autónoma de México

**Dra. Carmen María Hernández Álvarez**

Facultad de Ciencias UNAM

**Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte**

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza  
Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera Campus II

**Oscar Trujillo-Millán**

Universidad Autónoma de Baja California Sur

**Sinuhé Hernández Márquez**

Universidad Autónoma Metropolitana

**Alexis de Jesús Escárcega Bata**

Universidad Autónoma Metropolitana

**Beatriz Irene Lira Hernández**

Universidad Nacional Autónoma de México

**José Antonio Ocampo Cervantes**

Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Xochimilco

**Dr. Gustavo A. Rodríguez Montes de Oca**

Laboratorio de Reproducción y cultivo de Peces  
Facultad de Ciencias del Mar Universidad Autónoma de Sinaloa

**Felipe Galván-Magaña**

CICIMAR, La Paz, Baja California

**Dr. Abraham Kobelkowsky Díaz**

Universidad Autónoma Metropolitana, Dpto. Biología  
Unidad Iztapalapa

**María de los Ángeles Mendoza Becerril**

ECOSUR, Chetumal

**Dra. María del Carmen Franco Gordo**

Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de  
Zonas Costeras  
Universidad de Guadalajara

**Dra. María del Rocío Torres Alvarado**

Universidad Autónoma Metropolitana, Dpto. Hidrobiología  
Unidad Iztapalapa

**Dra. Laura Georgina Calva Benitez**

Universidad Autónoma Metropolitana, Dpto. Hidrobiología  
Unidad Iztapalapa

**Dra. Patricia Ramírez Romero**

Universidad Autónoma Metropolitana, Dpto. Hidrobiología  
Unidad Iztapalapa

## CONSEJO EDITORIAL

**Dr. Raymundo Reyes-Gutiérrez**

Área de Recursos Hídricos.  
Depto. de Recursos de la Tierra  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Lerma (UAM-L)  
Estado de México, México.

**Dra. Hisol Sarai López-Arellanes**

Depto. Plancton y Ecología Marina  
Instituto Politécnico Nacional, Centro  
Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN)  
La paz, BCS, México

**Dr. Horacio Lozano-Cobo**

Área de Zooplancton y Parasitología Marina.  
Depto. De Hidrobiología  
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad  
Iztapalapa (UAM-I)  
CDMX, México

**Dr. Manuel Castillo-Rivera**

Área de Zoología. Depto. de Biología  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Iztapalapa (UAM-I)  
CDMX, México

**Dra. Miriam Azucena Hernández-Zamora**

Área de Ciencias Agrícolas y Biológicas  
Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de  
Ciencias Biológicas (IPN-ENCB)  
CDMX, México

**Dr. Roberto Rico-Martínez**

Área de Centro de Ciencias Básicas.  
Depto. de Química  
Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA)  
Aguascalientes, México

**Dr. César Meiners-Mandujano**

Área de Análisis de pesquerías y variables ambientales  
Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias  
Marinas y Pesquerías (UV)  
Veracruz, México

**Dr. Luis Amado Ayala-Pérez**

Área de Sistemas y Procesos Ecológicos de los  
Recursos Acuáticos Tropicales.  
Depto. de El Hombre y su Ambiente.  
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad  
Xochimilco (UAM-X)  
CDMX, México

**Dr. Jose Ivan Velazquez-Abunader**

Área de Acuacultura, pesca y Biotecnología.  
Depto. de Recursos del Mar  
Instituto Politécnico Nacional, Centro de  
Investigación y de Estudios Avanzados Mérida  
(IPN-CINVESTAV)  
Yucatán, México

**Dra. Nataly Quiroz-González**

Laboratorio de Ficología y Sección de Algas del Herbario  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
Facultad de Ciencias (UNAM)  
CDMX, México

**Dra. Gloria Garduño-Solorzano**

Laboratorio de Botánica.  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
FES Iztacala (UNAM)  
Estado de México, México

**Dr. José Alberto Ocaña-Luna**

Laboratorio de Ecología  
Instituto Nacional de Ciencias Biológicas Escuela  
Nacional de Ciencias Biológicas (IPN-ENCB)  
CDMX, México

**Dra. Rosa maría García-Martínez**

Depto. de Zoología  
Instituto Politécnico Nacional,  
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (IPN-ENCB)  
CDMX, México

**Dr. Héctor Omar Mejía-Guerrero**

Laboratorio de Variación Biológica y Evolución.  
Depto. de Zoología.  
Instituto Politécnico Nacional,  
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (IPN-ENCB)  
CDMX, México

# HIDROBIOLÓGICA

Revista del Departamento de Hidrobiología de la  
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

ÍNDICE AL VOLUMEN 34, NÚMERO 3 • 2024

---

**Cházaro-Olvera, S., J. Montoya Mendoza, Á. Morán-Silva, R. Chávez-López y C. Ramírez-Isoba**

Postlarvas de Caridea (Crustacea, Decapoda) en el estuario del río Jamapa, Veracruz,  
SW golfo de México .....145-152

**Gazca-Castro, M., A. Aguirre-León, S. Díaz-Ruiz y Sergio Álvarez-Hernández**

El ambiente como factor que estructura la comunidad de peces del sistema fluvio-lagunar Pom-Atasta,  
Campeche, México .....153-166

**Roa-Venicio, M. y M. A. Fernández-Álamo**

Diversidad de medusas (Cnidaria: Medusozoa) en Bahía de Banderas, México y registros nuevos .....167-178

**Tlahig , S., H. Dab, K. Elebdelli y H. Laouar**

Intento de optimizar el crecimiento de la tilapia del Nilo utilizando alimentos a base de cultivos  
autóctonos en sistemas de cría en aguas subterráneas geotérmicas refrigeradas  
para una acuicultura sostenible .....179-190

**Alvarado-Arcia, A., R. Martínez-Salinas, E. Barba-Macias, J. Morales-López y A. Torres-Dosal**

Metales pesados en músculo de *Pterygoplichthys pardalis* y especies acompañantes en Pantanos de Centla,  
Tabasco, México .....191-206

## NOTAS CIENTÍFICAS

**Del Moral-Flores, L. F., V. H. Galván-Piña, T. Ruiz-Rosas y E. H. Zazueta-Niebla**

Registro más septentrional de la Raya áspera del Pacífico, *Styracura pacifica* (Beebe & Tee-Van 1941)  
(Myliobatiformes: Potamotrygonidae) en las costas del Pacífico mexicano.....207-210

**Gárate-Lizárraga, I. y Y. B. Okolodkov**

¿Es *Blixaea quinquecornis* (Dinoflagellata: Peridiniales) un complejo de especies?.....211-215

**Índice de volumen 34** .....217-219

**Índice de autores** .....221-222

# HIDROBIOLÓGICA

A Journal from Departamento de Hidrobiología de la  
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

VOLUME INDEX 34, NUMBER 3 • 2024

---

**Cházaro-Olvera, S., J. Montoya Mendoza, Á. Morán-Silva, R. Chávez-López and C. Ramírez-Isoba**

Caridea postlarvae (Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Jamapa River, Veracruz,  
SW Gulf of Mexico ..... 145-152

**Gazca-Castro, M., A. Aguirre-León, S. Díaz-Ruiz and Sergio Álvarez-Hernández**

The environment as a factor that structures the fish community of the Pom-Atasta fluvial-lagoon system,  
Campeche, Mexico ..... 153-166

**Roa-Venicio, M. & M. A. Fernández-Álamo**

Jellyfish diversity (Cnidaria: Medusozoa) in Banderas Bay, Mexico with new records ..... 167-178

**Tlahig , S., H. Dab, K. Elebdelli and H. Laouar**

Attempting to Optimize Nile Tilapia Growth Using Indigenous Crop-Based Feeds in Cooled Geothermal  
Groundwater Breeding Systems for Sustainable Aquaculture ..... 179-190

**Alvarado-Arcia, A., R. Martínez-Salinas, E. Barba-Macías, J. Morales-López and A. Torres-Dosal**

Heavy metals in muscle of *Pterygoplichthys pardalis* and companion species in Pantanos of Centla,  
Tabasco, México ..... 191-206

## SCIENTIFIC NOTES

**Del Moral-Flores, L. F., V. H. Galván-Piña, T. Ruiz-Rosas and E. H. Zazueta-Niebla**

Northernmost record of the Pacific chupare, *Styracura pacifica* (Beebe & Tee-Van 1941) (Myliobatiformes:  
Potamotrygonidae) on the coasts of the Mexican Pacific ..... 207-210

**Gárate-Lizárraga, I. and Y. B. Okolodkov**

Is *Blixaea quinquecornis* (Dinoflagellata: Peridiniales) a species complex? ..... 211-215

**Volume index 34** ..... 217-219

**Author index** ..... 221-222





## Caridea postlarvae (Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Jamapa River, Veracruz, SW Gulf of Mexico

## Postlarvas de Caridea (Crustacea, Decapoda) en el estuario del río Jamapa, Veracruz, SW golfo de México

Sergio Cházaro-Olvera<sup>1\*</sup>, Jesús Montoya Mendoza<sup>2</sup>, Ángel Morán-Silva<sup>1</sup>, Rafael Chávez-López<sup>1</sup>, Clever Ramírez-Isoba<sup>1</sup>

Recibido: 18 de marzo de 2024.

Aceptado: 17 de junio de 2024.

Publicado: diciembre de 2024.

### ABSTRACT

**Background.** In Veracruz, Mexico, 68 species of estuarine decapod crustaceans have been recorded. Of these, 11 belong to the infraorder Caridea, and 8 species have been recorded in freshwater systems. **Goals.** The present study analyzed the specific richness and abundance of carideans postlarvae and their relationship with the dynamics of environmental factors in the estuary of the Jamapa River, Veracruz, southwest of the Gulf of Mexico. **Methods.** The following environmental factors were measured: dissolved oxygen, temperature, total dissolved solids, pH, and salinity. The captures were made with light traps and shrimp bait. The generalized least squares model was used to determine the relationships between the environmental factors with the five months and five sampling sites. The generalized linear model was used to determine the relationships between the abundance of the postlarvae and the months, sites, and environmental factors. **Results.** A total of 8,649 carideans postlarvae were collected, of which 257 belonged to *Macrobrachium acanthurus*, 1,016 belonged to *M. olfersii*, and 7,376 belonged to *Potimirim mexicana*. The highest abundance of the three species was found at the site located on the dock of the Boca del Río Technological Institute, with 6,627 carideans. **Conclusion.** The abundances of postlarvae of *P. mexicana* and *M. olfersii* were within the values reported in other studies. However, the abundance of *M. acanthurus* was low, which may be related to the high values of total dissolved solids or overfishing. The highest density of postlarvae of carideans occurred in the rainy season in sites with *Thypha domingensis* vegetation.

**Keywords:** Atyidae, Caridean shrimps, diversity, estuarine system, Palaemonidae

<sup>1</sup> Laboratorio de Crustáceos. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. de los Barrios No.1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México

<sup>2</sup> Laboratorio de Investigación de Acuicultura Aplicada. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río. Km 12, carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Veracruz, México

#### \*Corresponding author:

Sergio Cházaro-Olvera: schazaro@gmail.com

#### To quote as:

Cházaro-Olvera, S., J. Montoya Mendoza, Á. Morán-Silva, R. Chávez-López & C. Ramírez-Isoba. 2024. Caridea postlarvae (Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Jamapa River, Veracruz, SW Gulf of Mexico. *Hidrobiológica* 34 (3): 145-152.

### RESUMEN

**Antecedentes.** En Veracruz, México, se han registrado 68 especies de crustáceos decápodos de estuario. De ellas, 11 pertenecen al infraorden Caridea y 8 especies han sido registradas en sistemas de agua dulce. **Objetivos.** El presente estudio analizó la riqueza y abundancia específica de postlarvas de carideos y su relación con la dinámica de factores ambientales en el estuario del Río Jamapa, Veracruz, suroeste del Golfo de México. **Métodos.** Se midieron los siguientes factores ambientales: oxígeno disuelto, temperatura, sólidos disueltos totales, pH y salinidad. Las capturas se realizaron con trampas ligeras y cebo para camarones. Se utilizó el modelo de mínimos cuadrados generalizado para determinar las relaciones entre los factores ambientales con los cinco meses y los cinco sitios de muestreo. Se utilizó el modelo lineal generalizado para determinar las relaciones entre la abundancia de las postlarvas y los meses, sitios y factores ambientales. **Resultados.** Se recolectaron un total de 8,649 postlarvas de carideos, de las cuales 257 pertenecían a *Macrobrachium acanthurus*, 1,016 a *M. olfersii* y 7,376 a *Potimirim mexicana*. La mayor abundancia de las tres especies se encontró en el sitio ubicado en el muelle del Instituto Tecnológico de Boca del Río, con 6,627 carideos. **Conclusión.** Las abundancias de postlarvas de *P. mexicana* y *M. olfersii* estuvieron dentro de los valores reportados en otros estudios. Sin embargo, la abundancia de *M. acanthurus* fue baja, lo que puede estar relacionado con los altos valores de sólidos disueltos totales o la sobrepesca. La mayor densidad de postlarvas de carideos se presentó en la época de lluvias en sitios con vegetación de *Thypha domingensis*.

Palabras clave: Atyidae, Camarones carideos, diversidad, Palemónidae, sistema estuarino

## INTRODUCTION

The infraorder Caridea is made up of 3,754 described species grouped into 45 families; among the most diverse are the families Atyidae, with 526 species, and Palaemonidae, with 1,090 species (WoRMS, 2024). In Veracruz, Mexico, 68 species of estuarine decapod crustaceans have been recorded. A total of 11 of these species belong to the infraorder Caridea. In freshwater systems, 38 species have been recorded, and 8 of those species are part of the infraorder (Álvarez *et al.*, 2011).

The *Potimirim* genus from the Atyidae family and the *Machrobrachium* genus from the Palaemonidae family have been reported along the coastline and in the rivers of Veracruz (Alonso-Reyes *et al.*, 2010; Cházaro-Olvera *et al.*, 2021) and in estuaries and freshwater systems (Álvarez *et al.*, 2011). During their development, the individuals from these families undergo four stages: zoea, postlarva, juvenile, and adult (Hernández-Vergara & Jiménez-Rojo, 2008). The postlarvae of these carideans present morpho-physiological adaptations to be able to carry out migrations between the river, estuary, and maritime waters near the coast (De Grave, 2008). This migration is classified as an active movement when the organisms can perform vertical migrations in the water column, or it can be a passive movement when the organisms are transferred by currents (Guerao, 1995). The transport of caridean larvae and postlarvae to estuaries is related with the river currents to the estuaries (Anger, 2013). Therefore, the passive dispersal of larvae and postlarvae may be a factor that determines the recruitment of carideans to estuarine systems, where they return to the river to freshwater conditions after completing development to the juvenile stage.

Postlarvae recruitment has only been documented by Cházaro-Olvera (1996), Cházaro-Olvera *et al.* (2007a), Cházaro-Olvera *et al.* (2007b), and Cházaro-Olvera *et al.* (2009). Thus, the present work will increase the knowledge about the dynamics of the transport of caridean postlarvae in the Jamapa River estuary, Veracruz, located southwest of the Gulf of Mexico. To do this, the present work aims to analyze the abundance and diversity of the organisms of this infraorder and determine their relationships with physicochemical factors.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

The Jamapa River basin is located between 18°45'–19°14'N and 95°56'–97°17'W (Fuentes-Mariles *et al.*, 2014). The estuary discharges its waters in the Veracruzano Reef System National Park (PNSAV) (Liaño-Carrera *et al.*, 2019). The estuary has a micro-tidal modulation of approximately 2.0 m, with biweekly synodic semidiurnal, diurnal, and lunisolar components (Salas-Monreal *et al.*, 2019). The estuary also has a navigation channel in the southern part that generates important changes in its dynamics (Salas-Monreal *et al.*, 2019). The shipping channel of the estuary produces strong currents of more than 0.5 ms<sup>-1</sup> and a continuous exchange of brackish water with the ocean (Salas-Monreal *et al.*, 2020) (Figure 1).

### Fieldwork

Specimens were collected at five sites. The first site was located to the south of the estuary, at the jetty of the Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz (ITBOCA). The second site was located to the north of the estuary at the jetty of the Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías of the Universidad Veracruzana (ICIMAP). The third site was located near

the estuarine inlet of the Río Jamapa called Barco. The fourth and fifth sites (Venecia and Estero) were located to the southeast, in communication with the Mandinga Lagoon. The sampling campaign was carried out in September (i.e., the rainy season), November, January, March (i.e., the cold front season), and May (i.e., the dry season) of 2019. The biological material was collected over 12 h using a light trap (Cházaro-Olvera *et al.*, 2018). The light trap was placed at the sampling sites at a depth of 0.5 m during the full moon phase because this lunar phase is when the effect of positive phototropism of zooplankton is maximized. The trap was placed at 20:00 h on the first sampling day and removed at 8:00 h the following day. Each sample was filtered through a 300 µm sieve and preserved in 0.5 L plastic bottles. Subsequently, the samples were fixed with 70% ethyl alcohol and labeled with information on the location, date, time, and type of sampling. The abiotic parameters of water temperature (°C), salinity, total dissolved solids (ppm), dissolved oxygen (mg L<sup>-1</sup>), and pH were measured in situ with a Hanna® HI 9828 multiparameter every month and at each site at the beginning and end of the sampling; later, the average and standard deviation were obtained.

### Laboratory work

The biological material was transported to the Crustacean Laboratory of the FES Iztacala. The material was reviewed, separated, and identified to the species level with the help of a stereoscopic microscope and an optical microscope following the criteria of Holthuis (1954) and Williams (1984).

### Statistical analysis

A generalized least squares (GLS) model was used to determine the relationships between the environmental factors, the five months, and the five sampling sites (Zuur *et al.*, 2007). After finding statistically significant differences between the means of the environmental factors of the months and sampling sites, Tukey's post hoc test was applied (Sokal & Rohlf, 1995). A generalized linear model (GLM) was used to determine the relationships between the abundance of caridean species in the postlarva stage with respect to sites, months, and environmental factors. A Poisson logarithmic linear (per counts) model was used, considering each species' abundance as dependent variable, the months and sampling sites as fixed factors and the environmental factors were considered as independent variables. A type III analysis was performed, and the chi-square statistic was obtained using the Wald model. Previously, the values of the environmental factors were transformed to arcsine and the abundance values of the species to log(n+1) (Zuur *et al.*, 2007). The GLS and GLM analyses were performed using SPSS Statistics 25 software of IBM corporation.

## RESULTS

### Environmental parameters

The concentration of dissolved oxygen had a range of 3.65 ± 0.65 mg L<sup>-1</sup> in November to 6.65 ± 0.04 mg L<sup>-1</sup> in May (Table 1). The GLS test showed a statistically significant relationship between the dissolved oxygen and the sampling months ( $r = 0.74$ ;  $P < 0.001$ ; Table 2). Statistically significant differences were not found between the dissolved oxygen concentrations of the sampling sites ( $P < 0.05$ ). However, statistically significant differences were found between the sampling months ( $P < 0.05$ ). After applying Tukey's post hoc test, only significant differences between May and September were found ( $P < 0.05$ ).

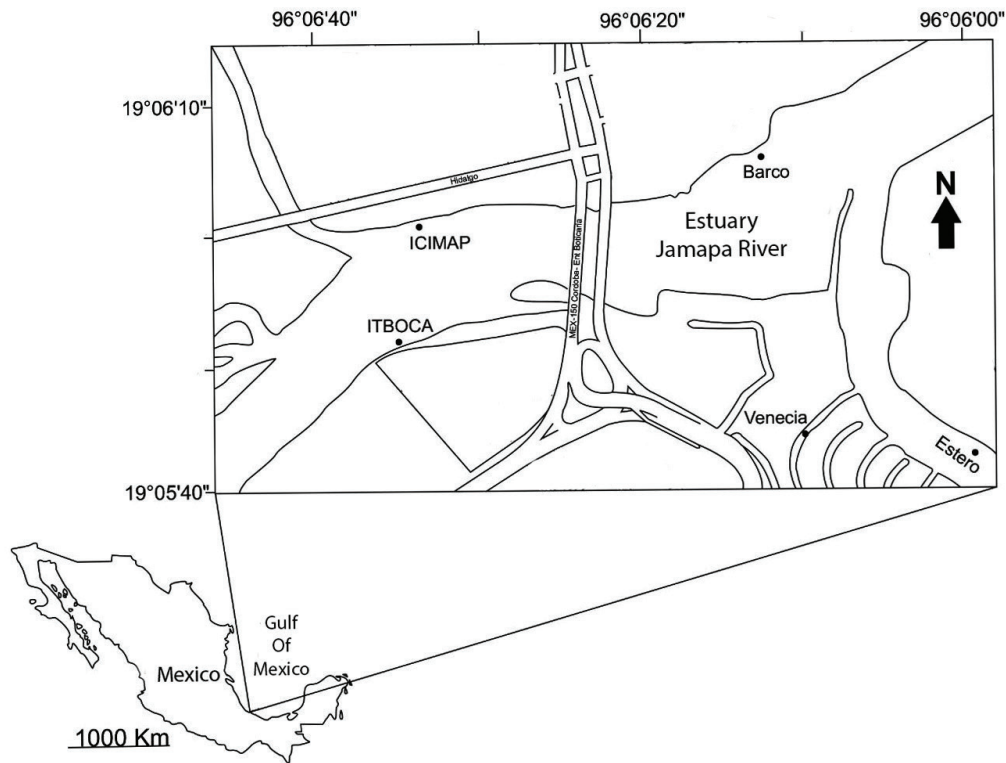


Figure 1. Locations of sampling sites in the estuary of the Río Jamapa, Boca del Río, Veracruz, México. ITBOCA: Instituto Tecnológico de Boca del Río; ICIMAP: Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana.

The temperature ranged from  $21.66 \pm 0.04^\circ\text{C}$  in January to  $31.64 \pm 0.11^\circ\text{C}$  in May (Table 1). The test GLS showed that there was a positive significant relationship between the temperature with the sites and months of sampling ( $r = 0.73$ ;  $P < 0.05$ ) (Table 2). Significant differences were observed among the sampling months ( $P < 0.001$ ) (Table 2). When applying Tukey's test, statistically significant differences between May and January, March and Nov, and January and September were found ( $P < 0.05$ ).

Salinity ranged from  $0.97 \pm 0.06$  in September to  $35.65 \pm 0.01$  in May (Table 1). Salinity showed a high correlation with the sites and sampling months ( $r = 0.91$ ;  $P < 0.001$ ) (Table 2). Significant differences were found between sites and between months ( $P < 0.001$ ). After applying Tukey's post hoc test, significant statistical differences were found between the ITBOCA, ICIMAP, and Barco sites and the Estero and Venecia sampling sites ( $P < 0.05$ ). With respect to months, May differed from the other five sampling months. January was significantly different from September ( $P < 0.05$ ).

The pH ranged from  $7.03 \pm 0.46$  in November to  $7.85 \pm 0.06$  in January (Table 1). The GLS test showed a significant positive relationship between pH and the sites and months of sampling ( $r = 0.79$ ;  $P < 0.001$ ). Significant differences were found only between the months sampled ( $P < 0.001$ ) (Table 2). Tukey's test showed that there were only significant differences between January and September ( $P < 0.05$ ).

The range of total dissolved solids was  $10.95 \pm 1.05$  ppm in May and  $5,842 \pm 856$  ppm in March (Table 1). The relationship between total dissolved solids and the sites and months of sampling was positive ( $r = 0.62$ ) and significant ( $P < 0.05$ ). Only the sites presented significant differences ( $P < 0.05$ ) (Table 2). Tukey's test only showed significant differences between the ICIMAP and Venecia sites ( $P < 0.05$ ).

#### Abundance and specific richness

In total, 8,649 caridean postlarvae were collected, of which 257 belonged to *Macrobrachium acanthurus* (Weigmann, 1836), 1,016 belonged to *Macrobrachium olfersii* (Weigmann, 1836), and 7,376 belonged to *Potimirim mexicana* (De Saussure, 1857). The greatest abundance of *M. acanthurus*, *M. olfersii*, and *P. mexicana* was found at the ITBOCA site with 6,627 postlarvae, and the lowest abundance was found at Venecia with 361 postlarvae. According to the collection months, the highest abundance of the three species was found in September with 5,030 postlarvae, and the lowest abundance was found in March with only 40 postlarvae (Table 3).

When the GLM analysis was applied to the abundance of postlarvae of *P. mexicana*, it was observed that the variation was related to the five environmental factors ( $P < 0.05$ ). The abundance of *M. acanthurus* postlarvae was related to the dissolved oxygen and total dissolved solids ( $P < 0.05$ ). The abundance of *M. olfersii* postlarvae was related to dissolved oxygen, temperature, total dissolved solids, and salinity ( $P < 0.05$ ; Table 4).

## DISCUSSION

In the study area, dissolved oxygen values have been reported to range from 5.63 mg L<sup>-1</sup> in the dry season to 5.55 mg L<sup>-1</sup> in the cold front season and 5.35 mg L<sup>-1</sup> in the rainy season (Castañeda-Chávez *et al.*, 2017). These values are consistent with the dissolved oxygen values found in this study. In September, November, and January (i.e., the end of the rainy season and the cold front season), the concentration of dissolved oxygen decreased. This may be because this area has been classified as an urban estuary, so there are discharges of wastewater to

the river (Castañeda-Chávez *et al.*, 2017; Salas-Monreal *et al.*, 2020). Furthermore, the high quantity of organic matter transported in the rainy season by the river's own water may decrease the concentration of dissolved oxygen. The dissolved oxygen concentration enables the species of *Macrobrachium* to be present in the estuary. In this regard, Urbano *et al.* (2010) mentioned that values around 5.30 ± 2.15 mg L<sup>-1</sup> are within the normal range for the cultivation of postlarvae of most river prawn species. Likewise, Mires (1983) pointed out that the dissolved oxygen concentration suitable for the survival of shrimp postlarvae of the species *M. rosenbergii* (De Man, 1879) is 2.5–8.4 mg L<sup>-1</sup>.

Table 1. Environmental factors of the Jamapa River estuary, Boca del Río, Veracruz. ITBOCA: Instituto Tecnológico de Boca del Río; ICIMAP: Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana; SD, standard deviation. DO: Dissolved oxygen, Sal: salinity, Temp: temperature, Tds: total dissolved solids.

| Month     | Sampling site | DO (mgL <sup>-1</sup> ) | pH          | Temp (°C)    | Sal (PSU)     | Tds (ppm)    |
|-----------|---------------|-------------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| September | ITBOCA        | 5.28 ± 0.06             | 7.18 ± 0.01 | 28.47 ± 0.65 | 0.97 ± 0.06   | 890 ± 50     |
|           | ICIMAP        | 3.88 ± 0.96             | 7.29 ± 0.09 | 30.05 ± 1.02 | 1.07 ± 0.23   | 904 ± 31     |
|           | Barco         | 4.02 ± 0.02             | 7.18 ± 0.04 | 29.51 ± 0.58 | 2.7 ± 0.75    | 1874 ± 106   |
|           | Venecia       | 4.85 ± 0.22             | 7.13 ± 0.01 | 29.48 ± 0.66 | 8.31 ± 0.93   | 258 ± 44     |
|           | Estero        | 4.20 ± 0.14             | 7.19 ± 0.06 | 20.11 ± 0.17 | 14.29 ± 1.46  | 1054 ± 78    |
|           | Average ± SD  | 4.44 ± 0.06             | 7.19 ± 0.06 | 27.52 ± 4.18 | 5.47 ± 5.77   | 996 ± 578    |
| November  | ITBOCA        | 5.38 ± 0.26             | 7.75 ± 0.26 | 22.64 ± 0.66 | 6.16 ± 0.52   | 4688 ± 1648  |
|           | ICIMAP        | 3.99 ± 0.46             | 7.03 ± 0.46 | 24.32 ± 0.54 | 6.09 ± 1.13   | 4493 ± 363   |
|           | Barco         | 3.65 ± 0.65             | 7.16 ± 0.65 | 27.64 ± 0.11 | 5.22 ± 0.59   | 4226 ± 147   |
|           | Venecia       | 4.92 ± 0.1              | 7.50 ± 0.1  | 26.09 ± 0.37 | 22.04 ± 0.46  | 18.13 ± 1.18 |
|           | Estero        | 4.96 ± 0.0              | 7.2 ± 0.07  | 26.45 ± 0.87 | 22.39 ± 1.12  | 18.16 ± 1.34 |
|           | Average ± SD  | 4.58 ± 0.72             | 7.33 ± 0.29 | 25.48 ± 1.97 | 12.38 ± 8.99  | 2689 ± 2244  |
| January   | ITBOCA        | 6.01 ± 0.01             | 7.44 ± 0.01 | 23.08 ± 0.78 | 7.04 ± 1.20   | 5006 ± 626   |
|           | ICIMAP        | 5.11 ± 0.15             | 7.65 ± 0.03 | 21.66 ± 0.04 | 7.46 ± 1.65   | 5091 ± 617   |
|           | Barco         | 4.11 ± 0.14             | 7.34 ± 0.02 | 22.6 ± 0.07  | 12.89 ± 0.95  | 10.95 ± 1.05 |
|           | Venecia       | 4.31 ± 0.08             | 7.85 ± 0.06 | 22.13 ± 0.71 | 34.03 ± 0.99  | 25.97 ± 0.47 |
|           | Estero        | 4.75 ± 0.21             | 7.34 ± 0.02 | 22.38 ± 0.87 | 33.65 ± 0.36  | 25.53 ± 0.24 |
|           | Average ± SD  | 4.85 ± 0.75             | 7.52 ± 0.22 | 22.37 ± 0.53 | 19.01 ± 13.73 | 2032 ± 2754  |
| March     | ITBOCA        | 6.11 ± 0.14             | 7.16 ± 0.01 | 24.61 ± 0.57 | 6.14 ± 0.26   | 4913 ± 490   |
|           | ICIMAP        | 5.44 ± 0.32             | 7.24 ± 0.04 | 24.42 ± 0.21 | 8.02 ± 0.86   | 5842 ± 856   |
|           | Barco         | 5.15 ± 0.05             | 7.18 ± 0.01 | 24.81 ± 0.28 | 17.99 ± 2.33  | 14.36 ± 1.42 |
|           | Venecia       | 5.07 ± 0.06             | 7.19 ± 0.02 | 22.97 ± 0.51 | 33.93 ± 0.81  | 27.96 ± 2.37 |
|           | Estero        | 6.19 ± 0.03             | 7.21 ± 0.04 | 22.66 ± 0.14 | 34.99 ± 0.43  | 27.86 ± 1.6  |
|           | Average ± SD  | 5.59 ± 0.53             | 7.2 ± 0.03  | 23.89 ± 0.99 | 20.21 ± 13.77 | 2165 ± 2950  |
| May       | ITBOCA        | 4.87 ± 0.21             | 7.62 ± 0.10 | 31.64 ± 0.11 | 33.37 ± 0.27  | 26.04 ± 0.83 |
|           | ICIMAP        | 6.65 ± 0.04             | 7.34 ± 0.01 | 30.45 ± 0.17 | 33.84 ± 0.22  | 26.89 ± 0.18 |
|           | Barco         | 6.06 ± 0.04             | 7.53 ± 0.04 | 28.91 ± 0.16 | 35.65 ± 0.01  | 27.57 ± 0.76 |
|           | Venecia       | 5.7 ± 0.37              | 7.56 ± 0.37 | 28.81 ± 0.32 | 35.39 ± 0.54  | 26.89 ± 0.18 |
|           | Estero        | 5.43 ± 0.27             | 7.44 ± 0.27 | 28.92 ± 0.23 | 35.57 ± 0.04  | 27.13 ± 0.28 |
|           | Average ± SD  | 5.74 ± 0.67             | 7.49 ± 0.11 | 29.74 ± 1.26 | 34.76 ± 1.08  | 26.9 ± 0.56  |

Table 2. Generalized least squares model (GLS) for environmental factors registered in the inlet of the River Jamapa, Boca del Río, Veracruz during 2018 and 2019. df: degrees of freedom, Do: Dissolved oxygen, F: statistic in ANOVA (analysis of variance), Temp: temperature, Tds: total dissolved solids, P: probability level.

| Origin                      | df | Do     |        | pH       |        | Temp °C |        | Tds   |        | Sal    |        |
|-----------------------------|----|--------|--------|----------|--------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|
|                             |    | F      | P      | F        | P      | F       | P      | F     | P      | F      | P      |
| Corrected model             | 8  | 5.79   | 0.001  | 7.44     | <0.001 | 5.39    | 0.002  | 3.19  | 0.023  | 18.74  | <0.001 |
| Intersection                | 1  | 360.44 | <0.001 | 11810.17 | <0.001 | 3172.72 | <0.001 | 23.01 | <0.001 | 286.41 | <0.001 |
| Site                        | 4  | 1.98   | 0.15   | 3.27     | 0.04   | 1.66    | 0.21   | 4.31  | 0.015  | 14.17  | <.0001 |
| Month                       | 4  | 9.62   | <0.001 | 11.6     | <0.001 | 9.13    | <0.001 | 2.09  | 0.13   | 23.29  | <0.001 |
| Error                       | 16 |        |        |          |        |         |        |       |        |        |        |
| Total                       | 25 |        |        |          |        |         |        |       |        |        |        |
| Correlation coefficient (r) |    | 0.74   |        | 0.79     |        | 0.73    |        | 0.62  |        | 0.91   |        |

In this region of the Gulf of Mexico, in the cold front season, Jasso-Montoya (2012), Avendaño-Álvarez (2013), Contreras-Espinoza (2016), and Castañeda-Chávez *et al.* (2017) reported that the temperature decreases to between 23°C and 24°C. In the study zone, Cházaro-Olvera *et al.* (2022) registered a temperature of 25.11°C ± 0.12 °C in ITBOCA in the cold front season, while Contreras-Espinoza (2016) mentioned that the Jamapa River temperature was 25°C in the cold front season and 29.4°C in the rainy season. Therefore, the temperature values in the Jamapa River estuary are consistent with the behavior of the region's climatic seasons (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2006). We consider it important to use the Mexican regulations (NOM-001-SEMARNAT-2021) to compare the values obtained in this study. The temperature registered in this work does not exceed the maximum permissible limit of 35°C defined by the official Mexican standard. Existing research shows that the growth of the different stages of development of *M. americanum* (Spence Bate 1868) is optimal at a temperature of 26–29°C (López-Uriostegui *et al.*, 2020). Cházaro-Olvera *et al.* (2022) recollected postlarvae of *M. acanthurus* and *M. olfersii* in these temperature values.

In the Jamapa River estuary, a range of salinity values have been recorded from 2 psu in the rainy season to 21 psu in the dry season

(Aké-Castillo *et al.*, 2016; González-Vázquez *et al.*, 2019). In the present work, a wide variation of salinity was also observed. Some river prawn species, such as *M. americanum*, develop adequately between 3 and 15 psu (Chung, 2001; López-Uriostegui *et al.*, 2020). This implies that the *Macrobrachium* river prawns require brackish water in their postlarvae development, while juveniles and adults prefer low-salinity water or freshwater (Graziani *et al.*, 1995).

Lorán-Nuñez (2013) reported an abundance of 69–120 *M. acanthurus* postlarvae and juveniles in the lower basin of the Papaloapan River. This range is similar to the abundance identified in the present study in the estuary of the Jamapa River, where the abundance was 18–164 in the months of capture. The highest abundance was found in September (i.e., the rainy season) at the ITBOCA sampling site, which was characterized by the presence of *Thypha domingensis* Persoon 1807 vegetation. This finding is consistent with what was reported by Lorán-Nuñez (2013), who found the highest values of abundance in the rainy season. It is important to mention that in a study carried out at another latitude on the banks of the Iguape River in São Paulo, Brazil, the abundance of *M. olfersii* was 23,818 postlarvae, juveniles and adults (Ribeiro *et al.*, 2020).

Table 3. Carideans of the Jamapa River estuary. Abundances of five places and five months.

| Species/Community Factor                         | Site      |          |         |         |        |       |
|--|-----------|----------|---------|---------|--------|-------|
|  | ITBOCA    | ICIMAP   | Barco   | Venecia | Estero | Total |
| <i>Macrobrachium acanthurus</i> (Weigmann, 1836) | 223       | 23       | 0       | 0       | 11     | 257   |
| <i>Macrobrachium olfersii</i> (Weigmann, 1836)   | 658       | 181      | 62      | 50      | 65     | 1016  |
| <i>Potimirim mexicana</i> (De Saussure, 1857)    | 5746      | 188      | 805     | 311     | 326    | 7376  |
| Total  | 6627      | 392      | 867     | 361     | 402    | 8649  |
| Species/Community Factor                         | Month     |          |         |         |        |       |
|  | September | November | January | March   | May    | Total |
| <i>Macrobrachium acanthurus</i> (Weigmann, 1836) | 164       | 34       | 20      | 18      | 21     | 257   |
| <i>Macrobrachium olfersii</i> (Weigmann, 1836)   | 609       | 122      | 98      | 10      | 177    | 1016  |
| <i>Potimirim mexicana</i> (De Saussure, 1857)    | 4257      | 533      | 2436    | 12      | 138    | 7376  |
| Total  | 5030      | 689      | 2554    | 40      | 336    | 8649  |

In the Jamapa River basin, pH values ranging from 6 to 9 have been recorded (Houbron, 2010; SEMARNAT, 2002). The pH values recorded in this study were neutral to slightly alkaline and were among the values established by the official Mexican standard (NOM-127-SSA1-1994). In the Jamapa River estuary, the pH values provide a buffer effect to the water, avoiding acidification (Bates, 1973). Pretto (1988) found that for good development of postlarvae and juveniles of *M. rosenbergii* shrimp, pH must range between 7 and 9.

The total dissolved solids were highest in the cold front and rainy seasons. Cházaro-Olvera *et al.* (2022) also found high values of total dissolved solids (732–1,443 ppm) in the cold front season. In the Jamapa River estuary, total dissolved solids in some months and sites exceeded the maximum permissible limit of 1,000 ppm, which was established by the official Mexican standard (NOM-001-SEMARNAT-2021 and NOM-127-SSA1-1994 for drinking water). These concentrations of dissolved solids are due to the transport from the lower basin of the Jamapa River to the estuary (Aragón-López *et al.*, 2017), which can affect the respiration process of carideans.

When analyzing the abundance of caridean postlarvae in this study, *P. mexicana* was the most abundant species. This finding is consistent with what was reported in the lower basin of the Papaloapan River by Miranda-Vidal *et al.* (2016), who collected 4,587 crustaceans, with *P. mexicana* being the dominant species at 34% in the dry season; *Macrobrachium* sp. and *P. mexicana* represented 59% and 30% of the abundance, respectively, and were the dominant taxa in the rainy season.

Specific richness is closely related to the dynamics of salinity in estuaries. For example, Barba *et al.* (2005) reported nine species of

carideans in Laguna Madre, Tamaulipas, where two of them were associated with submerged vegetation or littoral vegetation. On the other hand, the authors reported 11 species of carideans in Laguna de Terminos, Campeche, where five species were associated with submerged vegetation. In each of the lagoons the authors found at least one dominant species in the taxocene, which is consistent with the present study where the postlarvae of *P. mexicana* were dominant. In the Papaloapan River, Miranda-Vidal *et al.* (2016) also found that *P. mexicana* in the dry season and *Macrobrachium* sp. in the rainy season, respectively, were the dominant species.

In conclusion, the values of the environmental factors were related with the sites and months of sampling. The abundance values for *P. mexicana*, *M. acanthurus*, and *M. offersii* were within the interval of the values obtained by other authors. The abundances of *P. mexicana* and *M. offersii* were within the values reported in other studies. However, the abundance of *M. acanthurus* was relatively low, which may be related to the high values of total dissolved solids or overfishing. Finally, the highest density of caridean postlarvae occurred in the rainy season in sites with *T. domingensis* vegetation.

## ACKNOWLEDGMENTS

We appreciate the support received from the Boca del Río Veracruz Technological Institute for this study. We thank the reviewers for the work done and the time dedicated to reviewing this study.

## Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest.

Table 4. Relationship with GLM of abundance with respect to months, places and environmental factors. B, regression coefficient; Wald's  $\chi^2$  to determine if the explanatory variable of the model is significant; \* significant relationship.

| Source                             | <i>M. acanthurus</i> |               |          | <i>M. offersii</i> |               |          | <i>P. mexicana</i> |               |          |
|------------------------------------|----------------------|---------------|----------|--------------------|---------------|----------|--------------------|---------------|----------|
|                                    | B                    | $\chi^2$ Wald | p        | B                  | $\chi^2$ Wald | p        | B                  | $\chi^2$ Wald | p        |
| Intersection                       | 7.97                 | 395.96        | < 0.001* | 3,35               | 8.64          | 0.003*   | 6.17               | 53.05         | < 0.001* |
| Barco                              | 2.99                 | 221.21        | < 0.001* | -2,50              | 18.24         | < 0.001* | 1.69               | 21.42         | < 0.001* |
| Estero                             | -1.28                | 14.67         | < 0.001* | -1,89              | 7.97          | 0.005*   | 0.66               | 2.37          | 0.24     |
| ICIMAP                             | 9.34                 | 583.01        | < 0.001* | -0,09              | 0.01          | 0.909    | 9.91               | 312.92        | < 0.001* |
| ITBOCA                             | 1.75                 | 141.34        | < 0.001* | -0,81              | 5.51          | 0.019*   | 1.95               | 51.88         | < 0.001* |
| Venecia                            | 0 <sup>a</sup>       |               |          | 0 <sup>a</sup>     |               |          | 0 <sup>a</sup>     |               |          |
| Enero                              | 2.29                 | 460.60        | < 0.001* | -0,47              | 1.07          | 0.300    | 1.23               | 45.95         | < 0.001* |
| March                              | 8.94                 | 783.37        | < 0.001* | 2,71               | 32.18         | < 0.001* | 5.88               | 194.10        | < 0.001* |
| May                                | 2.54                 | 314.07        | < 0.001* | 1,61               | 18.01         | < 0.001* | 2.19               | 71.54         | < 0.001* |
| November                           | 4.96                 | 1068.88       | < 0.001* | 2,01               | 26.05         | < 0.001* | 3.27               | 154.83        | < 0.001* |
| September                          | 0 <sup>a</sup>       |               |          | 0 <sup>a</sup>     |               |          | 0 <sup>a</sup>     |               |          |
| Dissolved Oxygen mgL <sup>-1</sup> | 0.002                | 54.27         | < 0.001* | 0,002              | 7.78          | 0.005*   | 0.002              | 15.01         | < 0.001* |
| Ph                                 | 0.001                | 9.15          | 0.002*   | 0,001              | 0.21          | 0.654    | 0.001              | 0.69          | 0.405    |
| Temperature °C                     | -0.002               | 211.96        | < 0.001* | 0,001              | 0.75          | 0.386    | -0.001             | 94.20         | < 0.001* |
| Total dissolved solids ppm         | -0.001               | 1543.34       | < 0.001* | 0,001              | 48.75         | < 0.001* | -0.001             | 297.61        | < 0.001* |
| Salinity psu                       | -0.004               | 751.45        | < 0.001* | 0,001              | 3.52          | 0.061    | -0.003             | 351.28        | < 0.001* |

a. zero because this parameter is redundant.

## REFERENCES

- AKÉ-CASTILLO, J. A., C. F. RODRÍGUEZ-GÓMEZ, H. PERALES-VALDIVIA & R. SANAY-GONZÁLEZ. 2016. Florecimiento de *Heterocapsa rotundata* (Dinophyta) en el estuario río Jamapa, Veracruz: 323-333. In: García-Mendoza E, Quijano-Scheggia SI, Olivos-Ortiz A, Núñez-Vázquez EJ (eds.). Florecimientos Algales Nocivos en México. Ensenada, México. CICESE 438 p.
- ALONSO-REYES, P., BORTOLINI-ROSALES, J. L. AND ÁLVAREZ, F. (2010). Análisis discriminante aplicado a los grupos sexuales de *Potimirim mexicana*, camarón hermafrodita protándrico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81, 187–192.
- ÁLVAREZ, F., J.L. VILLALOBOS & S. CHÁZARO-OLVERA. 2011. Camarones y cangrejos dulceacuícolas y marinos (Crustacea: Decapoda) A. Cruz-Angón (Ed.), La biodiversidad en Veracruz, estudio de estado, CONABIO, México D. F.: 287-294.
- Anger, K. (2013). Neotropical Macrobrachium (Caridea: Palaemonidae): on the biology, origin, and radiation of freshwater-invading shrimp. *Journal of Crustacean Biology* 33(2), 151–183. doi.org/10.1163/1937240x-00002124
- ARAGÓN-LÓPEZ, P., M. R. CASTAÑEDA-CHÁVEZ, A. GRANADOS-BARBA, D. SALAS-MONREAL & C. LANDEROS-SÁNCHEZ. 2017. Lindane and Endosulfan Sulfate Isomers in *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) Oyster Populations in Lagoon Systems from Central Gulf of Mexico. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology* 2 (4): 1579-1585. DOI: 10.22161/ijeab/2.4.17
- AVENDAÑO-ÁLVAREZ, J. O. 2013. Variación hidrológica intermensual del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 97 p.
- BARBA, E., A. RAZ-GUZMAN & A. J. SÁNCHEZ. 2005. Distribution patterns of estuarine caridean shrimps in the southwestern Gulf of Mexico. *Crustaceana* 78: 709-726. DOI: 10.1163/156854005774353502
- BATES, R. G. 1973. Determination of pH: theory and practice. John Wiley & Sons, New York. 479 p.
- CASTAÑEDA-CHÁVEZ, M. R., A. C. SOSA-VILLALOBOS, I. A. AMARO-ESPEJO, I. GALAVIZ-VILLA & F. LANGO-REYNOSO. 2017. Eutrophication in the lower coastal basin of the Jamapa River in Veracruz, Mexico. *International Journal Resesarch Granthaalayah* 5 (12): 206-216. DOI: 10.29121/granthaalayah.v5.i12.2017.495
- CHÁZARO-OLVERA, S. 1996. Descripción de megalopas de las especies *Callinectes sapidus* Rathbun, *C. similis* William, *C. gracilis* (Sausuure) de la boca de la Laguna Camaronera, Alvarado, Ver. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 113 p.
- CHÁZARO-OLVERA, S., A. ROCHA-RAMÍREZ, A. RAMÍREZ-ROJAS, H. VÁZQUEZ-LÓPEZ, R. CHÁVEZ-LÓPEZ. 2007a. Recruitment of *Callinectes sapidus* Rathbun 1896 megalopae from three southwestern Gulf of Mexico lagoon-system inlets. *International Journal Zoological Research* 3 (3): 145-156. DOI: 10.3923/ijzr.2007.145.156
- CHÁZARO-OLVERA, S., A. ROCHA-RAMÍREZ & P. ARELLANO-RODARTE. 2007b. Transport of *Pachygrapsus gracilis* (de Saussure, 1858) megalopae from a lagoon system inlet in the southwestern Gulf of Mexico. *Crustaceana* 80 (8) :955-968. DOI: 10.1163/156854007781681337
- CHÁZARO-OLVERA, S., I. WINFIELD & V. CORIA-OLVERA. 2009. Transport of *Fantepenaeus aztecus* postlarvae in three lagoon-system inlets in the southwestern Gulf of Mexico. *Crustaceana* 82 (4): 425-437. DOI:10.1163/156854008X400612
- CHÁZARO-OLVERA, S., R. ROBLES, J. MONTOYA-MENDOZA & J. A. HERRERA-LÓPEZ. 2018. Intraspecific variation in megalopae of *Clibanarius antillensis* (Anomura, Diogenidae) among western Atlantic populations. *Nauplius* 26: e2018031. DOI: 10.1590/2358-2936e2018031
- CHÁZARO-OLVERA, S., A. ARIAS-MARTÍNEZ, J. MONTOYA-MENDOZA, Á. MORÁN-SILVA, R. CHÁVEZ-LÓPEZ, H. VÁZQUEZ-LÓPEZ, & A. DEL C. RODRÍGUEZ-VARELA. 2021. Larvae and macro-crustaceans along the coastline of the Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, SW Gulf of Mexico. *Nauplius* 29. DOI: 10.1590/2358-2936e2021047
- CHÁZARO-OLVERA, S., MONTOYA-MENDOZA, J., CASTAÑEDA-CHÁVEZ, M. DEL R., LANGO-REYNOSO, F., & CHAPARRO-MEDINA, V. 2022. Acute toxicity of the herbicide karmex (diuron) in *Macrobrachium acanthurus* and *M. olfersii* prawns. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 38: 381–390. DOI: 10.20937/rica.5461
- CHUNG, K. S. 2001. Adaptabilidad ecofisiológica de organismos acuáticos tropicales a cambios de salinidad. *Revista de Biología Tropical* 49 (1): 9-13.
- CONTRERAS-ESPIÑOZA M. 2016. Variación espaciotemporal de la estructura comunitaria del zooplancton y su relación con las variables hidrográficas en la desembocadura del río Jamapa, Veracruz, en dos temporadas climáticas (nortes y lluvias). Tesis Maestría en Ecología y Pesquerías, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 90 p.
- RIBEIRO, C.C., LOPES, V.H., AND BERTINI, G. 2020. Abundance and spatio-temporal distribution of the amphidromous shrimp *Macrobrachium olfersii* (Caridea: Palaemonidae) along the Ribeira de Iguape River (São Paulo, Brazil). *Nauplius* 28: e2020017. DOI: 10.1590/2358-2936e2020017
- DE GRAVE, S., CAI, Y., AND ANKER, ARTHUR. 2008. "Global diversity of shrimps (Crustacea: Decapoda: Caridea) in freshwater." *Hydrobiologia*, 287–293. 595. DOI: 10.1007/s10750-007-9024-2
- FUENTES-MARILES, O. A., V. FRANCO, F. LUNA-CRUZ, L. VÉLEZ-MORALES & H. L. MORALES-RODRÍGUEZ. 2014. Caracterización fluvial e hidráulica de las inundaciones en México convenio CNA-SGT-GASIR-09/2014 organismo de cuenca X Golfo centro ciudad de Veracruz, Veracruz ríos Jamapa y Cotaxtla. Comisión Nacional del Agua e Instituto de Ingeniería, UNAM. Mexico. 83 p.
- GONZÁLEZ-VÁZQUEZ, J. A., E. HERNÁNDEZ-VIVAR, C. ROJAS-SERNA & J. DEL VALLE-MORALES 2019. Diagnosis of water circulation in an estuary: A case study of the Jamapa River and the Mandinga lagoons, Veracruz, Mexico. *Ciencias Marinas* 45 (1): 1-16. DOI:10.7773/cm.v45i1.2923
- GUERAO, G. 1995. Locomotor activity patterns and feeding habits in the prawn *Palaemon xiphias* (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) in Alfacs Bay, Ebro Delta (northwest Mediterranean). *Marine Biology* 122(1):115-119.



- GRAZIANI, C. A., M. DE DONATO, K. S. CHUNG. 1995. Salinidades óptimas en larvas y postlarvas de *Macrobrachium carcinus* (L.) (Decapoda: Palaemonidae). *Boletín del Instituto de Oceanografía de Venezuela* 34: 33-40.
- HERNÁNDEZ-VERGARA, M. P. & S. JIMÉNEZ-ROJO. 2008. Desarrollo larval y supervivencia de *Atya scabra* (Crustacea: Decapoda: Atyidae), a diferentes salinidades de cultivo. *Ciencia Pesquera* 16:15-22.
- HOLTHUIS, L. B. 1954. On a collection of Decapod Crustacea from the Republic of El Salvador (Central America). *Zoologische Verhandelingen* 23 (1): 1-43.
- HOUBRON, E. 2010. Calidad del agua. In: Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz; Enrique Florescano, Juan Ortíz Escamilla, coordinadores. México: Gobierno del Estado de Veracruz: Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana: *Universidad Veracruzana* 1:147-159.
- JASSO-MONTOYA, J. 2012. Variación de los parámetros oceanográficos alrededor del Arrecife Verde en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Golfo de México Occidental). Tesis de Maestría en ciencias, Universidad Veracruzana, Boca del Río, Veracruz, México. 71 p.
- LIAÑO-CARRERA, F., T. CAMARENA-LUHR, A. GÓMEZ-BARRERO, F. J. MARTOS-FERNÁNDEZ, J. I. RAMÍREZ-MACÍAS, D. SALAS-MONREAL. 2019. New coral reef structures in a tropical coral reef system. *Latin american journal of aquatic research* 47 (2): 270-281. DOI: 10.3856/vol47-issue2-fulltext-7
- LÓPEZ-URIOSTEGUI, F., J. T. PONCE-PALAFOX, F. LANGO-REYNOSO, M. R. CASTAÑEDA-CHÁVEZ, I. GALAVIZ-VILLA, S. CASTILLO-VARGASMACHUCA & A. RUIZ-LUNA. 2020. A Response-Surface Analysis of Temperature Salinity on Growth and Survival of the Caridean Shrimp, *Macrobrachium americanum* (Bate, 1868). *Pakistan Journal of Zoology* 52 (5): 1903-1909 DOI: 10.17582/journal.pjz/20180523170525
- LORÁN-NÚÑEZ, R. M. 2013. Aspectos poblacionales del langostino *Macrobrachium acanthurus* (Wiegmann, 1836) en algunos lugares de la cuenca baja del río Papaloapan, Veracruz, México. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 71 p.
- MIRANDA-VIDAL, J. F., E. BARBA-MACÍAS, C. TRINIDAD-OCAÑA, J. JUÁREZ-FLORES. 2016. Diversidad de crustáceos en la cuenca baja del río Papaloapan, Veracruz, México. *Hidrobiológica* 26 (3): 475-482.
- MIRES, D. 1983. The development of freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) culture in Israel. *Bamidgeh* 3 (35): 63-72.
- NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". 1994. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html> Reviewed: Jan 2, 2024.
- NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Available online at: [[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0)]. (download January 2, 2024).
- PRETTO, M. R. 1988. *Manual del cultivo del camarón de río gigante de Malasia. Dirección Nacional de acuicultura rural*. CEDIA. Santiago de Varaguas. Panamá 122 p.
- SALAS-MONREAL, D., M. L. RIVERON-ENZASTIGA, J. J. SALAS-PÉREZ, R. BERNAL-RAMÍREZ, M. MARÍN-HERNÁNDEZ & A. GRANADOS-BARBA. 2019. Bathymetric flow rectification in a tropical micro-tidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 235, 106562 DOI: 10.1016/j.ecss.2019.106562
- SALAS-MONREAL, D., V. DÍAZ-HERNÁNDEZ, J. A. ÁKE-CASTILLO, A. GRANADOS-BARBA & M. L. RIVERÓN-ENZASTIGA. 2020. Variación anual de los parámetros hidrográficos en la confluencia del río Jamapa y arroyo Moreno (México). *Intropica* 15 (1):59-65. DOI: 10.21676/23897864.3402
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). 2002. Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. Calidad del agua del Río Jamapa 1 conforme a parámetros físicos, Cuadro III.2.2.16 químicos y biológicos, 1990-2001. Estación de medición: El Tejar, Veracruz (96°10'13»long. O; 19°03'29»lat. N). Available online at: [[http://www.paot.org.mx/centro/inesemarnat/informe02/estadisticas\\_2000/compendio\\_2000/03dim\\_ambiental/03\\_02\\_Agua/data\\_agua/CuadroIII.2.2.16.htm](http://www.paot.org.mx/centro/inesemarnat/informe02/estadisticas_2000/compendio_2000/03dim_ambiental/03_02_Agua/data_agua/CuadroIII.2.2.16.htm)]. (downloaded February 17, 2024).
- SOKAL, R. R. & F. J. ROLF. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman, New York. 778 p.
- URBANO, T. A., A. L. SILVA-MEDINA, C. MORENO, M. GUEVARA & C. GRAZIANI. 2010. Crecimiento del camarón de agua dulce *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877), en lagunas de cultivo. *Zootecnia Tropical* 28 (2): 163-171.
- WILLIAMS, A. B. 1984. *Shrimps, lobsters and crabs of the Atlantic coast of the eastern United States, Maine to Florida*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. 550 p.
- WoRMS. EDITORIAL BOARD. 2024. World register of marine species. Caridea. Available online at: <http://marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=106674> (downloaded on February 09 2023)
- ZAVALA-HIDALGO, J., SALMERÓN, O., AGUILAR, V., CERDEIRA, S. & M. KOLB. 2006. Caracterización y regionalización de los procesos oceanográficos de los mares mexicanos. CONABIO, Ciudad de México. Available online at: [[http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos\\_oceanogr%C3%A1ficos](http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos_oceanogr%C3%A1ficos)]. (downloaded on January 2, 2024).
- ZUUR, A. F., E. N. IENO & G. M. SMITH. 2007. *Analysing ecological data*. Springer, New York, London 370 p.

## El ambiente como factor que estructura la comunidad de peces del sistema fluvio-lagunar Pom-Atasta, Campeche, México

## The environment as a factor that structures the fish community of the Pom-Atasta fluvial-lagoon system, Campeche, Mexico

Mariela Gazca-Castro<sup>1</sup>, Arturo Aguirre-León<sup>2\*</sup>, Silvia Díaz-Ruiz<sup>1</sup> y Sergio Álvarez-Hernández<sup>3</sup>

Recibido: 10 de abril de 2024.

Aceptado: 10 de julio de 2024.

Publicado: diciembre de 2024.

### RESUMEN

**Antecedentes.** El sistema Pom-Atasta asociado a la Laguna de Términos tiene importancia científica, social y económica. Numerosas especies dependen de él para realizar sus ciclos biológicos. **Objetivos.** Analizar la dinámica ecológica de la comunidad de peces con relación a la variación ambiental del sistema. **Métodos.** De 2005 a 2014 se realizaron 140 recolectas de peces en 10 sitios del sistema, se registraron parámetros fisicoquímicos. Se utilizó Análisis de Componentes Principales (ACP) para definir ambientes. El esfuerzo de muestreo se validó utilizando estimadores no-paramétricos. Fueron estimados índices de diversidad e indicadores de abundancia de la comunidad. Se realizó Análisis de Escalamiento Multidimensional no-Métrico (NMDS) para determinar relaciones especies-ambientes. **Resultados.** El ACP determinó tres ambientes, mesohalino, oligohalino y dulceacuícola. Se identificaron 59 especies de peces. Las pruebas no-paramétricas promediaron 74 especies para el sistema. La variación espacial de diversidad ( $H' = 1.56 \pm 0.33$ ) y riqueza ( $D = 2.05 \pm 0.48$ ) fue similar, con promedios altos en el ambiente mesohalino. La equitatividad ( $J' = 0.86 \pm 0.09$ ) fue mayor en el oligohalino y los promedios bajos de  $H'$  ( $0.64 \pm 0.08$ ),  $D$  ( $0.90 \pm 0.76$ ) y  $J'$  ( $0.60 \pm 0.46$ ) en el dulceacuícola. Temporalmente la densidad ( $0.062 \text{ ind/m}^2$ ) y biomasa ( $3.15 \text{ g/m}^2$ ) presentaron promedios altos durante los meses de nortes y el mayor peso promedio ( $123.68 \text{ g/ind}$ ) en los meses de secas. El NMDS indicó agrupaciones de especies relacionadas con los ambientes del sistema y sus estrategias ecológicas y biológicas. **Conclusión.** Se integró información sobre la dinámica comunitaria de peces en el sistema relacionada con la variación ambiental de sus hábitats, la cual aporta conocimiento complementario con la finalidad de proponer criterios ecológicos para la conservación de su biodiversidad en la región.

**Palabras clave:** estructura comunitaria, ambientes estuarinos, conjuntos de peces, sistema Pom-Atasta

### ABSTRACT

**Background.** The Pom-Atasta system associated with the Terminos Lagoon has scientific, social, and economic importance. Numerous species depend on it to carry out their biological cycles. **Goals.** Analyze the ecological dynamics of the fish community in relation to the environmental variation of the system. **Methods.** From 2005 to 2014, 140 fish collections were carried out at 10 sites in the system, and physicochemical parameters were recorded. Principal Component Analysis (PCA) was performed to define environments. The sampling effort was validated using non-parametric estimators. Diversity indices and community abundance indicators were estimated. Non-Metric Multidimensional Scaling (NMDS) Analysis was performed to determine species-environment relationships. **Results.** The ACP determined three environments, one mesohaline, another oligohaline and one freshwater. A total of 59 fish species were identified. Non-parametric tests averaged 74 species for the system. The spatial variation of diversity ( $H' = 1.56 \pm 0.33$ ) and richness ( $D = 2.05 \pm 0.48$ ) was similar, with higher averages in the mesohaline environment. Evenness ( $J' = 0.86 \pm 0.09$ ) was higher in the oligohaline and the low averages of  $H'$  ( $0.64 \pm 0.08$ ),  $D$  ( $0.90 \pm 0.76$ ) and  $J'$  ( $0.60 \pm 0.46$ ) in the freshwater. Temporally, the density ( $0.062 \text{ ind/m}^2$ ) and biomass ( $3.15 \text{ g/m}^2$ ) presented the highest averages during the north months and the highest average weight ( $123.68 \text{ g/ind}$ ) in the dry months. The NMDS indicated groupings of species related to the system's environments and their ecological and biological strategies. **Conclusion.** Information on the fish community dynamics in the system related to the environmental variation of their habitats was integrated, which provides complementary knowledge to propose ecological criteria for the conservation of its biodiversity in the region.

**Keywords:** community structure, estuarine environments, fish assemblages, Pom-Atasta system

<sup>1</sup> Laboratorio de Ictiología y Ecología Costera, Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, Ciudad de México, 09340. México.

<sup>2</sup> Laboratorio Ecología Costera y Pesquerías, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Av. El Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Coyoacán, Ciudad de México 04960, México.

<sup>3</sup> Laboratorio de Ficología Aplicada, Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, Ciudad de México, 09340.

**\*Corresponding author:**

Arturo Aguirre-León: e-mail: agla1269@correo.xoc.uam.mx

**To quote as:**

Gazca-Castro, M., A. Aguirre-León, S. Díaz-Ruiz & S. Álvarez-Hernández. 2024. El ambiente como factor que estructura la comunidad de peces del sistema fluvio-lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. *Hidrobiológica* 34 (3): 153-166.

## INTRODUCCIÓN

La Laguna de Términos en el sur del Golfo de México es uno de los ecosistemas con mayor número de estudios ecológicos realizados, presenta relevancia histórica regional por la pesca y la producción petrolera en su zona costera (Ramos-Muñoz *et al.*, 2020). Es un ecosistema dinámicamente complejo y productivo, con alta diversidad de flora y fauna, y recursos pesqueros, ya que incluye cuatro sistemas fluvio-lagunares asociados en interacción, desde los marinos hasta los dulceacuícolas (Day *et al.*, 2013; Yáñez-Arancibia *et al.*, 2013). Uno de estos sistemas es el Pom-Atasta, con características ambientales y ecológicas que determinan una variedad de hábitats, los cuales condicionan los patrones espacio temporales de distribución, diversidad y abundancia de su comunidad de peces. La comunidad íctica en este sistema tiene relevancia ecológica, ya que se han registrado especies que lo utilizan para completar parte de sus ciclos vida, además varias tienen importancia económica en la pesca artesanal para consumo local en la región (Aguirre-León *et al.*, 2010).

El sistema Pom-Atasta cuenta con variados estudios sobre dinámica hidrológica, y ecológicos de su comunidad y poblaciones de peces (Amezcu-Linares & Yáñez-Arancibia, 1980; Aguirre-León & Díaz-Ruiz, 2000, 2006; Pérez-Velázquez *et al.*, 2007; Aguirre-León *et al.*, 1998, 2010; Ruiz-Marín *et al.*, 2009; Aragón-Flores *et al.*, 2021). En este estudio se incluye el análisis de ocho años en diferentes temporadas climáticas con un enfoque de estructura de la comunidad, lo cual permite conocer el comportamiento ambiental y comunitario en una escala espacio temporal mayor y comprender el desarrollo y evolución del sistema. Los objetivos de este trabajo fueron: determinar la variación de los parámetros fisicoquímicos en el sistema, analizar la estructura de la comunidad de peces y establecer los conjuntos de peces y su relación con los ambientes que condicionan su composición y distribución en el sistema.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El sistema Pom-Atasta forma parte del Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) de la Laguna de Términos (SEMARNAT, 1996), con categoría de Sitio Ramsar (Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar, 2006). Se encuentra localizado hacia el oeste de dicha laguna entre los 18° 30' y 18° 35' latitud norte y 91° 50' y 92° 20' longitud oeste (Fig. 1). Es paralelo a la costa, limitado y comunicado al este por la Boca de Atasta con la Laguna de Términos y al oeste por la Laguna Colorada. Tiene una profundidad promedio de 2.7 m y una superficie aproximada de 190 km<sup>2</sup> (Aguirre-León *et al.*, 1998). Incluye nueve lagunas interiores de dimensiones variables, Loros, Puerto Rico, Palmas, San Carlos, El Corte, Palancares, Atasta, Pom y Colorada. Presenta un canal interno y sinuoso llamado "Torno Largo" que separa a las lagunas Palancares, Atasta y Pom del resto. No cuenta con ríos asociados, solo recibe un volumen de agua dulce a través del canal artificial llamado "del Gallego" que desemboca en la Laguna de Pom y se encuentra conectado con los ríos San Pedro y San Pablo hacia el suroeste de Tabasco y Campeche. Presenta un gradiente semipermanente de salinidad de este a oeste de 28.5 a 0.0 UPS. La vegetación ribereña incluye bosques de manglar representada por *Rhizophora mangle* Linneo (1753), *Avicennia germinans* Linneo (1764) y *Laguncularia racemosa* (L) Gaertner (1807). Se presentan tres temporadas climáticas, secas de febrero a mayo, lluvias de junio a septiembre y nortes de octubre a

enero, cuya duración está determinada por la precipitación estacional, el patrón e intensidad de los vientos, el volumen de la descarga de los ríos y la temperatura ambiental (Ruiz-Marín *et al.*, 2009; Aguirre-León *et al.*, 2010).

**Actividades de campo.** Se llevaron a cabo campañas durante los meses de octubre 2005 (O5); febrero (F6); octubre 2006 (O6); febrero 2007 (F7); octubre 2007 (O7); abril 2008 (A8); noviembre 2008 (N8); marzo 2009 (M9); febrero 2011 (F11); octubre 2011 (O11); febrero 2012 (F12); febrero 2013 (F13); septiembre 2013 (S13) y febrero 2014 (F14). En cada campaña se realizaron recolectas de peces en 10 sitios del sistema (Fig. 1) con una red de arrastre de 5.0 m de largo, boca de trabajo de 2.5 m, luz de malla de 1.8 cm, con lances de 15 min a una velocidad promedio de dos nudos para cubrir un área aproximada de arrastre de 2250m<sup>2</sup>, para un total de 140 capturas. Los peces fueron fijados con formaldehído al 10% y depositados en bolsas plásticas etiquetadas para su posterior procesamiento en el laboratorio. En cada sitio de muestreo se registró la salinidad (UPS), temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L) en superficie y fondo con un multianalizador YSI-85, la profundidad con una sonda sónica Speedtech (m) y la transparencia de la columna de agua con un disco de Secchi (m).

**Actividades en laboratorio.** La identificación taxonómica de las especies se determinó con los trabajos de Castro Aguirre *et al.* (1999), Carpenter (2002) y Miller *et al.* (2009). El arreglo sistemático de las especies se basó en Nelson *et al.* (2016) y la autoridad y nomenclatura actual de estas fue corroborada con Fricke *et al.* (2023). En cada sitio, los parámetros de diversidad (Shannon-Weaver H'), riqueza de especies (Margalef D), equitatividad (Pielou J'), así como la densidad (ind/m<sup>2</sup>), biomasa (g /m<sup>2</sup>) y el peso promedio (g/ind.) de la comunidad se estimaron según lo descrito por Aguirre-León *et al.* (2020). Las especies dominantes se determinaron mediante el Índice de Valor de Importancia (IVI= N%+P%+F%) descrito en Díaz-Ruiz *et al.* (2023). Los diferentes habitantes de la comunidad fueron identificados con los criterios de Potter *et al.* (2015) como: marinos estuarinos-opportunistas (MEO), marinos estuarinos-dependientes (MED), solo estuarinos (SE) y solo dulceacuícolas (SD). Las categorías fueron confirmadas para las especies colectadas utilizando Froese & Pauly (2023) y Robertson *et al.* (2023). Las categorías tróficas se definieron por el tipo de alimentación reportada en la literatura, y estas se clasificaron con los criterios propuestos por Elliott *et al.* (2007) y Froese & Pauly (2023) en: zoopláctivos (ZP), especies que se alimentan predominantemente de plancton; detritívoros (DE), especies que se alimentan principalmente de detritus y/o microfítobentos; omnívoros (OM), especies que se alimentan de plantas, epifauna e infauna; piscívoros (PI), peces que se alimentan de peces e invertebrados neotónicos y zoobentívoros (ZB), peces que se alimentan de invertebrados asociados al sustrato.

**Análisis estadístico.** Se aplicó análisis de varianza para determinar la existencia de diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos entre los sitios de muestreo en el sistema y los meses de recolecta, el mismo análisis se utilizó para los parámetros ecológicos de la comunidad para las mismas escalas de espacio y tiempo. Se requirió la justificación de la normalidad y homocedasticidad de los datos, y en todos los casos, se revisó el cumplimiento de los supuestos mediante la prueba de normalidad de Omnibus de D'Agostino-Pearson y la homogeneidad de varianzas con la prueba Levene modificada (Levene, 1960). Cuando fue necesario, se realizaron transformaciones logarítmicas. Si se cumplieron los supuestos de normalidad e igualdad de varianza, se utilizó

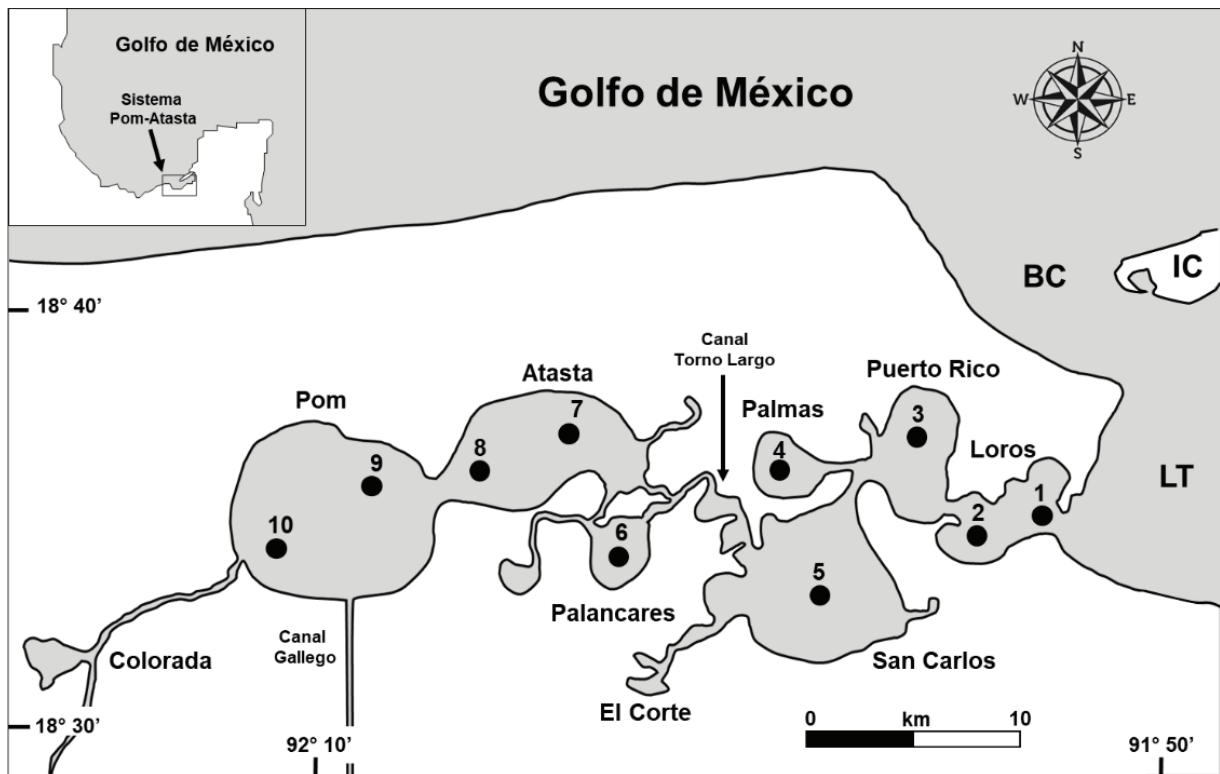


Figura 1. Ubicación geográfica del sistema Pom-Atasta en la Laguna de Términos, Campeche. Se indica la ubicación de las estaciones de muestreo (●), sus lagunas interiores y las principales características fisiográficas de la zona de estudio. LT = Laguna de Términos, BC = Boca del Carmen, IC = Isla del Carmen.

la prueba ANOVA-F, si no se cumplieron estos supuestos, se utilizó la prueba Kruskal-Wallis-H. Se utilizó un nivel de significancia de  $p < 0.05$  (Heiman, 2014). Estos análisis se realizaron con los programas NCSS V7 y STATISTICA V10. Se realizó Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando los valores espacio temporales de las variables físico-químicas con la finalidad de definir ambientes en el sistema, utilizando el programa Primer E V6.0 (Clarke *et al.*, 2014).

El esfuerzo de muestreo en la comunidad se validó estimando curvas de acumulación de especies a partir de los estimadores no-paramétricos Chao2, Jackknife1, Jackknife2 y Bootstrap. Estos calculan la riqueza total de especies basada en registros de presencia-ausencia y estiman la rareza de estas por su incidencia (especies únicas y duplicadas) (Willott, 2001; Magurran, 2011). Se utilizó una base de datos de la abundancia de las especies por sitios y meses de muestreo. La construcción de estas curvas se realizó con 9999 aleatorizaciones utilizando el programa estadístico Primer-E (Clarke *et al.*, 2014).

Para comprobar los cambios en la composición espacio temporal de la comunidad y su relación con los parámetros ambientales, fue aplicado un Análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (NMDS), utilizando una base de datos de las abundancias de las especies en los sitios de muestreo, los cuales fueron transformados a raíz cuadrada para obtener una matriz de similaridad de Bray-Curtis y definir conjun-

tos de peces relacionados con los ambientes del sistema determinados por el ACP. Se utilizó el valor de estrés para evaluar este análisis, así como una prueba de similitud ANOSIM por pares para estimar diferencias estadísticas de la composición de las especies entre ambientes. Se utilizó el programa Primer E + Permanova V6.0 (Clarke *et al.*, 2014).

## RESULTADOS

**Variación espacio temporal de los parámetros físicoquímicos.** Estos parámetros mostraron gradientes espaciales y temporales semipermanentes en su mayoría de este a oeste. En escala espacial se presentaron diferencias estadísticas significativas entre sitios, con intervalos promedio para la salinidad en superficie de 10.1 a 0.26 UPS ( $F=10.68$ ,  $p<0.0001$ ), en fondo de 12.3 a 0.23 UPS ( $F=13.13$ ,  $p<0.0001$ ), en profundidad 1.5 a 2.8 m ( $F=17.92$ ,  $p<0.0001$ ) y transparencia del agua de 0.51 a 0.92 m ( $F=2.56$ ,  $p=0.0095$ ). Asimismo, entre meses para salinidad en superficie de 10.41 a 0.16 UPS ( $F=5.71$ ,  $p<0.0001$ ), y de fondo 10.43 a 0.16 UPS ( $F=4.73$ ,  $p<0.0001$ ), temperatura en superficie de 31.28 a 23.18 °C ( $H=114.13$ ,  $p<0.0001$ ), y de fondo de 30.29 a 22.77 °C ( $H=122.46$ ,  $p<0.0001$ ), oxígeno disuelto en superficie de 8.3 a 4.0 mg/L ( $H=80.04$ ,  $p<0.0001$ ), y de fondo de 5.88 a 2.92 mg/L ( $H=57.23$ ,  $p<0.0001$ ), profundidad de 2.37 a 2.7 m ( $F=2.08$ ,  $p=0.0195$ ) y transparencia de 1.14 a 0.45 m ( $H=30.62$ ,  $p=0.0038$ ).

El comportamiento de los gradientes ambientales se reflejó en la ordenación del ACP (Fig. 2) de los sitios de muestreo en el sistema. Este análisis indicó que el 86.7% de la variación ambiental fue explicada por los primeros 2 componentes. El eje 1 con eigenvalor de 4.76, se relacionó con la salinidad, temperatura, profundidad y transparencia. El eje 2 con eigenvalor de 2.18 tuvo mayor relación con el oxígeno disuelto. Se observó la formación de tres grupos de sitios que representan ambientes con características fisicoquímicas similares: estaciones 1 a 3 con predominancia mesohalina ( $\bar{X}_{sup.} = 8.22$ ,  $\bar{X}_{fon.} = 9.32$  UPS) menor profundidad y transparencia ( $\bar{X} = 1.77$  m y  $\bar{X} = 0.57$  m) respectivamente; estaciones 4 a 8 como oligohalinas ( $\bar{X}_{sup.} = 2.22$ ,  $\bar{X}_{fon.} = 2.23$  UPS), profundidad y transparencia mayores ( $\bar{X} = 2.02$  m y  $\bar{X} = 0.75$  m) respectivamente, y estaciones 9 y 10 principalmente dulceacuícolas ( $\bar{X}_{sup.} = 0.30$ ,  $\bar{X}_{fon.} = 0.30$  UPS) con el máximo de profundidad y transparencia ( $\bar{X} = 2.57$  m, y  $\bar{X} = 0.89$  m) respectivamente.

**Composición de la comunidad.** Se recolectaron un total de 5359 individuos pertenecientes a 10 órdenes, 26 familias, 50 géneros y 59

especies (Tabla 1). Las familias mejor representadas fueron Sciaenidae con 8 especies, Gerreidae con 6, Carangidae y Cichlidae con 4. El número de especies varió entre sitios de 35 (59.3%) en la estación 1 a 14 (23.7%) en la estación 9. Entre meses de 35 (59.3%) en octubre 2007 a 15 (25.4%) en febrero 2006. Las especies más abundantes fueron *Cathorops aguilace* (Meek, 1904) (30.8%), *Diapterus rhombeus* (Cuvier, 1829) (24.0%) y *Eugerres plumieri* (Cuvier, 1830) (10.4%) (Tabla 1). Se registraron tres especies exóticas *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855) y *Pterygoplichthys disjunctivus* (Weber, 1991).

Las curvas de acumulación de especies (Fig. 3) mostraron que el esfuerzo de muestreo representó el número de especies en cada sitio y mes de colecta. Los estimadores sugieren que la riqueza promedio es de 74 especies, por lo que, faltarían 15 especies para completar el elenco. La representatividad del muestro varió entre el 63 % y el 88% de las especies esperadas. El máximo número de especies (81) se obtuvo con Jackknife2, y el mínimo (66) con Bootstrap.

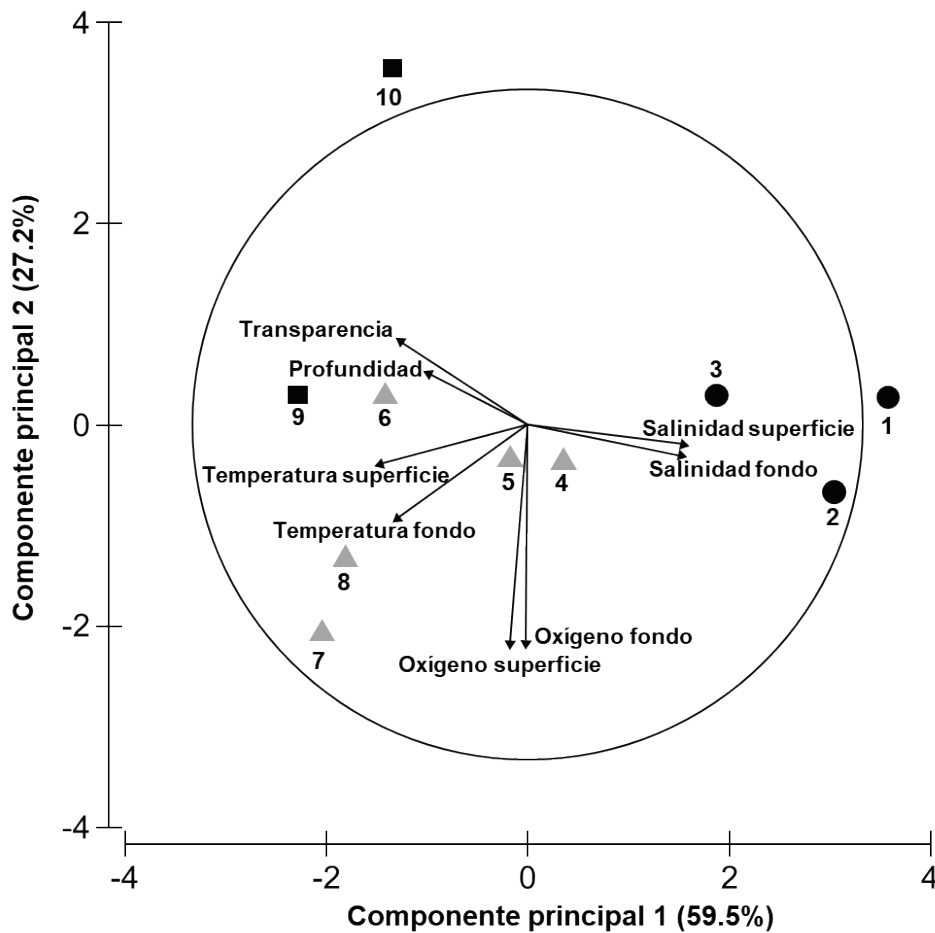


Figura 2. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas en escala espacio temporal en el sistema Pom-Atasta, Campeche. El círculo representa las correlaciones entre las variables ambientales y los sitios de muestreo. Los símbolos corresponden a los ambientes mesohalino (●), oligohalino (▲) y dulceacuícola (■).

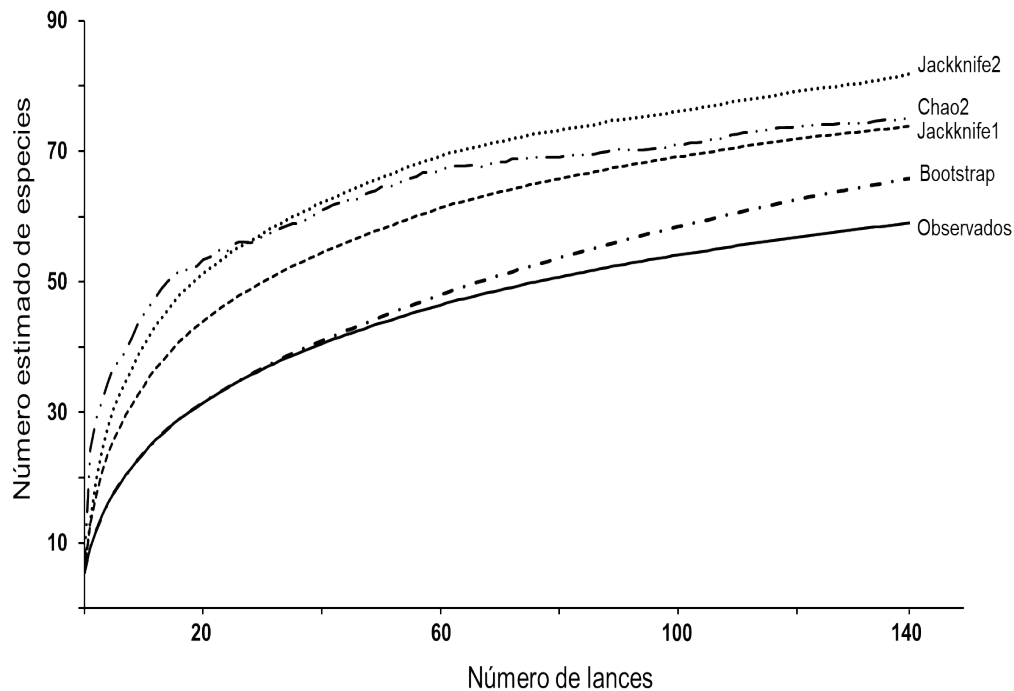


Figura 3. Curvas de acumulación de especies de peces capturadas en el sistema Pom-Atasta. Se indican las tendencias de los diferentes estimadores estadísticos calculados.

**Diversidad y abundancia.** La variación espacial de la diversidad  $H'$ , riqueza  $D$  y equitatividad  $J'$  (Fig. 4 A, B, C) fue similar y estuvo relacionada con el gradiente salino, con los promedios más altos de  $H'$  ( $1.56 \pm 0.33$ ) y  $D$  ( $2.05 \pm 0.48$ ) en las estaciones 1 y 2 con características mesohalinas. La  $J'$  ( $0.86 \pm 0.09$ ) fue mayor en el ambiente oligohalino. Los promedios más bajos de  $H'$  ( $0.64 \pm 0.08$ ),  $D$  ( $0.90 \pm 0.76$ ) y  $J'$  ( $0.60 \pm 0.46$ ) se registraron en las estaciones 9 y 10 del ambiente dulceacuícola. El análisis de varianza indicó diferencias significativas para  $H'$  ( $F=5.50$ ,  $p<0.0001$ ) y  $D$  ( $F=4.21$ ,  $p<0.0001$ ) entre sitios de muestreo. La variación temporal de la diversidad y riqueza fue similar entre meses de estudio, los promedios más altos se registraron para  $H'$  ( $1.42 \pm 0.33$ ) en abril 2008,  $D$  ( $1.82 \pm 0.97$ ) en octubre 2007 y  $J'$  ( $0.91 \pm 0.06$ ) en febrero 2013 (Fig. 4 D, E, F). Los más bajos de  $H'$  ( $0.81 \pm 0.47$ ) y  $D$  ( $1.00 \pm 0.64$ ) en octubre 2006 y de  $J'$  ( $0.55 \pm 0.23$ ) en octubre 2007. No se encontraron diferencias significativas entre meses ( $P > 0.05$ ).

La variación espacial de la abundancia se muestra en la figura 5 (A, B, C), el valor promedio más alto de densidad ( $0.037 \pm 0.03$  ind/m<sup>2</sup>) se registró en la estación 1, la biomasa ( $1.02 \pm 0.82$  g/m<sup>2</sup>) en la estación 4 y el peso promedio ( $181.00 \pm 178.95$  g/ind.) en la estación 10. Los promedios más bajos en densidad ( $0.002 \pm 0.001$  ind/m<sup>2</sup>) y biomasa ( $0.29 \pm 0.23$  g/m<sup>2</sup>), se registraron en la estación 10 y el peso promedio ( $16.79 \pm 10.83$  g/ind) en la estación 1. Se encontraron diferencias estadísticas significativas para la densidad ( $H=37.45$ ,  $p<0.0001$ ) y peso promedio ( $H=33.05$ ,  $p<0.0001$ ) entre sitios. Temporalmente la densidad, biomasa y peso promedio (Fig. 5 D, E, F) tuvieron un comportamiento similar. Los valores promedio más altos en densidad ( $0.062 \pm 0.056$  ind/m<sup>2</sup>) y biomasa ( $3.15 \pm 0.522$  g/m<sup>2</sup>) se registraron en octubre

2007 y el peso promedio ( $123.68 \pm 114.42$  g/ind) en febrero 2013. La menor densidad ( $0.003 \pm 0.003$  ind/m<sup>2</sup>) se registró en febrero 2014, la biomasa ( $0.22 \pm 0.10$  g/m<sup>2</sup>) en septiembre 2013 y el peso promedio ( $29.82 \pm 23.19$  g/ind) en noviembre 2008. El análisis de varianza indicó diferencias significativas para la densidad ( $H=25.8695$ ,  $p<0.0021$ ) y biomasa ( $H=25.1264$ ,  $p<0.0028$ ) entre los meses.

**Especies dominantes, componentes ecológicos y categorías tróficas.** El IVI indicó que tres especies fueron dominantes en el sistema, *C. aguadulce* (IVI=67.6), *E. plumieri* (IVI=42.5) y *D. rhombeus* (IVI=35.9), las cuales representaron el 65.2% en número y el 46.8% en peso de la captura total, con frecuencias de aparición entre 49 a 70% (Tabla 1). Otras especies menos abundantes como *Hypanus sabinus* (Lesueur, 1824) y *Bairdiella ronchus* (Cuvier, 1830) contribuyeron por su peso a la comunidad. Los componentes ecológicos estuvieron representados por 34 especies (58.0%) marinas estuarinas-opportunistas (MEO) como *Sphaeroides testudineus* (Linnaeus, 1758); 15 (25.0%) marinas estuarinas-dependientes (MED) como *Eucinostomus gula* (Quoy & Gaimard, 1824) con amplia distribución local; 7 especies (11.9%) sólo dulceacuícolas (SD) como *Oscura heterospila* (Hubbs, 1936) y 3 especies (5.1%) solo estuarinas (SE) como *Dormitator maculatus* (Bloch, 1792) (Tabla 1). La comunidad estuvo compuesta por cinco categorías tróficas, 3 especies (5.1%) zooplanctónicas (ZP) como *Anchoa mitchilli* (Valenciennes, 1848); 4 (6.8%) detritívoras (DE) como *Sphaeroides nephelus* (Goode & Bean, 1882); 8 (13.6%) omnívoras (OM) como *Gobionellus oceanicus* (Pallas, 1770); 11 (18.6%) piscívoras (PI) como *Hemicaranx amblyrhynchus* (Cuvier, 1833) y 33 (55.9%) zoobentívoras (ZB) como *Micropogonias undulatus* (Linnaeus, 1766) (Tabla 1).

Tabla 1. Lista de familias y especies colectadas en el sistema fluvio deltaico Pom-Atasta, Campeche

| Especies  | AB  | Número | N (%) | Peso (g) | P (%)  | Frec. (%) | IVI (%) | CE  | CT | DA |
|---|-----|--------|-------|----------|--------|-----------|---------|-----|----|----|
| Dasyatidae  |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Hypanus sabinus</i> (Lesueur, 1824)                | Hs  | 69     | 1.30  | 42403.5  | 25.700 | 5.74      | 32.74   | MED | ZB | 0  |
| Lepisosteidae   |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Atractosteus tropicus</i> Gill, 1863               | At  | 1      | 0.02  | 2000     | 0.130  | 0.13      | 0.28    | SD  | PI | D  |
| Engraulidae   |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Anchoa mitchilli</i> (Valenciennes, 1848)          | Am  | 64     | 1.20  | 58.2     | 0.040  | 3.99      | 5.23    | MEO | ZP | 0  |
| Clupeidae   |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Dorosoma anale</i> Meek, 1904                      | Dan | 5      | 0.10  | 23       | 0.014  | 0.39      | 0.50    | MED | ZP | 0  |
| <i>Dorosoma petenense</i> (Günther, 1867)             | Dp  | 15     | 0.30  | 335.5    | 0.648  | 0.65      | 1.60    | MED | ZP | 0  |
| <i>Opisthonema oglinum</i> (Lesueur, 1818)            | Oo  | 4      | 0.07  | 24.6     | 0.010  | 0.39      | 0.47    | MEO | ZB | M  |
| Locariidae  |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Pterygoplichthys pardalis</i> (Castelnau, 1855)    | Pp  | 12     | 0.21  | 2316.3   | 1.400  | 1.20      | 2.81    | SD  | DE | 0  |
| <i>Pterygoplichthys disjunctivus</i> (Weber, 1991)    | Pd  | 1      | 0.02  | 297.8    | 0.180  | 0.20      | 0.40    | SD  | DE | D  |
| Ariidae   |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Ariopsis felis</i> (Linnaeus, 1766)                | Af  | 17     | 0.30  | 2362.6   | 1.400  | 1.55      | 3.25    | MED | ZB | 0  |
| <i>Bagre marinus</i> (Mitchill, 1815)                 | Bm  | 33     | 0.60  | 298.6    | 0.200  | 0.65      | 1.45    | MEO | ZB | M  |
| <i>Cathorops aguadulce</i> * (Meek, 1904)             | Ca  | 1652   | 30.80 | 39673.8  | 24.000 | 12.75     | 67.55   | SE  | ZB | 0  |
| Synodontidae  |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Synodus foetens</i> (Linnaeus, 1766)               | Sfo | 16     | 0.20  | 299.9    | 0.200  | 0.65      | 1.05    | MEO | PI | M  |
| Batrachoididae  |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Opsanus beta</i> (Goode & Bean, 1880)              | Ob  | 28     | 0.50  | 1678.8   | 1.000  | 2.07      | 3.57    | MED | ZB | 0  |
| Syngnathidae  |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Syngnathus louisianae</i> Günther, 1870            | Slo | 1      | 0.02  | 3.6      | 0.002  | 0.13      | 0.15    | MEO | ZB | M  |
| <i>Syngnathus scovelli</i> (Evermann & Kendall, 1896) | Ss  | 1      | 0.02  | 0.2      | 0.000  | 0.13      | 0.15    | MEO | ZB | 0  |
| Centropomidae   |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Centropomus parallelus</i> Poey, 1860              | Cpa | 20     | 0.40  | 1878.1   | 1.100  | 1.81      | 3.31    | MED | ZB | 0  |
| <i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)          | Cu  | 5      | 0.10  | 912.2    | 0.600  | 0.55      | 1.25    | MED | PI | 0  |
| Carangidae  |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Caranx hippos</i> (Linnaeus, 1766)                 | Ch  | 1      | 0.02  | 3.8      | 0.002  | 0.13      | 0.15    | MEO | PI | M  |
| <i>Chloroscombrus chrysurus</i> (Linnaeus, 1766)      | Cc  | 4      | 0.07  | 16.7     | 0.010  | 0.39      | 0.47    | MEO | PI | M  |
| <i>Hemicaranx amblyrhynchus</i> (Cuvier, 1833)        | Ha  | 13     | 0.20  | 50       | 0.030  | 0.39      | 0.62    | MEO | PI | M  |
| <i>Oligoplites saurus</i> (Bloch & Schneider, 1801)   | Os  | 1      | 0.02  | 1        | 0.001  | 0.13      | 0.15    | MEO | PI | M  |
| Lutjanidae  |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)             | Ls  | 8      | 0.15  | 332.2    | 0.200  | 0.26      | 0.61    | MEO | PI | M  |
| Gerreidae   |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Diapterus auratus</i> Ranzani, 1848                | Da  | 12     | 0.20  | 98.3     | 0.060  | 0.65      | 0.91    | MEO | ZB | 0  |
| <i>Diapterus rhombeus</i> * (Cuvier, 1829)            | Dr  | 1283   | 24.00 | 5000.5   | 3.028  | 8.90      | 35.93   | MEO | OM | M  |
| <i>Eucinostomus argenteus</i> Baird & Girard, 1855    | Ear | 110    | 2.10  | 706.2    | 0.430  | 2.44      | 4.97    | MEO | OM | M  |
| <i>Eucinostomus gula</i> (Quoy & Gaimard, 1824)       | Eg  | 199    | 3.70  | 897.7    | 0.540  | 2.30      | 6.54    | MED | ZB | M  |
| <i>Eucinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1863)      | Em  | 20     | 0.40  | 168.7    | 0.100  | 1.30      | 1.80    | MED | ZB | M  |
| <i>Eugerres plumieri</i> * (Cuvier, 1830)             | Ep  | 559    | 10.40 | 32556.2  | 19.710 | 12.34     | 42.45   | MED | OM | 0  |
| Haemulidae  |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |
| <i>Conodon nobilis</i> (Linnaeus, 1758)               | Cn  | 1      | 0.02  | 1.2      | 0.001  | 0.13      | 0.15    | MEO | ZB | 0  |
| Sparidae  |     |        |       |          |        |           |         |     |    |    |

| Especies   | AB        | Número      | N (%)      | Peso (g)         | P (%)      | Frec. (%)  | IVI (%)    | CE  | CT | DA |
|--|-----------|-------------|------------|------------------|------------|------------|------------|-----|----|----|
| <i>Archosargus probatocephalus</i> (Walbaum, 1792)   | Ap        | 10          | 0.20       | 3010             | 1.820      | 1.30       | 3.32       | MEO | OM | 0  |
| <i>Calamus penna</i> (Valenciennes, 1830)            | Cp        | 1           | 0.02       | 1                | 0.001      | 0.13       | 0.15       | MEO | ZB | 0  |
| Polynemidae  |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Polydactylus octonemus</i> (Girard, 1858)         | Po        | 25          | 0.50       | 234.4            | 0.140      | 0.26       | 0.90       | MEO | ZB | M  |
| Sciaenidae   |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Bairdiella chrysoura</i> (Lacepède, 1802)         | Bc        | 19          | 0.40       | 337.8            | 0.200      | 0.91       | 1.51       | MED | ZB | M  |
| <i>Bairdiella ronchus</i> (Cuvier, 1830)             | Br        | 295         | 5.50       | 9559.5           | 5.790      | 0.91       | 12.20      | MEO | PI | M  |
| <i>Cynoscion arenarius</i> Ginsburg, 1930            | Car       | 43          | 0.80       | 210.1            | 0.130      | 1.42       | 2.35       | MED | ZB | M  |
| <i>Cynoscion nebulosus</i> (Cuvier, 1830)            | Cne       | 4           | 0.07       | 212.5            | 0.130      | 0.26       | 0.46       | MEO | PI | M  |
| <i>Cynoscion nothus</i> (Holbrook, 1848)             | Cno       | 25          | 0.50       | 124.7            | 0.080      | 0.52       | 1.10       | MEO | ZB | M  |
| <i>Menticirrhus americanus</i> (Linnaeus, 1758)      | Ma        | 1           | 0.02       | 7                | 0.103      | 0.13       | 0.25       | MEO | ZB | M  |
| <i>Micropogonias undulatus</i> (Linnaeus, 1766)      | Mun       | 156         | 2.90       | 878.2            | 0.530      | 5.44       | 8.87       | MED | ZB | M  |
| <i>Stellifer lanceolatus</i> (Holbrook, 1855)        | Sl        | 6           | 0.10       | 109.9            | 0.070      | 0.26       | 0.43       | MEO | ZB | M  |
| Cichlidae  |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Mayaheros urophthalmus</i> (Günther, 1862)        | Mu        | 1           | 0.02       | 169.7            | 0.100      | 0.13       | 0.25       | SD  | OM | 0  |
| <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)        | On        | 3           | 0.06       | 1612.7           | 1.000      | 0.39       | 1.45       | SD  | OM | 0  |
| <i>Oscura heterospila</i> (Hubbs, 1936)              | Oh        | 10          | 0.19       | 1488.8           | 0.900      | 0.78       | 1.87       | SD  | ZB | 0  |
| <i>Thorichthys helleri</i> (Steindachner, 1864)      | Th        | 8           | 0.15       | 314.4            | 0.200      | 0.26       | 0.61       | SD  | ZB | 0  |
| Eleotridae   |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Dormitator maculatus</i> (Bloch, 1792)            | Dm        | 2           | 0.04       | 109.8            | 0.070      | 0.26       | 0.37       | SE  | DE | D  |
| <i>Eleotris amblyopsis</i> (Cope, 1871)              | Ea        | 1           | 0.02       | 12.1             | 0.010      | 0.13       | 0.16       | SE  | ZB | D  |
| Gobiidae   |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Bathygobius soporator</i> (Valenciennes, 1837)    | Bs        | 1           | 0.02       | 0.7              | 0.000      | 0.13       | 0.15       | MEO | ZB | 0  |
| <i>Gobionellus oceanicus</i> (Pallas, 1770)          | Go        | 26          | 0.49       | 226.5            | 0.140      | 1.55       | 2.18       | MEO | OM | 0  |
| Ephippidae   |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Chaetodipterus faber</i> (Broussonet, 1782)       | Cf        | 1           | 0.02       | 750.4            | 0.450      | 0.20       | 0.67       | MEO | OM | M  |
| Trichiuridae   |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Trichiurus lepturus</i> Linnaeus, 1758            | Tl        | 3           | 0.06       | 80.2             | 0.050      | 0.26       | 0.37       | MEO | PI | M  |
| Paralichthyidae                                      |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Citharichthys spilopterus</i> Günther, 1862       | Cs        | 177         | 3.30       | 1314.9           | 0.800      | 5.71       | 9.81       | MED | ZB | M  |
| <i>Cyclopsetta fimbriata</i> (Goode & Bean, 1885)    | Cfi       | 5           | 0.09       | 20.4             | 0.010      | 0.39       | 0.49       | MEO | ZB | M  |
| <i>Etropus crossotus</i> Jordan & Gilbert, 1882      | Ec        | 4           | 0.07       | 37.7             | 0.020      | 0.49       | 0.58       | MEO | ZB | M  |
| Achiridae  |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Achirus lineatus</i> (Linnaeus, 1758)             | Al        | 91          | 1.70       | 467.7            | 0.300      | 5.55       | 7.55       | MED | ZB | 0  |
| <i>Trinectes maculatus</i> (Bloch & Schneider, 1801) | Tm        | 26          | 0.50       | 131              | 0.080      | 1.98       | 2.56       | MED | ZB | 0  |
| Cynoglossidae  |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Symphurus civitatum</i> Ginsburg, 1951            | Sc        | 1           | 0.02       | 7.7              | 0.005      | 0.13       | 0.15       | MEO | ZB | M  |
| <i>Symphurus plagiusa</i> (Linnaeus, 1766)           | Sp        | 1           | 0.02       | 49.5             | 0.030      | 0.13       | 0.18       | MEO | ZB | M  |
| Tetraodontidae                                       |           |             |            |                  |            |            |            |     |    |    |
| <i>Sphoeroides nephelus</i> (Goode & Bean, 1882)     | Sn        | 20          | 0.40       | 116              | 0.070      | 0.40       | 0.87       | MEO | DE | M  |
| <i>Sphoeroides testudineus</i> (Linnaeus, 1758)      | St        | 238         | 4.40       | 9170             | 5.600      | 7.23       | 17.23      | MEO | ZB | M  |
| <b>TOTALES</b>                                       | <b>59</b> | <b>5359</b> | <b>100</b> | <b>165164.50</b> | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>300</b> |     |    |    |

**Índice de Valor de Importancia (IVI).** Especies dominantes (\*). Componente ecológico (CE): MED = marino estuarino-dependiente, MEO = marino estuarino-opportunista, SE = solo estuarino, SD = solo dulceacuicola, categoría trófica (CT): ZP = zooplanctónicos, OM = omnívoros, DE = detritívoros, PI = piscívoros, ZB = zoobentívoros. Distribución por ambiente (DA): (M) = Mesohalino. (O) = Oligohalino, (D) = Dulceacuicola. Abreviaturas (AB) utilizadas en la Figura 6.



**Conjuntos de especies.** El NMDS (Fig. 6) muestra la ordenación de la composición y abundancia espacio temporal de las especies de la comunidad entre los ambientes del sistema, donde se observa que dicha composición se relacionó con las características ambientales que prevalecieron en cada hábitat. El ambiente mesohalino agrupó 30 especies, de las cuales 14 son exclusivas, siendo *B. ronchus* la más abundante. En el hábitat oligohalino 24 especies se presentaron más dispersas con 7 exclusivas, destacando *M. undulatus*. Estos dos últimos grupos de especies fueron los más similares ( $R=0.31$ ,  $p=0.001$ ), los cuales presentaron 18 comunes. El grupo de especies del hábitat dulceacuícola sólo incluyó 4 exclusivas, y fue el más disímil respecto a los otros dos, el cual presentó a la especie exótica *P. disjunctivus*. Los grupos de especies entre los ambientes oligohalino y dulceacuícola fueron los menos parecidos ( $R=0.56$ ,  $p=0.001$ ), donde se registraron 3 comunes. Los más contrastantes fueron los conjuntos del ambiente mesohalino y dulceacuícola ( $R=0.82$ ,  $p=0.001$ ). En los tres ambientes se presentaron 13 especies comunes incluyendo las 3 dominantes del sistema. El estrés de la prueba fue de 0.13, siendo aceptable para este análisis. El análisis ANOSIM indicó diferencias estadísticas significativas en la composición de las especies entre los ambientes del sistema con una  $R$  global de 0.409 y  $p=0.001$  entre grupos.

## DISCUSIÓN

La dinámica ambiental del sistema Pom-Atasta se caracteriza por la presencia de gradientes semipermanentes de los parámetros fisicoquímicos que se relacionan con el intercambio de agua a través de su boca de conexión con el patrón de circulación de la Laguna de Términos, con la geomorfología del sistema, con los cambios climáticos regionales y el patrón de vientos asociados. Estas características condicionan el establecimiento de ambientes o hábitats en escalas espacial y temporal en el sistema como reflejo de los factores hidrográficos previamente mencionados. El análisis ambiental realizado por Aguirre-León *et al.* (1998) evidenció la presencia de un hábitat mesohalino y otro oligohalino que variaban en extensión a través de las temporadas climáticas de la región. En el presente estudio los parámetros fisicoquímicos que mostraron cambios espaciales significativos fueron sobre todo la salinidad, la profundidad y la transparencia del agua definiéndose tres hábitats; mesohalino, oligohalino y dulceacuícola. No obstante, en escala temporal todos los parámetros tuvieron variaciones significativas como consecuencia de la estacionalidad climática. Un rasgo fundamental para la prevalencia de los ambientes definidos también en este trabajo es la geomorfología del sistema Pom-Atasta, la cual fue analizada por Gutiérrez-Estrada *et al.* (1982). Este se configura por varias lagunas internas y el canal intermedio "Torno Largo" que divide a dicho sistema en dos conjuntos de cuerpos de agua, y condiciona el intercambio de agua que ingresa desde la Laguna de Términos por efecto de la marea. Otro rasgo relevante fue la construcción por parte de PEMEX del "Canal del Gallego" que desemboca en la laguna de Pom. Este canal permanece abierto desde 1992 e introduce de manera permanente agua a esta parte del sistema lo que ha condicionado la dulcificación gradual de la laguna Pom donde se localizan los sitios 9 y 10 (Aguirre-León *et al.*, 2010). La variación de los parámetros ambientales de los hábitats definidos condiciona a su vez la organización de la ictiofauna y permite comprender en diferentes escalas los cambios comunitarios (Barletta *et al.* 2008; Peralta-Meixueiro & Vega-Cendejas, 2011; Molina *et al.*, 2020).

Diversos estudios han indicado que las variables ambientales de los sistemas costeros como la temperatura y salinidad influyen de manera diferenciada en la composición de las especies, las cuales los utilizan de acuerdo con sus requerimientos biológicos, lo que permite explicar su comportamiento ecológico y ocurrencia dentro del sistema lagunar a través de las diferentes temporadas climáticas de una región (Barletta *et al.*, 2005; Gerson Araújo *et al.*, 2018). En este estudio, el número de especies registrado fue mayor a los registros previos en trabajos realizados en el mismo subsistema, así Amezcua Linares & Yáñez Arancibia (1980) reportaron 33 y Aguirre-León *et al.* (1998, 2010) 53. Debe señalarse que las especies exóticas dulceacuícolas *O. niloticus*, *P. disjunctivus* y *P. pardalis* se incluyeron como parte del elenco registrado desde el año 2007, las cuales han sido identificadas como uno de los riesgos ambientales críticos a los que están sujetos los hábitats acuáticos por los cambios en las características físicas del agua, así como por el desplazamiento y competencia con especies nativas (Barba-Macias *et al.*, 2014).

Las curvas de acumulación de especies indicaron que el valor promedio estimado por estas es cercano al observado en este estudio. Este análisis sugiere que el sistema Pom-Atasta podría contener un mayor número de especies incrementando los muestreos estandarizados durante los meses de secas y lluvias, lo que resultaría en el registro de otras que lo utilizan en esas temporadas. Diversos estudios realizados en lagunas costeras tropicales y subtropicales han reconocido que las especies de peces usan de manera alterna los ambientes de estos sistemas en diferentes condiciones climáticas, reflejando la variación en la composición y riqueza de especies (Aguirre-León *et al.*, 2014; Romero-Berny *et al.*, 2020; Díaz-Ruiz *et al.*, 2023).

En el sistema Pom-Atasta se observaron cambios significativos en diversidad y riqueza entre sus ambientes, caracterizados por su dinámica ambiental con valores más altos en el ambiente mesohalino debido a la presencia de especies marinas estuarinas oportunistas (MEO) como *Polydactylus octonemus* (Girard, 1858), *Cynoscion nothus* (Holbrook, 1848), *Gobionellus oceanicus* (Pallas, 1770) y *Symphurus civitatum* Ginsburg, 1951 y especies estuarinas dependientes (MED) como *Dorosoma petenense* (Günther, 1867), *Bagre marinus* (Mitchill, 1815) y *Centropomus parallelus* Poey, 1860. Este comportamiento es similar para la Laguna Pueblo Viejo (Castillo-Rivera *et al.*, 2002), Laguna La Mancha (Díaz-Ruiz *et al.*, 2018) y la Laguna del Ostión (Aguirre-León *et al.*, 2020), donde la mayor diversidad y riqueza se presentaron en ambientes cercanos a la boca de conexión. En el ambiente dulceacuícola se registraron los valores más bajos de estos parámetros, lo que indica que un menor número de especies utilizan este hábitat (Barletta *et al.*, 2005) como *Atractosteus tropicus* Gill, 1863 y *Thorichthys helleri* (Steindachner, 1864). Temporalmente en el mes de abril 2008 (secas) la diversidad y riqueza fue mayor debido a la presencia de especies como *Opsanus beta* (Goode & Bean, 1880), *S. civitatum*, *Trichiurus lepturus* Linnaeus, 1758 y *Synodus foetens* (Linnaeus, 1766) que sólo se presentaron durante este mes. Sin embargo, también se observan valores altos durante septiembre 2013 (lluvias), debido a que ingresan al sistema especies marinas estuarinas dependientes (MED) en busca de protección, alimento y reproducción como *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). Se ha observado que este comportamiento está relacionado con el incremento en la producción de materia orgánica y nutrientes en el sistema, incrementando la disponibilidad de alimento (Perera-García *et al.*, 2011; Hernández-Vidal *et al.*, 2014; Aguirre-León *et al.*, 2020).

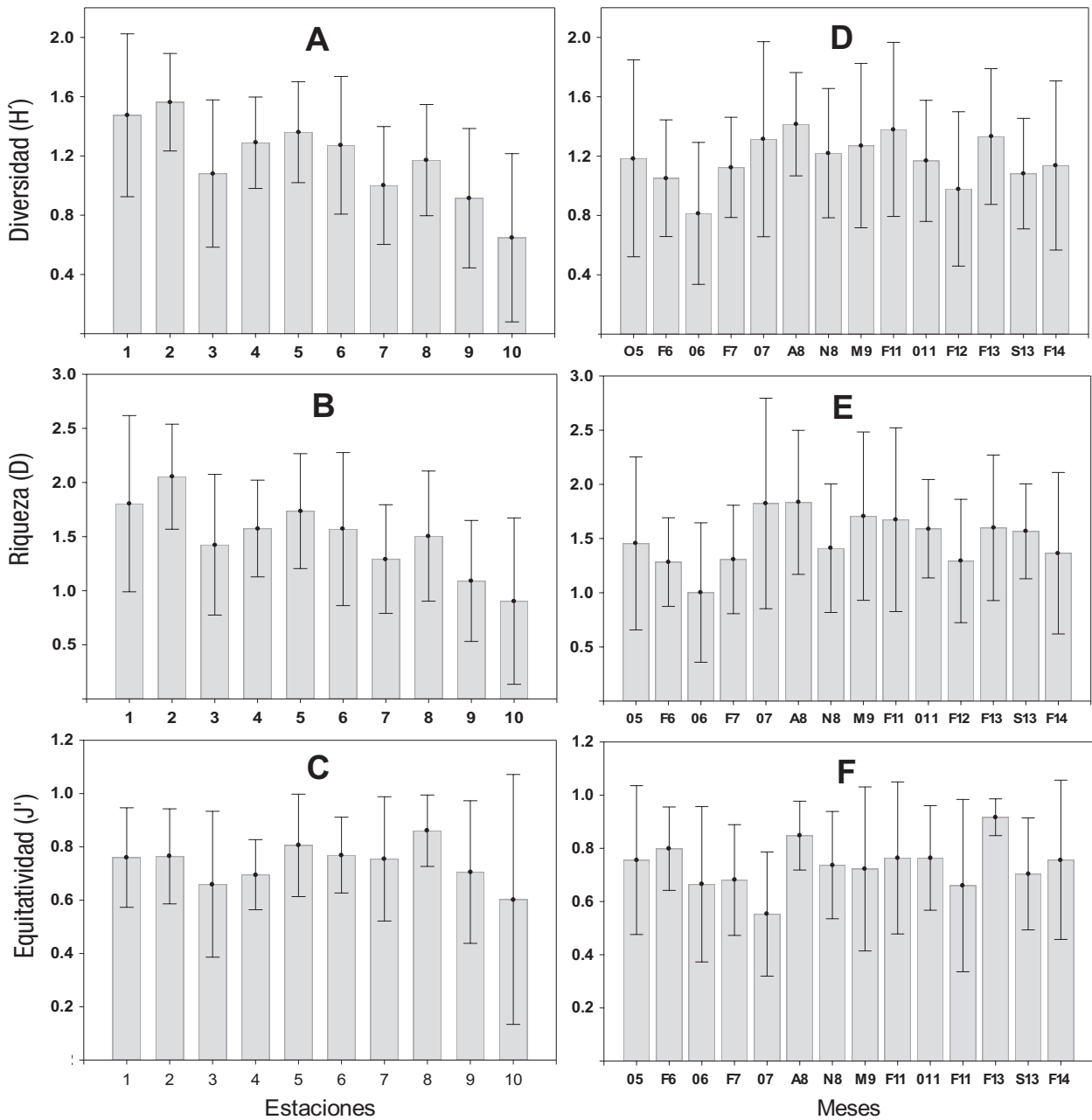


Figura 4. Variación espacial y temporal promedios ( $\pm 1$  DE) de los índices Diversidad (H'), Riqueza (D) y Equitatividad (J') de la comunidad de peces en el sistema Pom-Atasta, Campeche.

La abundancia de los peces se encuentra relacionada con la biología de las especies y con la variación estacional de los parámetros fisicoquímicos. Se observó que la densidad y biomasa fue mayor en el ambiente mesohalino, debido al desplazamiento de especies marinas estuarinas oportunistas (MEO) y dependientes (MED) como juveniles y preadultos, que migran desde el mar o Laguna de Términos hacia el sistema Pom-Atasta, para alimentarse, crecer y madurar durante los meses del año como *B. ronchus*, *Citharichthys spilopterus* Günther, 1862, *E. gula*, *S. testudineus* y *M. undulatus*, mostrando un incremento diferenciado en su abundancia en las temporadas del año (Aguirre-León

& Díaz-Ruiz, 2000, 2006; Arceo-Carranza *et al.*, 2013). Otras especies marinas estuarinas dependientes (MED), oportunistas (MEO) y solo estuarinas (SE) relacionadas con los cambios estacionales presentan mayor abundancia en el ambiente oligohalino como *E. plumieri* y *C. agudulce*, la cuales presentaron peso promedio alto, así como *D. rhombeus* y *Achirus lineatus* (Linnaeus, 1758) igualmente abundantes pero con peso promedio bajo, las cuales diferencian sus ciclos de vida a lo largo del año de acuerdo con sus estrategias biológicas (Peralta-Meixueiro & Vega-Cendejas, 2011; Aguirre-León *et al.*, 2020; Molina *et al.*, 2020).

El estudio de las especies dominantes en sistemas costeros permite analizar las interacciones con otras especies presentes, ya que las primeras regulan la abundancia de estas últimas, por lo que influyen en la estructura de la comunidad (Potter *et al.*, 2015; Gerson Araujo *et al.*, 2018). En este estudio *C. agudulce*, *D. rhombeus* y *E. plumieri* fueron especies dominantes bien adaptadas a los gradientes fisicoquímicos y estructura biótica del sistema Pom-Atasta, lo que ha permitido su coexistencia y utilización de sus ambientes con diferentes fines bioló-

gicos a través del tiempo. En estudios previos de este sistema en diferentes escalas temporales, Aguirre-León *et al.* (1998, 2010) reportaron a *S. testudineus*, *A. mitchilli*, *E. gula*, *Ariopsis felis* (Linnaeus, 1766), *M. undulatus* y *B. ronchus* también como dominantes. Todas las especies referidas han sido registradas como dominantes o abundantes en sistemas litorales del Golfo de México por Aguirre-León *et al.* (2020), Aragón-Flores *et al.* (2021), Díaz-Ruiz *et al.* (2018, 2023).

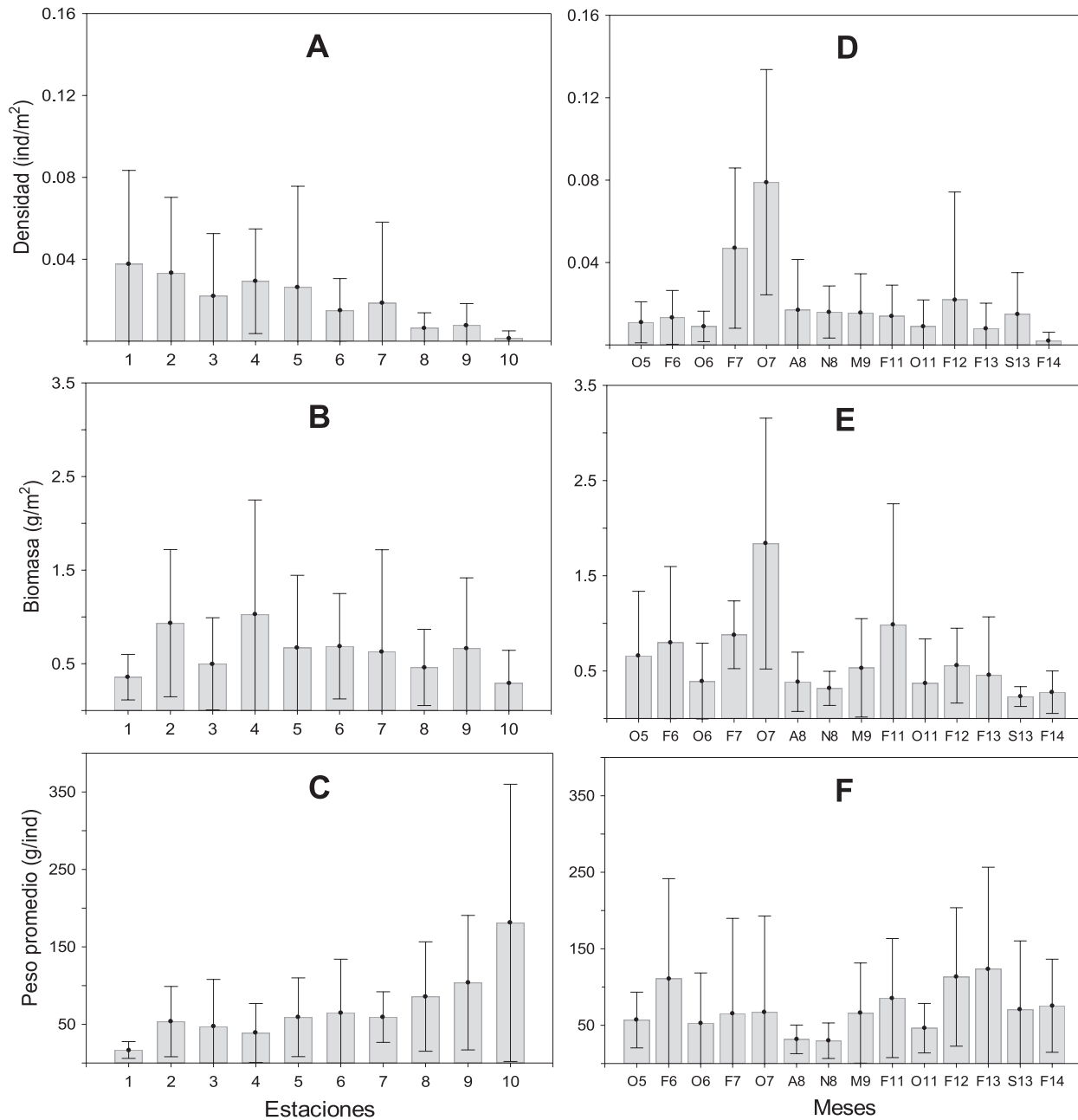


Figura 5. Variación espacial y temporal promedios (± 1 DE) de la densidad (ind/m<sup>2</sup>), biomasa (g/m<sup>2</sup>) y peso promedio (g/ind) de la comunidad de peces en el sistema Pom-Atasta, Campeche.



marino-estuarinas oportunistas (MEO), algunas con abundancias bajas como *B. marinus*, *Syngnathus scovelli* (Evermann & Kendall, 1896), *Cynoscion nebulosus* (Cuvier, 1830) y *S. nephelus*, las cuales han sido registradas como especies dominantes en Laguna de Términos y La Sonda de Campeche en condiciones de mayor salinidad (Peralta-Meixueiro & Vega-Cendejas, 2011; Torruco et al., 2018). La boca de conexión del sistema Pom-Atasta se considera un área de tránsito donde se registra mayor riqueza de especies y menor abundancia; así, *Oligoplites saurus* (Bloch & Schneider, 1801), *Caranx hippos* (Linnaeus, 1766), *S. civitatum*, *Symphurus plagiusa* (Linnaeus, 1766) y *Syngnathus louisianae* Günther, 1870, se colectaron durante los meses de secas y lluvias en el ambiente mesohalino. Al interior del sistema, su geomorfología presenta áreas más protegidas con menor salinidad donde el conjunto de especies asociadas al ambiente oligohalino estuvo integrado por especies marino-estuarinas dependientes (MED) como *D. petenense*, *C. parallelus*, *C. spilopterus* y *Trinectes maculatus* (Bloch & Schneider, 1801) con abundancia intermedia. Entre estos dos primeros ambientes se comparten especies con mayor abundancia como *B. ronchus*, *S. testudineus*, *E. gula*, *C. spilopterus*, *M. undulatus*, *E. argenteus*, *A. lineatus* que utilizan el sistema para crecimiento y maduración. Asimismo, prevalecen en los tres ambientes las especies dominantes *C. aguadulce*, *D. rhombeus* y *E. plumieri* que se caracterizan por tolerar amplias variaciones de salinidad y optimizan el sistema para su reproducción y crianza (Aguirre-León & Díaz-Ruiz, 2000, 2006). El conjunto de especies que caracteriza al ambiente dulceacuícola presentó abundancias bajas como *A. tropicus*, *D. maculatus*, *Eleotris amblyopsis* (Cope, 1871) y *P. disjunctivus* que se registraron principalmente durante el mes de lluvias. Los conjuntos de peces definidos pueden variar principalmente por los cambios en las preferencias de utilización de los hábitats que ocurren durante los ciclos de vida, los patrones de migración y alimentación de cada especie, lo cual dificulta ubicarlos en una categoría ecológica específica relacionada con un ambiente particular (Childs et al., 2015; Potter et al., 2015; Steffen, 2023).

Este estudio integró información sobre la dinámica de la comunidad de peces en el sistema Pom-Atasta relacionada con la variación ambiental de sus hábitats, como marco de referencia para estudios futuros, la cual proporciona conocimiento complementario y criterios ecológicos que permitan la conservación de su biodiversidad en la región.

## AGRADECIMIENTOS

A los Departamentos El Hombre y su Ambiente y de Hidrobiología de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidades Xochimilco e Iztapalapa. El primero por el apoyo financiero durante las campañas de campo y el proceso de datos en laboratorio. El segundo a través del proyecto "Caracterización Ecológica de los Ambientes Costeros Mexicanos" (UAMI-CBS, 2019-2024). A los árbitros sus comentarios y sugerencias.

## REFERENCIAS

- ABRANTES, K.G., A. BARNETT, R. BAKER & M. SHEAVES. 2015. Habitat-specific food webs and trophic interactions supporting coastal-dependent fishery species: an Australian case study. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 25 (2):337-363. DOI: 10.1007/s11160-015-9385-y
- AGUIRRE-LEÓN, A. & S. DÍAZ-RUIZ. 2000. Estructura poblacional, madurez gonádica y alimentación de *Eugerres plumieri* (Gerreidae) en el sistema fluvio-deltaico Pom-Atasta, México. *Ciencias Marinas* 26 (2): 253-273. DOI:10.7773/cm.v26i2.580
- AGUIRRE-LEÓN, A. & S. DÍAZ-RUIZ. 2006. Estructura de tallas, madurez gonádica y alimentación del pez *Diapterus rhombeus* (Gerreidae) en el sistema fluvio-deltaico Pom-Atasta, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical* 54 (2): 599-611. DOI:10.15517/rbt.v54i2.13927
- AGUIRRE-LEÓN, A., S. DÍAZ-RUIZ & A. BERNAL-BECERRA. 1998. *Ecología de peces en sistemas Fluvio-Deltaicos: Estudio para el Sistema Pom-Atasta en Campeche*. Serie Académicos 28, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México. 63 p.
- AGUIRRE-LEÓN, A., S. DÍAZ-RUIZ & A. RAMÍREZ-HUERTA. 2010. *Ecología de peces dominantes costeros tropicales. Estudio para el sistema fluvio-deltaico Pom-Atasta, Campeche*. Serie Académicos 96, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México. 136 p.
- AGUIRRE-LEÓN, A., E. PÉREZ-PONCE & S. DÍAZ-RUIZ. 2014. Heterogeneidad ambiental y su relación con la diversidad y abundancia de la comunidad de peces en un sistema costero del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical* 62 (1): 145-163. DOI:10.15517/rbt.v62i1.8212
- AGUIRRE-LEÓN, A., S. DÍAZ-RUIZ & M. GAZCA-CASTRO. 2020. Variación espacio-temporal de la estructura ecológica de la comunidad de peces en la Laguna del Ostión, Veracruz, México. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras* 12 (2): 29-55. DOI:10.15359/revmar.12-2.2
- AMEZCUA-LINARES, F. & A. YAÑEZ-ARANCIBIA. 1980. Ecología de los sistemas fluvio-lagunares asociados a Laguna de Términos. El hábitat y estructura de las comunidades de peces. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 7 (1): 69-118.
- ARAGÓN-FLORES, E., R. RODILES-HERNÁNDEZ, M. SORIA-BARRETO, C. MONTAÑA & M. CASTILLO. 2021. Variación temporal de la abundancia de la comunidad de peces en el delta del río Usumacinta, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92 (1): 1-15. DOI:10.22201/ib.20078706e.2021.92.3072
- ARCEO-CARRANZA, D., M.E. VEGA-CENDEJAS & M. HERNÁNDEZ DE SANTILLANA. 2013. Day and night trophic variations of dominant fish species in a lagoon influenced by freshwater seepes. *Journal Fish Biology* 82 (1): 54-68. DOI:10.1111/j.1095-8649.2012.03463.x
- AYALA-PÉREZ, L.A., J. RAMOS-MIRANDA, D. FLORES-HERNÁNDEZ, B.I. VEGA-RODRÍGUEZ & U.C. MORENO-MEDINA. 2008. Biological and ecological characterization of the catfish *Cathorops melanopus* off the west coast of Campeche, Mexico. *Ciencias Marinas* 34 (4): 453-465. DOI: 10.7773/cm.v34i4.1416
- BARBA-MACIAS, E., J. JUÁREZ-FLORES & M. MAGAÑA-VÁZQUEZ. 2014. Nuevos registros de plecos (*Pterygoplichthys pardalis*) (Siluriformes: Locaridae) en las cuencas del río Grijalva y Tonalá, Pajonal-Machona, Tabasco. In: Low A., P. Quijón & E. Peters (eds.). *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, pp. 233-251
- BARLETTA, M., A. BARLETTA-BERGAN, U. SAINT-PAUL & G. HUBOLD. 2005. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. *Journal of Fish Biology* 66 (1): 45-72. DOI:10.1111/j.0022-1112.2005.00582.x
- BARLETTA, M., C.S. AMARAL, M.F. CORREA, F. GUEBERT, D.V. DANTAS, L. LORENZI & U. SAINT-PAUL. 2008. Factors affecting seasonal variations in demersal fish assemblages at an ecocline in a tropical-subtropical

- estuary. *Journal of Fish Biology* 73 (1):1314-1336. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2008.02005.x
- BUCHHEISTER A., & R.J. LATOUR. 2015. Diets and trophic-guild structure of a diverse fish assemblage in Chesapeake Bay, U.S.A. *Journal Fish Biology* 86: 967-992. DOI: 10.1111/jfb.12621
- Carpenter, K.E. (ed.). 2002. *The living marine resources identification guide for fishery purposes of the Western Central Atlantic*. Disponible en línea: <https://www.fao.org/3/y4160e/y4160e00.htm>. (consultado el 5 de abril 2023).
- CASTILLO-RIVERA, M., A. ZAVALA-HURTADO & R. ZÁRATE-HERNÁNDEZ. 2002. Exploration of spatial and temporal patterns of fish diversity and composition in a tropical estuarine system of Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 167-177. DOI:10.1023/A:1025051027676
- CASTRO-AGUIRRE, J.L., H. ESPINOSA PÉREZ & J.J. SCHMITTER-SOTO. 1999. *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Limusa-Noriega Editores, México 705 p.
- CHILDS, A. R., P. D. COWLEY, T.F. NÆSJE, R. H. BENNETT. 2015. Habitat connectivity and intra-population structure of an estuary-dependent fishery species. *Marine Ecology Progress Series* 537: 233-245. DOI: 10.3354/meps11456
- CLARKE, K.R., R.N. GORLEY, P.J. SOMERFIELD & R.M. WARWICK. 2014. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 3rd ed. PRIMER-E: Plymouth. 262 p.
- DAMES, M.H., P.D. COWLEY, A-R. CHILDS, R.H. BENNETT, E.B. THORSTAD & T.F. NÆSJE. 2017. Estuarine and coastal connectivity of an estuarine-dependent fishery species, *Pomadasys commersonnii* (Haemulidae). *African Journal of Marine Science* 39 (1): 111-120, DOI:10.2989/1814232X.2017.1305991
- DAY, J.W., A. YAÑEZ-ARANCIBIA, W.M. KEMP & B.C. CRUMP. 2013. Introduction to estuarine ecology. In: Day J.W., B.C. Crump, W.M. Kemp & A. Yáñez-Arancibia (eds.). *Estuarine ecology*. Wiley-Blackwell, Wiley-Sons Press, pp. 1-18. DOI: 10.1002/9781118412787.ch1
- DÍAZ-RUIZ, S., A. AGUIRRE-LEÓN, E. MENDOZA-SÁNCHEZ & A.L. LARA-DOMÍNGUEZ. 2018. Factores ambientales que influyen en la ictiofauna de la Laguna La Mancha, sitio Ramsar, Golfo de México. *Revista de Biología Tropical* 66 (1): 246-265. DOI:10.15517/rbt.v66i1.28495
- DÍAZ-RUIZ, S., A., AGUIRRE-LEÓN & M. GAZCA-CASTRO. 2023. Diversity, abundance, and fish assemblages in the Sontecomapan lagoon system, Veracruz, Mexico. *Revista Hidrobiológica* 33 (3): 291-303. DOI:10.24275/FKZK9911
- ELLIOTT, M., A.K. WHITFIELD, I.C. POTTER, S.J.M. BLABER, D.P. CYRUS, F.G. NORDLIE & T.D. HARRISON. 2007. The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review. *Fish and Fisheries* 8 (1): 241-268. DOI:10.1111/j.1467-2679.2007.00253.x
- FICHA INFORMATIVA DE LOS HUMEDALES DE RAMSAR (FIR). 2006. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Sitio No. 1356. RIS. Disponible en línea: <https://rsis.ramsar.org/ris/1356> (consultado el 7 de noviembre, 2023).
- FRANCO L.J., A.G. SANTES GONZÁLEZ, L.G. ABARCA ARENAS, C. BEDIA SÁNCHEZ, H. BARRERA ESCORCIA, J.A. MARTÍNEZ PÉREZ, E. PELÁEZ RODRÍGUEZ & J.L. VIVEROS LEGORRETA. 2017. Ecología y reproducción de *Opsanus beta* (Actinopterygii: Batrachoididae) en la Laguna de Alvarado, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical* 65 (4): 1381-1396. DOI: 10.15517/rbt.v65i4.27239
- FRICKE, R., W.N. ESCHMEYER & R. VAN DER LAAN (EDS.). 2023. *Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References*. Disponible en línea: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> (consultado el 6 de junio, 2023).
- FROESE, R. & D. PAULY (eds.). 2023. FishBase. Version 03. World Wide Web electronic publication. Disponible en línea: <http://www.fishbase.org>. (consultado el 16 de mayo, 2023).
- GERSON-ARAÚJO, F., F. LAMEIRO RODRIGUEZ, T. P. TEIXEIRA-NEVES, J.P. VIEIRA, M. C. AZEVEDO, A.P. PENHA GUEDES, A.M. GARCIA, A.L.M. PESSANHA. 2018. Regional patterns in species richness and taxonomic diversity of the nearshore fish community in the Brazilian coast. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 208: 9-22. DOI: 10.1016/j.ecss.2018.04.027
- GUTIÉRREZ-ESTRADA, M., M. MALPICA-CRUZ & J. MARTÍNEZ-REYES. 1982. Geomorfología y sedimentos recientes del sistema lagunar Pom-Atasta Campeche. México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología UNAM* 9 (1): 89-100.
- HEIMAN, G.W. (ed.) 2014. *Basic statistics for the behavioral sciences*. 7th ed. Wadsworth, Cengage Learning. 504 p.
- HERNÁNDEZ-VIDAL, U., X. CHIAPPA-CARRARA & W. CONTRERAS-SÁNCHEZ. 2014. Reproductive variability of the common snook, *Centropomus undecimalis*, in environments of contrasting salinities interconnected by the Grijalva-Usumacinta fluvial system. *Ciencias Marinas* 40 (3): 173-185. DOI: 10.7773/cm.v40i3.2381
- LEVENE, H. 1960. Robust test for equality on variance. In: Olkin, I., S.G. Ghurye, W. Hoefding, W.G. Madow & H.B. Mann (eds.). *Contributions to probability and statistics*. Stanford University Press, pp. 278-292.
- MAGURRAN, A.E., S. KACHONPISITSAK & A.B. AHMAD. 2011. Biological diversity of fish communities: pattern and process. *Journal of Fish Biology* 79 (6): 1393-1412. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2011.03091.x
- MILLER, R., W.L. MINCKLEY & S.M. NORRIS (eds.). 2009. *Peces dulceacuicolas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México. 559 p.
- MOLINA, A., G. DUQUE & P. COGUA. 2020. Influences of environmental conditions in the fish assemblage structure of a tropical estuary. *Marine Biodiversity* 50 (1): 1-13. DOI:10.1007/s12526-019-01023-0
- NELSON, J.S., T.C. GRANDE & M.V. WILSON (eds.). 2016. *Fishes of the world*. 5th ed. Wiley & Sons. New Jersey. 707 p.
- PERALTA-MEIXUEIRO, M. A. & M. E. VEGA-CENDEJAS. 2011. Spatial and temporal structure of fish assemblages in a hyperhaline coastal system: Ría Lagartos, Mexico. *Neotropical Ichthyology* 9 (3): 673-682. DOI:10.1590/S1679-62252011005000033
- PERERA-GARCÍA, M.A., M. MENDOZA-CARRANZA, W.M. CONTRERAS-SÁNCHEZ, M. HUERTA-ORTÍZ & E. PÉREZ-SÁNCHEZ. 2011. Reproductive biology of common snook *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae) in two tropical habitats. *Revista de Biología Tropical* 59 (2): 669-681. DOI: 10.155117/rbt.v0i0.3131
- PÉREZ-VELÁZQUEZ, P.A., A. AGUIRRE-LEÓN & S. DÍAZ-RUIZ. 2007. Abundancia nictemeral de *Eugerres plumieri* (Pisces: Gerreidae) en un sistema fluvio-deltaico de Campeche, México. *Revista Contactos* 63 (1): 5-14.
- POTTER, I.C., J.R. TWEEDLEY, M. ELLIOTT & A.K. WHITFIELD. 2015. The ways in which fish use Estuaries: a refinement and expansion of the guild approach. *Fish and Fisheries* 16(2): 230-239. DOI:10.1111/faf.12050

- RAMOS-MUÑOZ, D.E., ZEPEDA-DOMÍNGUEZ, J.A., ESPINOZA-TENORIO, A., 2020. The Mexican energy reform in the fishing and oil framework of the Gulf of Mexico. *Revista Costas* 2 (1): 67-80. DOI: 10.26359/costas.0402
- REYES-RAMÍREZ, H., N. ÁLVAREZ-PLIEGO, A.J. SÁNCHEZ, H. ESPINOSA-PÉREZ, R. FLORIDO & M.Á. SALCEDO. 2018. Registros limnéticos de *Hypanus sabinus* (Myliobatiformes: Dasyatidae) en la cuenca del río Grijalva, sur del Golfo de México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 53 (1): 141-145. DOI: 10.4067/S0718-19572018000100141
- ROBERTSON, D. R., PEÑA, E. A., POSADA, J. M. & CLARO, R. (2023). Peces costeros del Gran Caribe: sistema de información en línea. Versión 2. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá. Disponible en línea: <https://biogeodb.stri.si.edu/caribbean/es/thefishes/species/2744>
- ROMERO-BERNY, E., E. VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ, J.J. SCHMITTER-SOTO & I.H. SALGADO-UGARTE. 2020. The influence of habitat on the spatio-temporal dynamics of fish assemblages in a lagoon-estuarine system of the Mexican Pacific. *Latin American Journal of Aquatic Research* 8(1): 23-37. DOI: 10.3856/vol48-issue1-fulltext-2349
- RUIZ-MARÍN, A., S. CAMPOS-GARCÍA, J. ZAVALA-LORÍA & Y. CANEDO-LÓPEZ. 2009. Hydrological aspects of the lagoons of Atasta and Pom, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10 (1): 63-74.
- SÁNCHEZ-GIL, P., A. YÁÑEZ-ARANCIBIA, M. TAPIA., J.W. DAY, C.A. WILSON & J.H. COWAN JR. 2008. Ecological and biological strategies of *Etropus crossotus* and *Citharichthys spilopterus* (Pleuronectiformes: Paralichthyidae) related to the estuarine plume, Southern Gulf of Mexico. *Journal of Sea Research* 59 (3):173-185. DOI:10.1016/j.seares.2007.12.002
- SEMARNAT, (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 1996. Programa de manejo de la zona de protección de flora y fauna Laguna de Términos. Comisión Nacional de Área Naturales Protegidas. Instituto Nacional de Ecología. México. 164 p. Disponible en línea: <https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/anp/AN19.pdf>
- STEFFEN, C., S. STEPHENS, M. A. DANCE, D.L. LIPPI, C.C. JENSEN, R.J. DAVID WELLS & J.R. ROOKER. 2023. Estuarine-coastal connectivity and partial migration of southern flounder in the Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 294: 1-8. DOI: 10.1016/j.ecss.2023.108545
- TORRUCO, D., A. GONZÁLEZ-SOLÍS & A.D. TORRUCO-GONZÁLEZ. 2018. Diversidad y distribución de peces y su relación con variables ambientales, en el sur del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical* 66 (1): 438-456. DOI: 10.15517/rbt.v66i1.26255
- WILLOTT, S.J. 2001. Species accumulation curves and the measure of sampling effort. *Journal of Applied Ecology* 38(1): 484-486. DOI:10.1046/j.1365-2664.2001.00589.x
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., J.W. DAY, A.L. LARA-DOMÍNGUEZ, P. SÁNCHEZ-GIL, G.J. VILLALOBOS-ZAPATA & J.A. HERRERA-SILVEIRA. 2013. Ecosystem functioning: the basis for sustainable management of Terminos lagoon, Campeche, Mexico. In: Day, J.W. & A. Yáñez-Arancibia (eds.). *The Gulf of Mexico origin, water and biota. Vol. 4*. Texas University Press, pp. 167-199.

## Diversidad de medusas (Cnidaria: Medusozoa) en Bahía de Banderas, México y registros nuevos

### Jellyfish diversity (Cnidaria: Medusozoa) in Banderas Bay, Mexico with new records

Magali Roa-Venicio<sup>1</sup> y María Ana Fernández-Álamo<sup>1</sup>

Recibido: 04 de diciembre de 2023.

Aceptado: 12 de julio de 2024.

Publicado: diciembre de 2024.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** La distribución de medusas comprende diversas áreas oceánicas y costeras. La mayoría de ellas tiene cierta afinidad por diferentes masas de agua lo cual depende de su biología y su interacción con los factores bióticos y abióticos. **Objetivos.** Contribuir al conocimiento de la biodiversidad de las medusas (Cnidaria: Medusozoa) en el Pacífico mexicano. **Métodos.** El material de estudio proviene de las muestras de zooplancton recolectadas durante marzo y octubre de 2003 mediante arrastres superficiales, con una red estándar en Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. **Resultados.** Se determinaron 7966 medusas ubicadas en 32 especies, 34 géneros y 26 familias, pertenecientes a las clases Hydrozoa y Scyphozoa; *Solmaris flavescens* amplía su distribución geográfica en el Pacífico nororiental, seis especies son registros nuevos para el Pacífico mexicano y diez más lo son para el área de estudio. **Conclusiones.** Este estudio amplía el conocimiento de la diversidad y la distribución de las medusas, un importante grupo del zooplancton marino en las aguas del Pacífico mexicano; los resultados de este trabajo indican que es necesario realizar un mayor esfuerzo de muestreo debido a que este grupo tiene cambios estacionales y su distribución es tanto horizontal como vertical. *Solmundella bitentaculata*, *Liriope teraphylla*, *Aglaura hemistoma* y *Rhopalonema velatum* tienen afinidad biogeográfica en la región circum-subtropical de los océanos. Algunos de los ejemplares de los registros nuevos se encontraron en estadios juveniles, por lo cual, se requiere de mayores esfuerzos para su investigación, con un enfoque multidisciplinario que integre su taxonomía, evolución, filogenia y ciclo de vida.

**Palabras clave:** Hydrozoa, Scyphozoa, Bahía de Banderas, Pacífico mexicano, registros nuevos

<sup>1</sup> Laboratorio de Invertebrados, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad 3000, Circuito Exterior s/n Alcatla Coyoacán, CP 04510 Ciudad Universitaria, CDMX. México.

**\*Corresponding author:**

Magali Roa-Venicio: magaliroa@ciencias.unam.mx

**To quote as:**

Roa-Venicio, M. & M. A. Fernández-Álamo. 2024. Diversidad de medusas (Cnidaria: Medusozoa) en Bahía de Banderas, México y registros nuevos. *Hidrobiológica* 34 (3): 167-178.

#### ABSTRACT

**Background.** The distribution of jellyfish includes diverse oceanic and coastal areas. Most of them have a certain affinity for different masses of water, which depends on their biology and their interaction with biotic and abiotic factors. **Objectives.** Contribute to the knowledge of the biodiversity of jellyfish (Cnidaria: Medusozoa) in the Mexican Pacific. **Methods.** The study material comes from zooplankton samples collected during March and October in 2003 by surface hauls, with a standard net in Banderas Bay, Jalisco-Nayarit, Mexico. **Results.** 7966 jellyfish were determined in 32 species, 34 genera and 26 families, belonging to the classes Hydrozoa and Scyphozoa; *Solmaris flavescens* extend its geographical distribution in the northeastern Pacific, six species are new records for the Mexican Pacific and ten more are for the study area. **Conclusions.** This study expands the knowledge of the diversity and distribution of jellyfish, an important group of marine zooplankton in the Mexican Pacific waters; the results of this work indicate that more sampling effort is needed because this group has seasonal changes, and its distribution is both horizontal and vertical. *Solmundella bitentaculata*, *Liriope teraphylla*, *Aglaura hemistoma* and *Rhopalonema velatum* have biogeographic affinity in the circum-subtropical region of the oceans. Some of the specimens in the new records were found in young stages; therefore, further research efforts are required, with a multidisciplinary approach that integrates their taxonomy, evolution, phylogeny and life cycle.

**Key words:** Hydrozoa, Scyphozoa, Banderas Bay, Mexican Pacific, new records.



## INTRODUCCIÓN.

La clase Hydrozoa es el grupo más diverso del phylum Cnidaria con 3759 especies válidas (WoRMS, 2024). Los cnidarios tienen un ciclo de vida complejo en el que se pueden alternar dos formas morfológicas: la medusa, libre nadadora y el hidroide fijo (Marques & Collins, 2004; Zamponi & Deserti, 2009). Algunas especies solo presentan la primera fase y desarrollan todo su ciclo de vida como parte del plancton (holoplanctónicas), mientras que otras alternan ambas formas y únicamente forman parte de esta comunidad en una fase de su ciclo vida (meroplanctónicas) (Bouillon *et al.*, 2004; Johnson & Allen, 2012).

Las medusas han sido estudiadas en el Pacífico oriental por Maas (1897), Bigelow (1909, 1940), Alvaríño (1965, 1967), Segura-Puertas (1984, 1991), Palma *et al.* (2007), Andrade (2012, 2014), Mujica & Andrade (2019), Baldrich & López (2010, 2013), Rodríguez-Sáenz & Segura-Puertas (2009), Rodríguez-Sáenz *et al.* (2012), entre otros. Algunos de estos estudios realizaron descripciones taxonómicas y analizaron la diversidad, la variación estacional y la distribución. En las aguas del Pacífico mexicano su estudio es escaso; algunos de los autores que han contribuido en el conocimiento de estos cnidarios son: Alvaríño (1999), Fernández-Álamo (2002), Segura-Puertas *et al.* (2010), Jáquez-Bermúdez *et al.* (2014) y recientemente Mendoza-Becerril *et al.* (2020) y Estrada-González *et al.* (2023).

La distribución de medusas se encuentra relacionada por el transporte pasivo o a través de las corrientes marinas, pero también puede ser influida por mecanismos asociados con actividades humanas como el transporte marítimo, lo que ha dado lugar a la introducción de especies no nativas en varias regiones, con el consecuente impacto negativo en la estructura de la comunidad del plancton y en última instancia en la economía pesquera (Purcell *et al.*, 2007, 2013; Bayha & Graham, 2014).

La Bahía de Banderas es considerada una de las cinco Áreas Prioritarias de Conservación Marina (Priority Conservation Areas, PCA) ya que es una de las regiones más productivas para las pesquerías, también es importante desde el punto de vista biogeográfico, porque en ella convergen sistemas de corrientes tropicales y subtropicales. Por otro lado, en ella influyen fenómenos globales climáticos y oceanográficos como el ENSO (El Niño-Southern Oscillation) (Morgan *et al.*, 2005; Calderón-Aguilera & Reyes-Bonilla, 2006; Wilkinson *et al.*, 2009). Sobre esta base, el propósito fundamental de este trabajo es determinar y analizar la composición de la medusofauna. Esta investigación proporciona información básica para la conservación del ecosistema, ya que permite ampliar la información sobre la diversidad de la comunidad planctónica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Bahía de Banderas es una de las áreas de mayor tamaño en el Pacífico oriental abarcando los estados de Nayarit y Jalisco en el noroeste de la República Mexicana; tiene un área total de aproximadamente de 963 km<sup>2</sup>, con una zona litoral de 102 km (IIEG, 2021); se ubica a los 20° 15' y 20° 47' N y los 105° 15' y 105° 42' W, está limitada en el noroeste por Punta Mita, Nayarit y al suroeste por Cabo Corrientes, Jalisco; dentro de ella se encuentra el archipiélago de las Marietas, formado por las islas Redonda, Larga y la Corbeteña; en la bahía convergen cinco cuencas hidrográficas: Tecomala, Cuale, Pitillal, Ameca Ixtapa B y Huicicila (SINA, 2022) y su principal aporte hidrológico y subsidiario de sedimentos es el río Ameca con una descarga anual de 977.38 millones de metros cúbicos de agua (DOF, 2018). En la zona costera y por debajo de los

700 msnm la temperatura ambiental promedio anual oscila entre los 22 a 28 °C. La temporada de lluvias se presenta principalmente entre los meses de junio a octubre y el volumen de precipitación media anual es de 830 a 1 783 mm (Velázquez *et al.*, 2012).

Los periodos de muestreo se realizaron en marzo y octubre del 2003 definiendo 16 localidades distribuidas en el área de estudio (Fig. 1; Tabla 1).

El material de estudio se obtuvo mediante arrastres superficiales, a bordo de una panga con motor fuera de borda, con una duración de 20 min a una velocidad constante de un nudo, utilizando una red estándar de 1.5 m longitud, boca con un diámetro de 50 cm y una apertura de malla de 505 µ; la temperatura (°C) se registró con un multisensor YSI. Las muestras de zooplancton se fijaron y preservaron en formaldeído al 4% neutralizado con borato de sodio.

Para la determinación de medusas se emplearon los trabajos de Mayer (1910), Russell (1953), Kramp (1961, 1965, 1968), Segura-Puertas (1984), Bouillon (1999), Bouillon *et al.* (2004; 2006); el listado de la composición taxonómica de medusas se elaboró de acuerdo con Oliveira *et al.* (2016) y se verificó el nombre científico, válido en WoRMS (2024). Los resultados fueron comparados con los registros publicados previamente para el Pacífico nororiental (Tabla 2) y así determinar su situación en términos de distribución.

Para los registros nuevos de especies se realizaron esquemas y en cada uno de ellos se señala, el mes de estudio, el número de estación y en paréntesis () el número de los ejemplares estudiados, los cuales están depositados en la Colección de Referencia de Zooplancton en el Laboratorio de Invertebrados de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

## RESULTADOS

Durante el periodo de muestreo se recolectaron y procesaron 32 muestras zooplanctónicas de las cuales se separaron 7,966 medusas que fueron ubicadas en 32 especies, 34 géneros y 26 familias, pertenecientes a las clases Hydrozoa y Scyphozoa (Tabla 2). De estas 32 especies, 15 han sido registradas previamente para el Pacífico nororiental: *Stauridiosarsia reesi*, *Sphaecoryne cocometra*, *Bougainvillea muscus*, *Larsonia pterophylla*, *Amphinema australis*, *Aequorea macrodactyla*, *Eucheilota paradoxica*, *Clytia hemisphaerica*, *Solmundella bitentaculata*, *Cunina octonaria*, *Geryonia proboscidalis*, *Liriope teraphylla*, *Aglaura hemistoma*, *Rhopalonema velatum* y *Nausithoe punctata* (Segura-Puertas, 1984, 1991; Alvaríño, 1965, 1967, 1999; Vicencio-Aguilar & Fernández-Álamo, 1996; Fernández-Álamo, 1999, 2002; Segura-Puertas *et al.* 2003, 2010; Rodríguez-Sáenz *et al.*, 2012; Jáquez-Bermúdez *et al.*, 2014).

Varios ejemplares de los géneros *Euphysa*, *Sarsia*, *Tamnostoma*, *Cytaeis*, *Lizzia*, *Mitrocomium*, *Octophialucium* y *Clytia* se encontraron deteriorados, principalmente en las estructuras de importancia taxonómica, por lo cual no fue posible su determinación a nivel de especie; por ello sería recomendable realizar el análisis de otras colecciones de zooplancton o la obtención de nuevas muestras de zooplancton para concluir su estudio; en cuanto a la determinación específica de las medusas del género *Obelia*, se requiere la observación de la fase pólipo o material no fijado (Schuchert, 2003) y por lo tanto de un estudio integral que incluya el análisis de bentos.

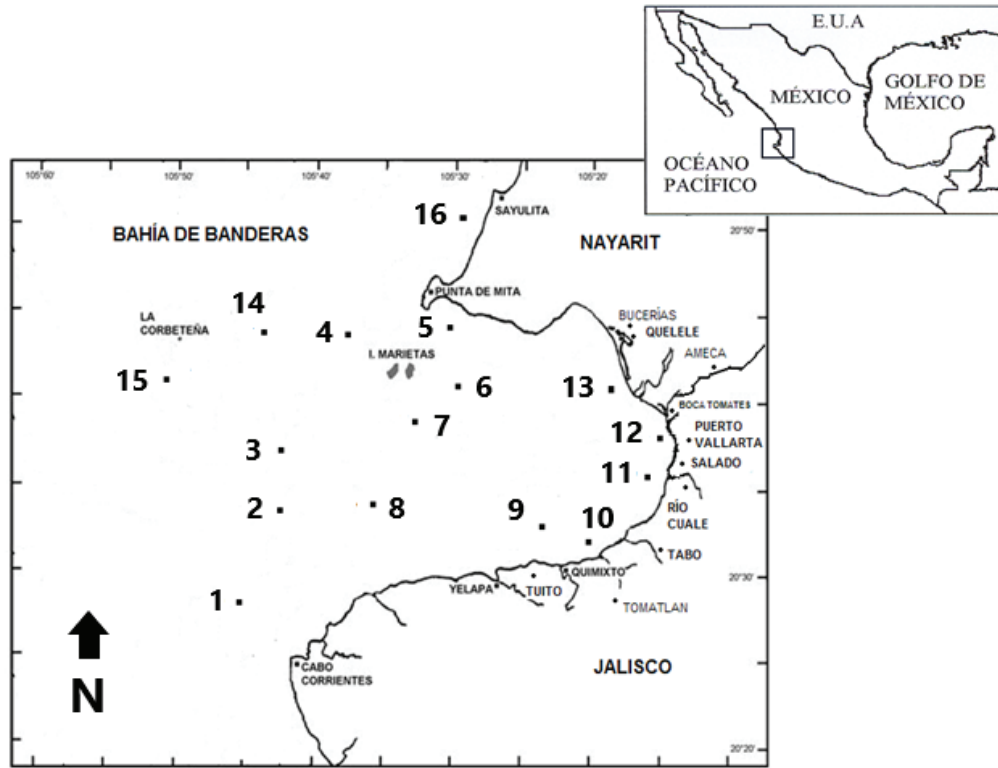


Figura 1. Área de estudio, Bahía de Banderas Jalisco-Nayarit, México

*Solmaris flavescens* amplía su registro de distribución en el Pacífico nororiental. *Corymorpha forbesii*, *Sarsia tubulosa*, *Protiaropsis minor*, *Koellikerina fasciculata*, *Phialella quadrata* y *Solmissus incisa* son registros nuevos para el Pacífico mexicano y diez especies son registros nuevos para el área de estudio: *Stauridiosarsia ophiogaster*, *Zanlea costata*, *Cnidostoma fallax*, *Leukartiara octona*, *L. zaca*, *Lizzia ferrarii*, *Mitrocomella brownei*, *Eutima gracilis*, *Eucheilota duodecimalis* y *Cunina tenella* (Tabla 2).

En este estudio las medusas meroplanctónicas representaron un 71% y las holoplanctónicas 29% del total de los registros (Tabla 2).

Solo se describen los registros nuevos para el Pacífico nororiental y para el Pacífico mexicano.

**Solmarisidae Haeckel, 1879**

***Solmaris* Haeckel, 1879**

***Solmaris flavescens* (Kölliker, 1853; Fig. 2A)**

Localidad tipo: Estrecho de Mesina, Mar Mediterráneo

Material examinado: marzo 2003. Estaciones: 3 (1), 9 (3), 10 (1), 12 (1), 15 (1). Descripción de la medusa (juvenil): la umbrela es de forma lenticular con mesóglea gruesa y de aproximadamente de 5 mm de diámetro; presenta 12 lóbulos marginales de forma cuadrada llevando en su borde de tres a cuatro estatocistos; entre los lóbulos se originan 12 tentáculos marginales con una longitud de más del doble al diámetro de la umbrela y se extienden de forma vertical hacia la región aboral; la cavidad estomacal es circular y no se observan gónadas.

Tabla 1. Posición geográfica y temperatura de las estaciones de muestreo en Bahía de Banderas Jalisco-Nayarit, México durante marzo y octubre del 2003.

| Estación | Latitud N   | Longitud W   | Temperatura superficial del agua °C |         |
|----------|-------------|--------------|-------------------------------------|---------|
|          |             |              | Marzo                               | Octubre |
| 1        | 20° 29' 19" | 105° 43' 12" | 23.0                                | 29.8    |
| 2        | 20° 33' 05" | 105° 43' 01" | 23.0                                | 30.1    |
| 3        | 20° 38' 47" | 105° 41' 01" | 24.5                                | 30.2    |
| 4        | 20° 44' 82" | 105° 36' 62" | 25.0                                | 29.9    |
| 5        | 20° 45' 90" | 105° 30' 38" | 22.4                                | 30.1    |
| 6        | 20° 43' 00" | 105° 33' 20" | 23.5                                | 30.2    |
| 7        | 20° 38' 60" | 105° 32' 22" | 23.0                                | 29.8    |
| 8        | 20° 34' 50" | 105° 34' 30" | 22.5                                | 29.5    |
| 9        | 20° 34' 41" | 105° 25' 41" | 23.0                                | 31.5    |
| 10       | 20° 32' 46" | 105° 21' 15" | 24.0                                | 31.1    |
| 11       | 20° 37' 30" | 105° 14' 68" | 26.0                                | 31.1    |
| 12       | 20° 39' 95" | 105° 16' 12" | 25.0                                | 30.4    |
| 13       | 20° 44' 12" | 105° 21' 00" | 24.0                                | 31.3    |
| 14       | 20° 44' 61" | 105° 46' 29" | 24.0                                | 29.9    |
| 15       | 20° 43' 90" | 105° 50' 40" | 23.0                                | 29.9    |
| 16       | 20° 53' 88" | 105° 28' 47" | 24.0                                | 30.2    |

Distribución mundial: **Pacífico occidental:** en la región sur del mar de China (Liu, 2008) y Papúa Nueva Guinea (Bouillon & Seghers, 1988); **Pacífico oriental:** zona costera en la Península Santa Elena, Ecuador (Mujica & Andrade, 2019). Atlántico occidental: Islas Bahamas (Larson *et al.* 1991); Golfo de México, Tamaulipas (Gutiérrez-Aguirre *et al.*, 2015) y Brasil (Vannucci, 1951; Migotto *et al.*, 2002; Tosetto *et al.*, 2022); **Atlántico oriental:** mar Mediterráneo (Gili *et al.*, 1988; Boero & Bouillon, 1993; Medel & López-González, 1996). **Océano Índico:** en el Golfo de Aden (Vanhöffen, 1908).

Familia Corymorphidae Allman, 1872

*Corymorpha* M. Sars, 1835

*Corymorpha forbesii* (Mayer, 1894; Fig. 2B)

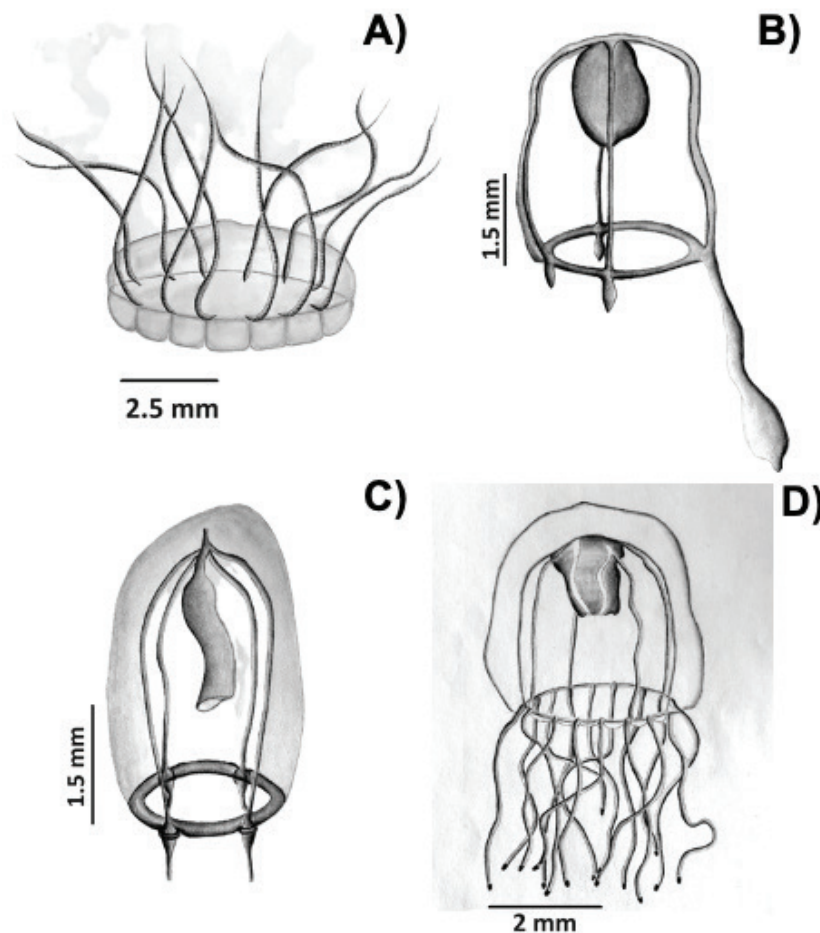
Localidad tipo: Bahamas, Atlántico occidental

Material examinado: octubre 2003. Estaciones: 5 (4), 6 (2), 12(1).

Descripción de la medusa: umbrela de forma elipsoidal de aproximadamente 3 mm de alto, con mesóglea delgada y sin nematocistos

en la exumbrela; cuatro canales radiales; el margen de la umbrela es asimétrico con cuatro pequeños bulbos tentaculares, uno de los tentáculos es más largo y termina de forma ensanchada, con una agregación de nematocistos, sin yema medusoide; manubrio ancho; las gónadas rodean el manubrio.

Distribución mundial: **Pacífico occidental:** Bahía Luoyuan, estrecho de Taiwan (Xu & Huang, 2004), Golfo Beibu, China (Du *et al.*, 2012); Papúa, Nueva Guinea (Bouillon & Seghers, 1988) y Nueva Zelanda (Bouillon & Barnett, 1999; Schuchert, 1996). **Pacífico oriental:** Bahía Culebra, Costa Rica (Rodríguez-Sáenz *et al.*, 2012). **Atlántico occidental:** norte del Golfo de México (Phillips, 1972; Felder & Camp, 2009); península de Yucatán y Caribe mexicano (Correia, 1992; Segura-Puertas, 1992; Segura-Puertas & Ordoñez-López, 1994; Loman-Ramos *et al.*, 2007); Brasil, Río Grande (Navas-Pereira, 1974; Migotto *et al.*, 2002), Paraná, Santa Catarina (Migotto *et al.*, 2002; Nogueira-Junior *et al.*, 2014; Nogueira-Junior *et al.*, 2015), Río de Janeiro (Tronolone, 2008, Navas-Pereira, 1980), Sao Paulo (Silveira & Morandini, 2011), Bahía Babitonga (Nogueira-Junior, 2012), Paranaguá (Nascimento *et al.*, 2019), Bahía de Sepetiba (Navas-Pereira, 1980) ; Sergipe (Migotto



**Figura 2.** Hidromedusas de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. A) *Solmaris flavescens* (Kölliker, 1853) juvenil, modificado de Bouillon (1999). B) *Corymorpha forbesii* (Mayer, 1894). C) *Sarsia tubulosa* (M. Sars, 1835) juvenil, modificado de Russell (1953). D) *Protiariopsis minor* (Vanhöffen, 1911) juvenil, modificado de Bouillon (1999).

*et al.*, 2002). **Atlántico oriental:** mar Mediterráneo, frente a las costas de Cataluña, España (Gili *et al.*, 1988). Océano Indico: Mar Árabe y Bahía Bengala (Navas-Pereira & Vannucci, 1991).

Familia Corynidae Johnston, 1836

*Sarsia* Lesson, 1843

*Sarsia tubulosa* (M. Sars, 1835; Fig. 2C)

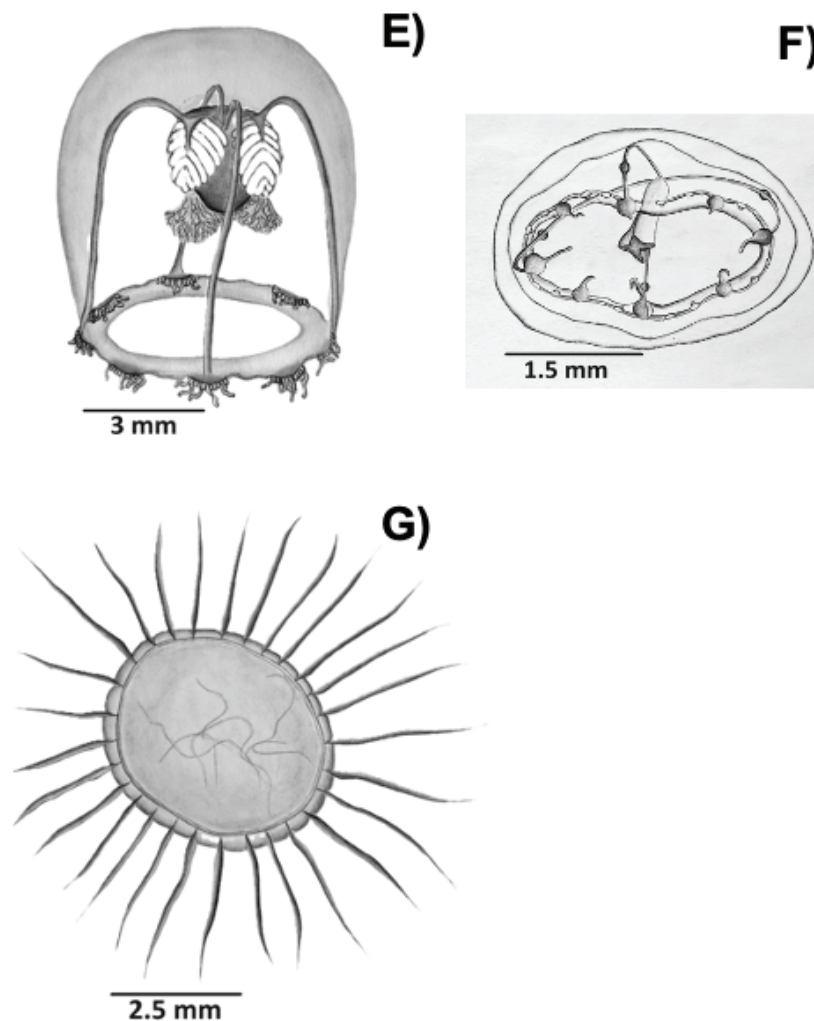
Localidad tipo: Mar de Barents, Noruega-Rusia

Material examinado: octubre 2003. Estaciones: 5(1), 6(1).

Descripción de la medusa (juvenil): umbrela en forma de campana de 3 y 5 mm de alto, regularmente más alta que ancha, con una cámara apical y las paredes ligeramente engrosadas con nematocistos; cuatro canales radiales con engrosamientos glandulares; cuatro bulbos tentaculares, en posición radial, con un ocelo; los tentáculos presentan

agregaciones de nematocistos en toda la su longitud; el velo es ancho; el manubrio es tubular y en los adultos se extiende más allá del margen de la umbrela, con las gónadas rodeandolo a todo su largo, dejando libre solo su parte superior del manubrio y termina en una boca simple.

Distribución mundial: **Pacífico oriental:** Madeiras Park, Canadá (Lamb & Hanby, 2005); desde Puget Sound hasta San Francisco (Russell, 1953); California (Alvariño, 1999); Bahía Culebra, Golfo de Papagayo, Costa Rica (Rodríguez-Sáenz *et al.*, 2012). **Atlántico oriental:** estuarios del Golfo Saint Lawrence, Canadá (Brunel *et al.*, 1998); Bahía Cobscook, Golfo Maine, EUA (Trott, 2004); Golfo de México, en Laguna Madre, Tamaulipas (Mendoza-Becerril *et al.*, 2009). **Atlántico occidental:** Islas Británicas (Russell, 1953), Sandgerdi, Islandia (Schuchert, 2001), mar Mediterráneo (Boero & Bouillon, 1993; Bouillon & Boero, 2000), costas de Cataluña, España (Medel & López-González, 1996, Riera *et al.*, 1986).



**Figura 3.** Hidromedusas en Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. E) *Koellikerina fasciculata* (Péron & Lesueur, 1810), modificado de Schuchert (2007). F) *Phialella quadrata* (Forbes, 1848) juvenil, modificado de Russell (1953). G) *Solmissus incisa* (Fewkes, 1886) juvenil.

### Familia Bythotiaridae Maas, 1905

#### *Protiariopsis* Stechow, 1919

#### *Protiariopsis minor* (Vanhöffen, 1911; Fig. 2D)

Localidad tipo: Islas Nias, Indonesia

Material examinado: octubre 2003. Estación 14 (2).

Descripción de la medusa (juvenil): umbrella en forma globosa con aproximadamente 5 mm de alto y 4 mm de ancho, con paredes gruesas; cuatro canales radiales, sin conductos centripetales; 16 tentáculos largos (estos se pueden encontrar contraídos por la fijación), cada uno termina en una protuberancia globosa cubierta con nematocistos; sin tentáculos secundarios; estómago pequeño; en los adultos las gónadas se encuentran en posición interrredial.

Distribución mundial. **Pacífico occidental:** la Bahía Luoyuan, Taiwan (Xu & Huang, 2004); Golfo Beibu, China (Du *et al.*, 2012); noreste de Australia (Kramp, 1968). **Pacífico oriental:** California, EUA (Alvaríño, 1999); sur de Chile (Palma *et al.*, 2007). **Atlántico sur,** oriental, occidental y Antártico (Bouillon, 1999). **Océano Índico:** Mar Arábigo y Bahía Bengala (Navas-Pereira & Vannucci, 1991; Pagès *et al.*, 1992); suroccidente de India (Santhakumari, 1977).

### Familia Bougainvilliidae Lütken, 1850

#### *Koellikerina* Kramp, 1939

#### *Koellikerina fasciculata* (Péron & Lesueur, 1810; Fig. 3E)

Localidad tipo: Costas de Niza, Mar Mediterráneo

Material examinado: marzo 2003. Estación: 8 (1).

Descripción de la medusa: umbrella, en forma de barril de 7 mm de alto y 6 mm de ancho, con ápice redondeado y paredes gruesas; el velo es estrecho; cuatro canales radiales amplios y lisos; el manubrio sin pedúnculo es de forma cuadrangular y su longitud ocupa la mitad de la cavidad umbrelar; boca cruciforme, sin labios; con cuatro agrupaciones de tentáculos orales cortos, que están insertados entre la boca y las gónadas, los tentáculos orales son dicotómicos se ramifican de 6-8 veces; cuatro gónadas adradiales en forma de herradura con surcos transversales; ocho bulbos tentaculares marginales con base ancha de forma triangular, cuatro se en posición perradial y cuatro en posición interrredial; cada uno lleva 12 tentáculos cortos con ocelo rojizo en su base.

Distribución mundial. **Océano Pacífico occidental:** Bahía Luoyuan, Taiwan (Xu & Huang, 2004). Océano Pacífico nororiental: Bahía Culebra y Golfo de Papagayo, Costa Rica (Rodríguez-Sáenz *et al.*, 2012). **Océano Atlántico occidental:** sureste del Golfo de México (Martell-Hernández *et al.*, 2014). **Océano Atlántico oriental:** noroeste de las costas de Escocia y Noruega (Schuchert, 2007); región sur, Cabo Verde (Schmidt, 1973); Mediterráneo (Kramp, 1961); Nápoles, Italia (Petersen & Vannucci, 1960; Brinckmann-Voss, 1970); Villefranche-sur-Mer (Schuchert, 2007); Cataluña, España. (Gili *et al.*, 1988; Medel & López-González, 1996; Boero & Bouillon, 1993), noreste del mar Marmara (Isinibilir *et al.*, 2015). Mar Negro (Schmidt, 1973). **Océano Índico:** Mar Rojo (Schmidt, 1973), Mar Arábigo (Vannucci & Navas, 1973; Navas-Pereira & Vannucci, 1991); Bahía Bengala (Pagès *et al.*, 1992).

### Familia Phialellidae Russell, 1953

#### *Phialella* Browne, 1902

#### *Phialella quadrata* (Forbes, 1848); Fig. 3F)

Localidad tipo: Tarbet, Escocia

Material examinado: marzo 2003. Estación: 13 (3).

Descripción de la medusa (juvenil): Umbrella de forma hemisférica de 3 mm de diámetro con mesoglea ligeramente gruesa; el velo es ancho; el manubrio es cuadrado y corto con una pequeña base; cuatro labios ligeramente curvos; cuatro canales radiales y un canal circular; gónadas pequeñas en forma circular ubicadas en la parte distal de los canales radiales, sin llegar al margen de la umbrella; el borde de la umbrella presenta 8 vesículas, de 2-8 concreciones, 8 bulbos tentaculares marginales, cuatro están en posición perradial y los otros cuatro en posición interrredial, sin ocelos con 8 estatocistos.

Distribución mundial. **Pacífico occidental:** sur de Australia (Hewitt, 2002); Nueva Zelanda (Bouillon & Barnett, 1999). **Pacífico oriental:** California, EUA (Alvaríño, 1999); sur de Chile (Palma & Apablaza, 2004; Palma *et al.*, 2007), Bahía Valparaíso y Golfo Arauco (Fagetti, 1973). **Atlántico occidental:** Golfo de México, Laguna Madre, Tamaulipas (Mendoza-Becerril *et al.*, 2009). **Atlántico oriental:** Islas británicas (Russell, 1953); Golfo de Guinea (Kramp, 1955); Bahía Santa Helena, sureste Benguela, África (Buecher & Gibbons, 2000). Mediterráneo (Boero & Bouillon, 1993); La Ciotat, Francia (Galea, 2007); Cataluña, España (Medel & López-González, 1996); Líbano (Goy *et al.*, 1991). **Océano Índico:** Bahía Bengala (Navas-Pereira & Vannucci, 1991).

### Familia Cuninidae Bigelow, 1913

#### *Solmissus* Haeckel, 1879

#### *Solmissus incisa* (Fewkes, 1886; Fig. 3G)

Localidad tipo: costas de Long Island hasta Carolina del Norte, EUA.

Material examinado: marzo 2003. Estaciones 16(2), 18(1).

Descripción de la medusa (juvenil): umbrella en forma de disco, de 5 mm de diámetro; la exumbrella es lisa; mesoglea ligeramente engrosada; velo bien desarrollado; manubrio largo y circular que se extiende en toda la subumbrella; el margen de la umbrella es flexible; presenta de 20-40 bolsas perradiales, entre cada septo se presentan los tentáculos; 28 tentáculos marginales que son rígidos, su longitud puede ser igual al diámetro de la umbrella o mayor; sin conducto marginal; no se observan las gónadas, las lapetas son de forma rectangular, de 2-5 estatocistos, sin atoporpa.

Distribución mundial. **Pacífico occidental:** Kamchatka, Rusia; Japón (Kramp, 1965); Nueva Zelanda (Bouillon, 1995; Bouillon & Barnett, 1999). **Pacífico oriental:** estrecho de Bering (Kramp, 1965); Golfo de Alaska (Bigelow, 1913); Columbia Británica, Canadá hasta Puget Sund, Washington, EUA (Arai & Brinckmann-Voss, 1980); región tropical (Bigelow, 1909); Golfo de Panamá (Kramp, 1959); Punta Aguja y Callao, Perú, (Bigelow, 1909). **Atlántico occidental:** Golfo Saint Lawrence, Canadá (Brunel *et al.*, 1998), Dry Tortugas, Islas Bahamas, EUA (Larson *et al.*, 1991); Golfo de México (Phillips, 1972). **Atlántico oriental:** Islas británicas (Russell, 1953); Escocia (Kramp, 1965). Mar mediterráneo (Boero & Bouillon, 1993; Bouillon *et al.*, 2006).

**Tabla 2.** Medusas en Bahía de Banderas, hábitat (Hb): Meroplanctónica (M), Holoplanctónica (H); (x) registros de medusas en el Océano Pacífico nororiental, los números (1-12) corresponden a las publicaciones; (\*) ampliación de distribución en el Pacífico nororiental; (\*) nuevo registro para el Pacífico mexicano; (+) nuevo registro para Bahía de Banderas.

| Familia                           | Taxones   | Hb | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------------------------------|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| Corymorphidae Allman, 1872        | <i>Corymorpha forbesii</i> * (Mayer, 1894)                | M  |   |   |   |   | X |   |   |   |   |    |    | x  |
| Euphysidae Haeckel, 1879          | <i>Euphysa</i> sp. Forbes, 1848                           | M  |   |   |   |   | X |   |   |   |   |    | x  |    |
| Corynidae Johnston, 1836          | <i>Sarsia</i> sp. Lesson, 1843                            | M  | x |   |   |   | x |   |   |   |   |    |    | x  |
|                                   | <i>Sarsia tubulosa</i> * (M Sars, 1835)                   | M  |   |   |   |   | x |   |   |   |   |    |    | x  |
|                                   | <i>Stauridiosarsia ophiogaster</i> * (Haeckel, 1879)      | M  | x |   |   |   | x |   |   |   |   | x  | x  | x  |
|                                   | <i>Stauridiosarsia reesi</i> (Vannucci, 1956)             | M  | x |   |   |   |   |   |   |   | x |    | x  | x  |
| Sphaerocorynidae Prévot, 1959     | <i>Sphaerocoryne cocometra</i> (Bigelow, 1909)            | M  |   | x | x | x | x | x | x | x |   |    |    | x  |
| Zanclidae Russell, 1953           | <i>Zanclia costata</i> * Gegenbaur, 1856                  | M  | x | x |   |   | x |   |   |   |   |    |    | x  |
| Bythotiaridae Maas, 1905          | <i>Protiaropsis minor</i> * (Vanhöffen, 1911)             | M  |   |   |   |   |   | x |   |   |   |    |    | x  |
| Bougainvilliidae Lütken, 1850     | <i>Bougainvillia muscus</i> (Allman, 1863)                | M  | x |   |   |   | x |   |   |   | x | x  |    | x  |
|                                   | <i>Koellikerina fasciculata</i> * (Péron & Lesueur, 1810) | M  |   |   |   |   | x |   |   |   |   |    |    | x  |
|                                   | <i>Thamnostoma</i> sp. (Haeckel, 1879)                    | M  | x | x |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |
| Cytaeidae L. Agassiz, 1862        | <i>Cytaeis</i> sp. Eschscholtz, 1829                      | M  | x | x |   | x |   |   | x | x | x |    |    | x  |
| Hydractiniidae L. Agassiz, 1862   | <i>Cnidostoma fallax</i> * Vanhöffen, 1911                | M  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | x  | x  | x  |
| Pandeidae Haeckel, 1879           | <i>Larsonia pterophylla</i> (Haeckel, 1879)               | M  | x | x |   | x |   |   |   | x | x |    |    | x  |
|                                   | <i>Amphinema australis</i> (Mayer, 1900)                  | M  |   |   |   |   | x |   |   |   | x |    |    | x  |
|                                   | <i>Leukartiara octona</i> * (Fleming, 1823)               | M  | x |   |   |   |   |   |   | x |   |    |    | x  |
|                                   | <i>Leukartiara zaca</i> * Bigelow, 1940                   | M  | x | x |   |   | x | x |   |   |   |    |    | x  |
| Rathkeidae Russell, 1953          | <i>Lizzia</i> sp. Forbes, 1848                            | M  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |
|                                   | <i>Lizzia ferrarii</i> * Segura, 1980                     | M  | x | x |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |
| Mitrocomidae Haeckel, 1879        | <i>Mitrocomella browneri</i> * (Kramp, 1930)              | M  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | x  |    | x  |
| Phialellidae Russell, 1953        | <i>Phialella quadrata</i> * (Forbes, 1848)                | M  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |
| Aequoreidae Eschscholtz, 1829     | <i>Aequorea macrodactyla</i> (Brandt, 1835)               | M  |   | x | x |   | x |   |   |   | x |    | x  | x  |
| Eirenidae Haeckel, 1879           | <i>Eutima garacilis</i> * (Forbes y Goodsir, 1851)        | M  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | x  | x  | x  |
| Lovenellidae Russell, 1953        | <i>Mitrocomium</i> sp. (Haeckel, 1879)                    | M  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |
| Eucheilotidae Bouillon, 1984      | <i>Eucheilota duodecimalis</i> * A. Agassiz, 1862         | M  | x |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |
|                                   | <i>Eucheilota paradoxica</i> Mayer, 1900                  |    |   |   | x |   |   | x |   |   | x | x  | x  |    |
| Malagazziidae Bouillon, 1984      | <i>Octophialucium</i> sp. Kramp, 1955                     |    |   | x | x |   |   |   |   |   |   | x  | x  |    |
| Clytiidae Cockerell, 1911         | <i>Clytia</i> sp. Lamoroux, 1812                          | M  |   |   |   |   |   |   |   | x | x |    |    | x  |
|                                   | <i>Clytia hemisphaerica</i> (Linnaeus, 1767)              | M  |   |   |   |   | x |   |   |   | x |    | x  | x  |
| Obeliidae Haeckel, 1879           | <i>Obelia</i> spp. Péron & Lesueur, 1810                  | M  | x |   |   |   | x |   | x | x | x | x  | x  | x  |
| Aeginidae Gegenbaur, 1856         | <i>Solmundella bitentaculata</i> (Quoy y Gaimard, 1833)   | H  | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x  | x  | x  |
| Cuninidae Bigelow, 1913           | <i>Cunina octonaria</i> McCrady, 1857                     | H  | x | x | x | x | x |   |   |   | x | x  |    | x  |
|                                   | <i>Cunina tenella</i> * (Bigelow, 1909)                   | H  | x | x |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |
|                                   | <i>Solmissus incisa</i> * (Fewkes, 1886)                  | H  | x | x |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |
| <i>Solmarisidae</i> Haeckel, 1879 | <i>Solmaris flavescens</i> s (Kölliker, 1853)             |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |
| Geryoniidae Eschscholtz, 1829     | <i>Geryonia proboscidalis</i> (Forsskål, 1775)            | H  | x | x | x | x |   |   |   | x | x |    |    | x  |
|                                   | <i>Liriope tetraphylla</i> (Chamisso y Eysenhardt, 1821)  | H  | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x  | x  | x  |
| Rhopalonematidae Russel, 1953     | <i>Aglaura hemistoma</i> Péron y Lesueur, 1810            | H  | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x  |    | x  |
|                                   | <i>Rhopalonema velatum</i> Gegenbaur, 1856                | H  | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x  |    | x  |
| Nausithoidae Haeckel, 1880        | <i>Nausithoe punctata</i> Kölliker, 1853                  | H  | x | x | x | x |   |   | x | x | x |    |    | x  |

1. Segura-Puertas *et al.* (2003); 2. Segura-Puertas (1984); 3. Segura-Puertas (1991); 4. Vicencio-Aguilar & Fernández-Álamo, (1996); Fernández-Álamo (1999); 5. Rodríguez-Sáenz *et al.* (2012); 6. Alvarino (1999); 7. Segura-Puertas *et al.* (2010); 8. Jáquez-Bermúdez *et al.* (2014); 9. Fernández-Álamo (2002); 10. Guerrero-Ruiz *et al.* (2014); 11. Marzo y 12. Octubre (este estudio)

## DISCUSIÓN

Los estudios taxonómicos son una herramienta útil que proporciona un mayor conocimiento de la biodiversidad, la cual es importante para avanzar en el estudio de la comunidad zooplanctónica y su relación con la ecología, biología, cambio climático, pesquerías, acuicultura y el turismo (Lucas *et al.*, 2014).

En este estudio la clase Hydrozoa fue la más diversa con 31 especies, mientras que solo una especie pertenece a la clase Scyphozoa lo cual coincide con la estructura de la comunidad en otros estudios, por ejemplo, en Fernández-Álamo (2002), Segura-Puertas *et al.* (2010) Jáquez-Bermúdez *et al.* (2014) y Estrada-González *et al.* (2023).

En *Solmaris flavescens*, *S. tubulosa*, *P. minor*, *P. quadrata* y *S. incisa* solo se encontraron ejemplares en estadios juveniles que coinciden con las descripciones de Russell (1953), Kramp (1965, 1968), Bouillon (1999), Bouillon *et al.* (2004) y Schuchert (2007); en estas especies el número de individuos fue escaso por lo que realizar colectas a mayor profundidad y en periodos más largos pueden aportar más datos útiles para avanzar en el conocimiento de su taxonomía.

De acuerdo con los antecedentes bibliográficos de las medusas en Bahía de banderas, *S. ophiogaster*, *Z. costata*, *C. fallax*, *L. octona*, *L. zaca*, *L. ferrarii*, *M. brownei*, *E. gracilis*, *E. duodecimalis* y *C. tenella* no se habían observado, por lo cual su registro en esta área del Pacífico mexicano constituye una contribución al conocimiento de la diversidad de la medusofauna. De éstas especies, es importante destacar que las tallas de *C. fallax* fueron menores a las registradas en las descripciones de Bouillon (1999) y Nogueira-Junior (2012), sin embargo los caracteres diagnósticos corresponden sin duda a esta especie; esta hidromedusa solo se había registrado en las aguas del Pacífico mexicano en la Bahía de Acapulco, México (Guerrero-Ruiz *et al.* 2014), mientras que a nivel mundial únicamente se ha observado en el Océano Atlántico, frente a las costas de África (Vanhöffen, 1911; Picard & Rahm, 1954; Kramp, 1959; Bouillon, 1999) y en Brasil (Nogueira-Junior, 2012; Nogueira-Junior & Costa, 2019; Teixeira-Amaral *et al.*, 2017; Nascimento *et al.*, 2019). Nogueira-Junior & Costa (2019) consideran a *C. fallax* como una especie no nativa para las costas de Brasil y Teixeira-Amaral *et al.* (2021) señalan que estas medusas son activas depredadoras de copépodos, por lo que son competidoras de alimento de huevos, larvas de peces y crustáceos, causando un efecto negativo en organismos de interés pesquero, además Nascimento *et al.* (2019) denotan cambios inesperados en la estructura de la comunidad de medusas particularmente de la población de *L. tetraphylla*. En este sentido es importante señalar que *C. fallax* tiene reproducción asexual por yemas medusoides (Kawamura & Kubota, 2008), lo que le confiere una gran ventaja sobre otras especies del zooplancton marino, pudiendo incrementar rápidamente su población en condiciones favorables como lo han documentado Teixeira-Amaral *et al.* (2017), razón por la cual sería importante evaluar si esta especie representa un riesgo en las pesquerías explotadas en las costas del Pacífico de nuestro país.

Una de las explicaciones de su presencia en el área de estudio podría deberse al agua de lastre y las bioincrustaciones que son reconocidas como vías no intencionales que provocan la introducción de especies acuáticas no nativas y que pueden causar problemas ecológicos y económicos (Mendoza *et al.*, 2014).

Otro aspecto a considerar es que el mayor número de registros en este estudio puede ser debido a que Bahía de Banderas se ubica en la

convergencia de las zonas biogeográficas (tropical y subtropical), porque se observaron especies de ambos ambientes como son: *Z. costata*, *L. zaca*, *E. duodecimalis*, *E. paradoxica*, *S. bitentaculata*, *G. proboscidalis*, *L. tetraphylla*, *A. hemistoma*, *R. velatum* y *N. punctata*, de la zona subtropical y *S. cocometra*, *L. pterophylla*, *L. zaca*, *L. ferrarii*, *A. macrodactyla*, *C. octonaria* y *C. tenella* que prefieren aguas tropicales.

En general, en este estudio *S. bitentaculata*, *L. tetraphylla*, *A. hemistoma* y *R. velatum* estuvieron cualitativamente mejor representadas, cuya distribución biogeográfica corresponde a la zona circum-(sub) tropical (WoRMS, 2024), lo cual coincide con lo observado por: Segura-Puertas (1984, 1991), Segura-Puertas *et al.* (2003, 2010), Vicencio-Aguilar & Fernández-Álamo, (1996), Fernández-Álamo (1999, 2002), Rodríguez-Sáenz *et al.* (2012), Alvaríño (1999), Jáquez-Bermúdez *et al.* (2014) y Guerrero-Ruiz *et al.* (2014). De acuerdo con Segura-Puertas *et al.* (2010) *L. tetraphylla* es considerada como cosmopolita.

Tomando en consideración la escasez de trabajos en el Pacífico mexicano esta contribución aporta conocimiento en la biodiversidad de medusas. También es necesario considerar que en este estudio el muestreo se ha realizado solo en las aguas superficiales y las medusas tienen una amplia distribución horizontal y vertical (Alvaríño, 1999), además de presentar cambios estacionales en sus poblaciones (Purcell *et al.* 2007), por lo cual es de suma importancia dar continuidad a este tipo estudios incluyendo análisis de su distribución vertical, estacional y ontogenética.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo a través del proyecto cambio ambiental, dinámica de los hábitos de la ballena jorobada y conformación de la mastofauna marina en la boca del Golfo de California y las Islas Revillagigedo, bajo la responsabilidad de Luis Medrano González, proyecto de CONACyT/Facultad de Ciencias, UNAM y se desarrolló en el Laboratorio de Invertebrados de la Facultad de Ciencias, UNAM. Las autoras agradecen a Lisette Adaia Roa Venicio, por la elaboración de los esquemas de las medusas. Así como a los revisores anónimos por sus atinadas observaciones y comentarios que permitieron mejorar este trabajo.

## REFERENCIAS

- ALVARIÑO, A. 1965. Zoogeografía del Mar de Cortés, quetognatos, sifonóforos y medusas. Anales del Instituto de biología, Universidad Nacional Autónoma de México. *Serie Ciencias del Mar y Limnología* 40, 11-54.
- ALVARIÑO, A. 1967. Bathymetric distribution of Chaetognatha, Siphonophorae, Medusae and Ctenophorae off San Diego California. *Pacific Science* 21: 474-485.
- ALVARIÑO, A. 1999. Hidromedusas: abundancia batimétrica diurna-nocturna y estacional en aguas de California y Baja California y estudio de las especies en el Pacífico Oriental y otras regiones. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 34: 1-90.
- ANDRADE, C. 2012. Distribución estacional y ecológica de las medusas (Cnidaria: Hydrozoa) en la zona costera sur de la Bahía Santa Elena durante el periodo (octubre 2004-octubre 2005). *Acta Oceanográfica del Pacífico* 1: 127-138.

- ANDRADE, C. 2014. Medusas y Sifonóforos del estuario del Río Mataje-Bahía Ancón de Sardinias. *Acta Oceanográfica del Pacífico* 19 (2):105–117.
- ARAI, M. N. & A. BRINCKMANN-VOSS. 1980. Hydromedusae of British Columbia and Puget Sound. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences* 204: 192 p.
- BALDRICH, A. M. & R. H. LÓPEZ. 2010. Hidromedusas mesozooplancónicas del océano Pacífico colombiano, *Biota colombiana* 11 (1-2): 3-11.
- BALDRICH, A. M. & R. H. LÓPEZ. 2013. Hidromedusas del Pacífico colombiano: aspectos básicos de su dinámica ecológica. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 9 (1): 108-131.
- BAYHA, K. M. & W. M. GRAHAM. 2014. Nonindigenous marine jellyfish: Invasiveness, invasibility, and impacts. In: Lucas, C. H. & K. A. Pitt (Eds.) Jellyfish blooms. *Springer*, Dordrecht, Netherlands pp 45-77. DOI:10.1007/978-94-007-7015-7\_2, 9
- BIGELOW, H. B. 1909. *The Medusae: Reports on the scientific results of the expedition to the eastern tropical pacific*, in charge of Alexander Agazzis, by the U. S. Fish Commission steamer Albatros from October 1904, to March 1905. XVI Memoirs of the Museum of comparative Zoology at Harvard Collage 37: 1-243.
- BIGELOW, H. B. 1913. *Medusae and Siphonophorae collected by the U.S. Fisheries Steamer "Albatross" in the northwestern Pacific, 1906*. Proceedings of the United States National Museum 44: 1-119.
- BIGELOW, H. B. 1940. *Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society: XX Medusae of the Templeton Crocker and Eastern Pacific Zaca Expeditions, 1936-1938*. Zoologica 25: 281-321.
- BOERO, F. & J. BOUILLON. 1993. Zoogeography and life cycle patterns of Mediterranean hydromedusae (Cnidaria). *Biological Journal of the Linnean Society* 48: 239–266.
- BOUILLON, J. 1995. Hydromedusae of the New Zealand Oceanographic Institute (Hydrozoa, Cnidaria). *New Zealand Journal of Zoology* 22 (2): 223-238. DOI:10.1080/03014223.1995.9518038
- BOUILLON, J. 1999. *Hydromedusae*. In: Boltovskoy, D. (Ed). South Atlantic Zooplankton. Backhuys, Leiden, the Netherlands 1: 385-465.
- BOUILLON, J. & T. J. BARNETT. 1999. The marine fauna of New Zealand: *Hydromedusae (Cnidaria: Hydrozoa)*. NIWA Biodiversity Memoirs, New Zealand 113: 5-136.
- BOUILLON, J. & F. BOERO. 2000. Phylogeny and classification of Hydroidomedusae. *Thalassia Salentina* 24: 5-296.
- BOUILLON, J. & G. SEGHERS. 1988. Notes additionnelles sur les méduses de Papuasie Nouvelle-Guinée (Hydrozoa, Cnidaria) III. *Indo-Malayan Zoology* 5: 225-253.
- BOUILLON, J., C. GRAVILLI, F. PAGÈS, J. M. GILI & F. BOERO. 2006. *An Introduction to Hydrozoa*. Publications Scientifiques du Muséum, Paris, 591p.
- BOUILLON, J., M. D. MENDEL, F. PAGÈS, J. M. GILI, F. BOERO & C. GRAVILLI. 2004. Fauna of the Mediterranean Hydrozoa, *Scientia Marina*, 68 (suppl 2): 5-438.
- BRINCKMANN-VOSS, A. 1970. Anthomedusae-Athecatae (Hydrozoa, Cnidaria) of the Mediterranean. Part I, Capitata. *Fauna e Flora del Golfo di Napoli* 39: 1–96.
- BRUNEL, P., L. BOSSÉ & G. LAMARCHE. 1998. Catalogue of the marine invertebrates of the estuary and Gulf of Saint Lawrence. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences* 126: 405 p.
- BUECHER, E. & M. J. GIBBONS. 2000. Interannual variation in the composition of the assemblages of medusae and ctenophores in St Helena Bay, Southern Benguela Ecosystem. *Scientia Marina* 64 (Suppl. 1): 123-134.
- CALDERÓN-AGUILERA, L. E. & H. REYES-BONILLA. 2006. Can local oceanographic conditions in the Mexican Pacific buff the El Niño-Southern oscillation effects on coral reefs? *Proceedings of 10th, International Coral Reef Symposium* 118-1143.
- CORREIA, V. K. 1992. Medusas del Golfo de México y litoral norte/noreste de Brasil (ocurrencia y distribución). Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México. 264 p.
- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2018. Acuerdo por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Salado, Cocula, Ahuacatlán, Atenguillo, Ameca Pijinto, Ameca Ixtapa A, Talpa, Mascota y Ameca Ixtapa B, de la Región Hidrológica número 14 Río Ameca. México. Disponible en línea en: <https://www.dof.gob.mx/> (Consultado el 12 enero 2024).
- DU, F. Y., Z. Z. XU, J. Q. HUANG & D. H. GUO. 2012. Studies on the medusae (Cnidaria) from the Beibu Gulf in the northern south China sea, with description of three new species. *Acta Zootaxonomica Sinica* 37: 506-519.
- ESTRADA-GONZÁLEZ, M. C., J. AGÜERO & M. A. MENDOZA-BECERRIL. 2023. Medusozoans (Cnidaria) from the Mexican Pacific: a review based on historical literature and recent observations. *Journal of Natural History* 57:13-16, 784-853. DOI: 10.1080/00222933.2023.2214967
- FAGETTI, E. 1973. Medusas de aguas chilenas. *Revista de Biología Marina Valparaíso* 15 (1): 31-75.
- FELDER, D. L. & D.K. CAMP (Eds.). 2009. *Gulf of Mexico: origin, waters, and biota*. Volume 1, Biodiversity. Texas A&M University Press, 1393 p.
- FERNÁNDEZ-ÁLAMO, M. A. 1999. Colección de zooplancton de invertebrados: Hydrozoa (Cnidaria) y Polychaeta (Annelida). Universidad Nacional Autónoma de México, Informe final SNIB-CONABIO Proyecto N° H259
- FERNÁNDEZ-ÁLAMO, M. A. 2002. Sifonóforos, medusas, poliquetos y que-tognatos pelágicos de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO proyectos No S147. México, D.F.
- GALEA, H. R. 2007. Hydrozoa, La Ciotat and nearby areas, Mediterranean coast of France. *Check List* 3 (3): 193-199.
- GILI, J. M., F. PAGÈS, A. SABATES & J. D. ROS. 1988. Small-Scale distribution of a cnidarian population in the western Mediterranean. *Journal of Plankton Research* 10 (3): 385-401.
- GOY, J., S. LAKKIS & R. ZEIDANE. 1991: Les Meduses (Cnidaria) dex eaux libanais. *Annales de l'Institut Océanographique* Paris 67: 99-128.
- GUERRERO-RUIZ, J. M., M. A. FERNÁNDEZ-ÁLAMO & A. ROJAS-HERRERA. 2014. Estudio preliminar de las medusas de la Bahía de Acapulco, Guerrero en diciembre de 2013. *Foro de Estudios sobre Guerrero* 1 (2):392–395.



- GUTIÉRREZ-AGUIRRE, M. A., V. H. DELGADO-BLAS & A. CERVANTES-MARTÍNEZ. 2015. Diversidad de las hidromedusas (Cnidaria) de la región nerítica del sureste de Tamaulipas, México. *Teoría y Praxis* 18:153-167.
- HEWITT, C. L. 2002. Distribution and biodiversity of Australian tropical marine bioinvasions. *Pacific Science* 56 (2): 213-222.
- IIEG (INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA DE JALISCO). 2021. Área Metropolitana Interestatal de Puerto Vallarta-Bahía de Banderas. Gobierno del Estado de Jalisco, México. 37 p.
- ISINIBILIR, M., I. N. YILMAZ & N. DEMIREL. 2015. New records of jellyfish species in the Marmara Sea, *Italian Journal of Zoology* 82 (3): 425-429. DOI: 10.1080/11250003.2015.1040858
- JÁQUEZ-BERMÚDEZ, L. S., L. CELIS-GUTIÉRREZ & M. C. FRANCO-GORDO. 2014. Medusas (Cnidaria: Medusozoa) de la costa sur de Jalisco y Colima. In: Franco-Gordo, M.C. (Ed.). *Inventario de biodiversidad de la costa sur de Jalisco y Colima*, Ed. 1, Universidad de Guadalajara, Guadalajara (México) pp 32-43.
- JOHNSON, W. S. & D. M. ALLEN. 2012. *Zooplankton of the Atlantic and Gulf coast: A guide to their identification and ecology*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland 452p.
- KAWAMURA, M. & S. KUBOTA. 2008. Influences of temperature and salinity on asexual budding by hydromedusa *Proboscoidactyla ornata* (Cnidaria: Hydrozoa: Proboscoidactylidae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88: 1601-1606.
- KRAMP, P. L. 1955. *The medusae of the tropical West Coast of Africa*. Atlante Report 3: 239-324, Fig 1-3.
- KRAMP, P. L. 1959. *The hydromedusae of the Atlantic Ocean and Adjacent waters*. Dana Report 46: 1-283.
- KRAMP, P. L. 1961. *Synopsis of the Medusae of the World*. Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom 40: 1-469.
- KRAMP, P. L. 1965. *The hydromedusae of the Pacific and Indian Oceans*. Carlsberg Foundation, Copenhagen 161 p.
- KRAMP, P. L. 1968. *The Hydromedusae of the Pacific and Indian Oceans*. Dana Report 72: 1-200.
- LAMB, A. & B. P. HANBY. 2005. *Marine life of the Pacific Northwest: a photographic encyclopedia of invertebrates, seaweeds and selected fishes*. Harbour Publishing, Madeira Park (Canada), 398 p.
- LARSON, R. J., C. E. MILLS & G.R. HARBISSE. 1991: Western Atlantic mid-water hydrozoan and scyphozoan medusae: in situ studies using manned submersibles. *Hydrobiologia* 216/217: 311-317.
- LIU, R. 2008. *Checklist of marine biota of China Seas*. Science Press, Academia Sinica, Beijing. 1281 p.
- LOMAN-RAMOS, L., U. ORDÓÑEZ-LÓPEZ & L. SEGURA-PUERTAS. 2007. Variación espacial de la comunidad de medusas (Cnidaria) del sur del Golfo de México, durante el otoño de 1999. *Hidrobiológica* 17: 203-212.
- LUCAS, C. H., S. GELCICH & S-I. UYE. 2014. Chapter 6: Living with jellyfish: management and adaptation strategies. In: Lucas C.H. & K. A. Pitt (eds) *Jellyfish Blooms*. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp 129-150. DOI :10.1007/978-94-007-7015-7\_2, 9
- MAAS, O. 1897. Die Medusen Report on an exploration off the west coasts of Mexico, central and South America, and the Galapagos Islands, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish Commission steamer "Albatros", during 1891. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College* 23 (1): 1-52.
- MARQUES, A. C. & A. G. COLLINS. 2004. Cladistic analysis of Medusozoa and cnidarian evolution. *Invertebrate Biology* 123: 23-42
- MARTELL-HERNÁNDEZ, L. F., M. SÁNCHEZ-RAMÍREZ & A. OCAÑA-LUNA. 2014. Distribution of planktonic cnidarian assemblages in the southern Gulf of Mexico, during autumn. *Revista Chilena de Historia Natural* 87:1-11.
- MAYER, A. 1910. Medusae of the World. The Hydromedusae Vol 1. *Carnegie Institution of Washington* 109: 735 p.
- MEDER, M. D. & P. LÓPEZ-GONZÁLEZ. 1996. Updated catalogue of hydrozoans of the Iberian Peninsula and Balearic Islands, with remarks on zoogeography and affinities. *Scientia Marina* 60: 183-209.
- MENDOZA, R. & P. KOLEFF (COORDS.). 2014. *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 310 p.
- MENDOZA-BECERRIL, M.A., M.C. ESTRADA-GONZÁLEZ, A. MAZARIEGOS-VILLARREAL, L. RESTREPO-AVENDAÑO, R.D. VILLARBELTRÁN, J. AGÜERO & A.F. CUNHA. 2020. Taxonomy and diversity of Hydrozoa (Cnidaria, Medusozoa) of La Paz Bay, Gulf of California. *Zootaxa* 4808(1):1-37. DOI:10.11646/zootaxa.4808.1.1
- MENDOZA-BECERRIL, M. A., A. OCAÑA-LUNA, M. SÁNCHEZ-RAMÍREZ & L. SEGURA-PUERTAS. 2009. Primer registro de *Phialella quadrata* y ampliación del límite de distribución de ocho especies de hidromedusas (Hydrozoa) en el Océano Atlántico Occidental. *Hidrobiológica* 19 (3): 257-267.
- MIGOTTO, A. E., A. C. MARQUES, A. C. MORANDINI & F. L. DA SILVEIRA. 2002. Checklist of the Cnidaria Medusozoa of Brazil. *Biotropica* 2: 1-31.
- MORGAN, L., S. MAXWELL, F. TSAO, T. WILKINSON & P. ETNOYER. 2005. *Marine Priority Conservation Areas: Baja California to the Bering Sea*. Commission for Environmental Cooperation of North America and the Marine Conservation Biology Institute. Montreal, Canadá, 124 p.
- MUJICA, R. K. & R. C. ANDRADE. 2019. Distribución y ecología de medusas y sifonóforos en tres estaciones de la zona marino costera de la Península de Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE* 6 (2): 24-33. DOI: 10.26423/rctu.v6i2.443
- NASCIMENTO, L. S., M. NOGUEIRA-JÚNIOR, E. V. MACÉDO & J. G. F. BERSANO. 2019. Biodiversity of planktonic hydrozoans from a subtropical estuary: evidence of assemblage structure change. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 99 (3): 551-562. DOI: 10.1017/S0025315418000486
- NAVAS-PEREIRA, D. 1974. Estudo das hidromedusas (Cnidaria, Hydrozoa) na região da plataforma continental do Rio Grande do Sul. PhD Dissertation. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo 75 p.
- NAVAS-PEREIRA, D. 1980. Hydromedusae of the Bay of Sepetiba (Rio de Janeiro, Brazil). *Revista Brasileira de Biologia* 40: 817-824.

- NAVAS-PEREIRA, D. & M. VANNUCCI. 1991. The Hydromedusae and water masses of the Indian Ocean. *Boletim do Instituto. Oceanografico Sao Paulo* 39(1): 25-60.
- NOGUEIRA-JUNIOR, M. 2012. Gelatinous zooplankton fauna (Cnidaria, Ctenophora and Thaliacea) from Bahía da Babitonga (southern Brazil). *Zootaxa* 3398: 1-21.
- NOGUEIRA-JUNIOR, M. & M. D. P. COSTA. 2019. Zooplâncton da Baía da Babitonga e plataforma continental adjacente: diagnóstico e revisão bibliográfica. *Revista CEPSUL Biodiversidade e Conservação Marinha* 8: eb2019001.
- NOGUEIRA-JUNIOR, M., F. P. BRANDINI & J. C. U. CODINA. 2014. Distribution of planktonic cnidarians in response to South Atlantic Central Water intrusion in the South Brazilian Bight. *Continental Shelf Research* 89: 93–102. DOI: 10.1016/j.csr.2014.02.022
- NOGUEIRA-JUNIOR, M., F. P. BRANDINI & J. C. U. CODINA. 2015. Diel vertical dynamics of gelatinous zooplankton (Cnidaria, Ctenophora and Thaliacea) in a subtropical stratified ecosystem (South Brazilian Bight). *PLoS ONE* 10 (12): e0144161. DOI: 10.1371/journal.pone.0144161
- OLIVEIRA, O. M. P., T. P. MIRANDA, E. M. ARAUJO, P. AYÓN, C. CEDENO-POSSO, A. CEPEDA-MERCADO & A. C. MARQUES. 2016. Census of Cnidaria (Medusozoa) and Ctenophora from South American marine waters. *Zootaxa* 4194: 1-256. DOI: 10.11646/zootaxa.4194.1.1
- PAGÉS, F., J. M. GILI & J. BOUILLON. 1992. Medusae (Hydrozoa, Scyphozoa, Cubozoa) of the Benguela Current (southeastern Atlantic). *Scientia Marina* 56: 1–64.
- PALMA, S. & P. APABLAZA. 2004. Abundancia estacional y distribución vertical del zooplancton gelatinoso carnívoro en un área de surgencia en el norte del sistema de la corriente de Humboldt. *Investigaciones Marinas Valparaíso* 32 (1): 49-70.
- PALMA, S., P. APABLAZA & N. SILVA. 2007. Hydromedusae (Cnidaria) of the Chilean southern channels (from the Corcovado Gulf to the Pulluche-Chacabuco Channels). *Scientia Marina* 71: 65-75.
- PETERSEN, K. W. & V. VANNUCCI. 1960. The life cycle of *Koellikerina fasciculata* (Anthomedusae, Bougainvilliidae). *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli* 31: 473-492.
- PHILLIPS, P. J. 1972. The pelagic Cnidaria of the Gulf of Mexico: zoogeography, ecology and systematics. PhD dissertation. Texas A&M University 212 p.
- PICARD, J. & U. RAHM. 1954. *Archaeoceania* n. gen. *tourneri* n. sp. Une nouvelle Anthoméduse de la famille des *Oceaniidae* provenant de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Acta Tropica* 113: 303-307.
- PURCELL, J. E., E. J. BAXTER & V. L. FUENTES. 2013. Jellyfish as products and problems of aquaculture. In: Geoff, A. & G. Burnell (Eds.), *Advances in Aquaculture Hatchery Technology*, Elsevier, pp 404-430. DOI: 10.1533/9780857097460.2.404
- Purcell, J. E., S. Uye & W. T. Lo. 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress series* 350: 153-174. DOI: 10.3354/meps07093
- RIERA, T., J. M. GILI & F. PAGÉS. 1986. Estudio cuantitativo y estacional de dos poblaciones de cnidarios planctónicos frente a las costas de Barcelona (Mediterráneo Occidental): Ciclos entre 1966-67 y 1982-83. *Miscelània Zoològica* 10:23-32.
- RODRIGUEZ-SÁENZ, K. & L. SEGURA-PUERTAS. 2009. Hydrozoa, Scyphozoa and Cubozoa (Medusozoa). In: Wehrman, I.S & J. Cortés (Eds.). *Marine Biodiversity of Costa Rica Central America*. MOBI series 86: 143-149.
- RODRIGUEZ-SÁENZ, K., J. A. VARGAS-ZAMORA & L. SEGURA-PUERTAS. 2012. Medusas (Cnidaria: Hydrozoa) de una zona de afloramiento costero, Bahía culebra, Pacífico, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 60: 1731-1748.
- RUSSELL, F. S. 1953. *The Medusae of the British Isles: Anthomedusae, Leptomedusae, Limnomedusae, Trachymedusae and Narcomedusae*. Cambridge University Press, Cambridge 530 p.
- SANTHAKUMARI, V. 1977. Distribution of hydromedusae along the southwest coast of India. *Magasagar* 10: 83-86.
- SCHMIDT, H. E. 1973. Hydromedusae from the eastern Mediterranean Sea. *Israel Journal of Zoology* 22 (2-4): 151-167.
- SCHUCHERT, P. 1996. *The marine fauna of New Zealand: Athecate hydroids and their medusae (Cnidaria: Hydrozoa)*. New Zealand Oceanographic Institute Memoir 106: 1–159.
- SCHUCHERT, P. 2001. Survey of the family Corynidae (Cnidaria, Hydrozoa). *Revue Suisse de Zoologie*. 108: 739-878.
- SCHUCHERT, P. 2003. Hydroids (Cnidaria, Hydrozoa) of the Danish expedition to the Kei Islands. *Steenstrupia* 27 (2): 137–256.
- SCHUCHERT, P. 2007. The European athecate hydroids and their medusae (Hydrozoa, Cnidaria): Filifera part 2. *Revue suisse de Zoologie* 114: 195-396.
- SEGURA-PUERTAS, L. 1984. Morfología, sistemática y zoogeografía de las medusas (Cnidaria, Hydrozoa y Scyphozoa) del Pacífico Tropical Oriental. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Publicación Especial* 8: 1-320.
- SEGURA-PUERTAS, L. 1991. Medusas (Cnidaria: Hydrozoa y Scyphozoa) en la Región del Domo de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 39: 159-163.
- SEGURA-PUERTAS, L. 1992. Medusae (Cnidaria) from the Yucatan shelf and Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science* 51: 353-359.
- SEGURA-PUERTAS, L. & U. ORDOÑEZ-LÓPEZ. 1994. Análisis de la comunidad de medusas (Cnidaria) de la región oriental del banco de Campeche y Caribe Mexicano. *Caribbean Journal of Science* 30: 104-115.
- SEGURA-PUERTAS, L., C. FRANCO-GORDO, E. SUÁREZ-MORALES, R. GASCA & E. GODÍNEZ-DOMÍNGUEZ. 2010. Summer composition and distribution of the jellyfish (Cnidaria: Medusozoa) in the shelf area off the central Mexican Pacific. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 103-112.
- SEGURA-PUERTAS, L., E. SUÁREZ-MORALES & L. CELIS. 2003. A checklist of the Medusae (Hydrozoa, Scyphozoa and Cubozoa) of Mexico. *Zootaxa* 194(1):1–15. DOI:10.11646/zootaxa.194.1.1.
- SILVEIRA, F. L. & A. C. MORANDINI. 2011. Checklist dos Cnidaria do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica* 11: 1–10. DOI: 10.1590/s1676-06032011000500016

- SINA (Sistema Nacional de Información del Agua). 2022. Características de las regiones hidrológicas. Servicio WS de la Comisión Nacional del Agua. Disponible en línea en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/> (Consultado el 12 enero 2024)
- TEIXEIRA-AMARAL, P., W. J. A. AMARAL, D. O. ORTIZ, V. O. AGOSTINI & E. MUXAGATA. 2017. The mesozooplankton of the Patos Lagoon Estuary, Brazil: trends in community structure and secondary production. *Marine Biological Research* 13: 48-61. DOI:10.1080/17451000.2016.1248850
- TEIXEIRA-AMARAL, P., V. RODRÍGUEZ DE LEMOS, E. MUXAGATA & R. M. NAGATA. 2021. Temporal dynamics of mesoplanktonic cnidarians in a subtropical estuary: Environmental drivers and possible trophic effects. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 249: 1-14. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.107076
- TOSETTO E. G., S. NEUMANN-LEITAO, M. ARAUJO & M. NOGUEIRA-JUNIOR. 2022. Epipelagic cnidarian fauna in the Western Equatorial Atlantic Ocean off the Amazon River Delta, *Marine biodiversity* 52 (50): 2-24. DOI: 10.1007/s12526-022-01286-0
- TRONOLONE, V. B. 2008. Estudo faunístico e da distribuição das hidromedusas (Cnidaria, Hydrozoa) da região compreendida entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC), Brasil. PhD Dissertation. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo 209 p.
- TROTT, T. J. 2004. Cobscook Bay inventory: A historical checklist of marine invertebrates spanning 162 Years. *Northeastern Naturalist* 11 (2): 261-324.
- VANHÖFFEN, E. 1908. Die Narcomedusen. *Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Tiefsee-Expedition auf dem Dampfer "Valdivia" 1898-1899*. Vol.19, pp 41-74. Fisher. Jena.
- VANHÖFFEN, E. 1911. Die Anthomedusen und Leptomedusen der Deutschen Tiefsee-Expedition 1898-1899. *Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Tiefsee Expedition auf dem Dampfer "Valdivia" 1898-1899*. Vol.19, 193-233. Fisher. Jena.
- VANNUCCI, M. 1951. Distribuição dos Hydrozoa até agora conhecidos nas costas do Brasil. *Boletim do Instituto Paulista de Oceanografia* 2: 105-124. DOI:10.1590/S0100-42391951000100004
- Vannucci, M. & D. Navas 1973. Distribution of hydromedusae in the Indian Ocean. *In: Zeitzchel, B. (ed.) Ecological studies 3. The biology of the Indian Ocean. Springer-Verlag, Berlin* 273-281 pp. DOI:10.1007/978-3-642-65468-8\_21
- VELÁZQUEZ, A. R., L. M. R. MARTÍNEZ & F. M. G. CARILLO. 2012. Caracterización climática para la región de Bahía de Banderas mediante el sistema de Köppen, modificado por García y técnicas de sistemas de información geográfica. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 79: 7-19.
- VICENCIO-AGUILAR, M. E. & M. A. FERNÁNDEZ-ÁLAMO, 1996. Zooplancton del Domo de Costa Rica: taxonomía y biogeografía. *Revista de Biología Tropical* 44 (2): 631-642.
- Wilkinson, T., E. Wiken, J. Bezaury-Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan & M. Padilla. 2009. *Marine Ecoregions of North America*. Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canadá. 200 pp.
- Worms Editorial Board. 2024. World Register of Marine Species. Disponible en línea en: <https://www.marinespecies.org> at VLIZ. (Consultado el 10 febrero 2024).
- Xu, Z. & J. Huang 2004. A survey on Anthomedusae (Hydrozoa: Hydroi-domedusae) from the Taiwan strait with description of new species and new combinations. *Acta Oceanologica Sinica* 23: 549-562.
- Zamponi, M. O & M. I. Deserti. 2009. Análisis comparativo entre las morfologías y ecologías de las formas pólipos (Cnidaria, Hydrozoa, Anthozoa) similares en hábitats disímiles. *Revista Real Academia Galega de Ciencias* 28:37-70.

## Attempting to Optimize Nile Tilapia Growth Using Indigenous Crop-Based Feeds in Cooled Geothermal Groundwater Breeding Systems for Sustainable Aquaculture

### Intento de optimizar el crecimiento de la tilapia del Nilo utilizando alimentos a base de cultivos autóctonos en sistemas de cría en aguas subterráneas geotérmicas refrigeradas para una acuicultura sostenible

Samir Tlahig <sup>1,2\*</sup>, Houcine Dab <sup>2\*</sup>, Kamel Elebdelli <sup>3</sup>, Houcine Laouar <sup>3</sup>

Recibido: 27 de febrero de 2024.

Aceptado: 25 de julio de 2024.

Publicado: diciembre de 2024.

#### ABSTRACT

**Background:** In light of the growing global population, estimated to reach 9.7 billion by 2050, the aquaculture sector faces an increasingly urgent challenge to meet the escalating demand for high-quality protein sources. Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L., 1758) is a pivotal candidate in the realm of aquaculture due to its adaptability, rapid growth, and excellent nutritional attributes. To achieve sustainable aquaculture expansion, it is imperative to develop efficient, eco-friendly, and cost-effective aquafeeds. **Methodology:** This study was carried out at the National Institute of Marine Science and Technology's experimental center in Béchima, Tunisia. The experiment involved the selection of male *O. niloticus* fry. Three distinct isoprotein and isoenergetic feeds were meticulously formulated, substituting conventional feed ingredients with alternative sources such as rapeseed meal, durum wheat, and field beans, while assessing the economic implications of these novel formulations. These feeds were designed to meet the essential dietary requirements for optimal fish growth. The study rigorously assessed various zootechnical parameters to gauge the performance of the fish under different feed formulations. **Results and Conclusion:** The results indicated that tilapia fed with the rapeseed-based feed exhibited remarkable growth performance, characterized by higher growth rates, elevated survival rates, and enhanced conversion rates. Within 80 days of rearing, these fish achieved an impressive average weight of  $108.71 \pm 5.55$  g. In contrast, fish fed with the faba bean-based feed displayed suboptimal performance across multiple parameters. These findings highlight the pivotal role of feed formulation in bolstering the sustainability and productivity of aquaculture. This research significantly contributes to the ongoing endeavor to optimize aquafeeds, fostering food security and economic viability in aquaculture.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*, Feed formulation, geothermal water, faba bean, rapeseed.

<sup>1</sup> Dryland Farming and Oasis Cropping Laboratory (LR16IRA02), Arid Lands Institute, Road of Jorf Km 22.5, Medenine, 4119, Tunisia

<sup>2</sup> Department of Environmental Sciences, Higher Institute of Applied Biology of Medenine, University of Gabes, Road of Jorf Km 22.5, Medenine, 4119, Tunisia

<sup>3</sup> National Institute of Marine Science and Technology (INSTM), Experimental station of Béchima-Elhamma, Gabes, 6000, Tunisia

‡ ST and HD contributed equally

\*Corresponding author:

Samir Tlahig: samirtlahig@gmail.com

To quote as:

Tlahig, S., H. Dab, K. Elebdelli & H. Laouar. 2024. Attempting to Optimize Nile Tilapia Growth Using Indigenous Crop-Based Feeds in Cooled Geothermal Groundwater Breeding Systems for Sustainable Aquaculture. *Hidrobiológica* 34 (3): 179-190.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** A la luz de la creciente población mundial, que se estima alcanzará los 9,700 millones en 2050, el sector de la acuicultura enfrenta un desafío cada vez más urgente para satisfacer la creciente demanda de fuentes de proteínas de alta calidad. En este sentido, la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus* L., 1758) es un excelente candidato en el ámbito de la acuicultura debido a su adaptabilidad, rápido crecimiento y excelentes atributos nutricionales. Para lograr una expansión sostenible de la acuicultura, es imperativo desarrollar alimentos acuícolas eficientes, ecológicos y rentables. **Metodología:** Este estudio se llevó a cabo en el centro experimental del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Marinas en Béchima, Túnez. El experimento implicó la selección de alevines macho de *O. niloticus*. Se formularon meticulosamente tres alimentos isoproteicos e isoenergéticos distintos, sustituyendo los ingredientes de los alimentos convencionales por fuentes alternativas como harina de colza, trigo duro y habas, mientras se evaluaban las implicaciones económicas de estas nuevas formulaciones. Estos alimentos fueron diseñados para satisfacer los requisitos dietéticos esenciales para un crecimiento óptimo de los peces. El estudio evaluó rigurosamente varios parámetros zootécnicos para medir el rendimiento de los peces bajo diferentes formulaciones de

alimento. **Resultados y conclusión:** Los resultados indicaron que la tilapia alimentada con alimento a base de colza exhibió un rendimiento de crecimiento notable, caracterizado por tasas de crecimiento más altas, tasas de supervivencia elevadas y tasas de conversión mejoradas. A los 80 días de cría, estos peces alcanzaron un elevado peso promedio de  $108,71 \pm 5,55$  g. Por el contrario, los peces alimentados con pienso a base de habas mostraron un rendimiento subóptimo en múltiples parámetros. Estos hallazgos resaltan el papel fundamental de la formulación de piensos para reforzar la sostenibilidad y la productividad de la acuicultura. Esta investigación contribuye significativamente al esfuerzo continuo por optimizar los alimentos acuícolas, fomentando la seguridad alimentaria y la viabilidad económica en la acuicultura.

**Palabras clave:** *Oreochromis niloticus*, formulación de piensos, agua geotérmica, habas, colza.

## INTRODUCTION

The global fisheries and aquaculture sector stand at the forefront of efforts to address the ever-increasing global demand for high-quality protein sources (FAO, 2020; Hua *et al.*, 2019). With a projected world population exceeding 9 billion by 2050, the necessity for optimizing food production is urgent, particularly in aquaculture (FAO, 2020). Within the realm of aquaculture, Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) holds a special place due to its adaptability, rapid growth, and nutritional value (Hernández-Vergara *et al.*, 2018). The sustainable expansion of this sector is intricately linked to the development of innovative approaches, with particular emphasis on the formulation of aquafeeds (Magbanua and Ragaza, 2023, 2022; Syed *et al.*, 2022). Aquaculture has made significant contributions to global seafood production, with the Food and Agriculture Organization (FAO) reporting a consistent increase in global aquaculture production over recent years (FAO, 2023, 2022a). This upward trajectory is projected to continue, with aquaculture expected to supply a majority of the fish consumed by humans by 2030. As the industry expands, the optimization of aquafeeds becomes imperative (Tacon and Metian, 2015).

One of the central challenges in aquaculture lies in the formulation of efficient, eco-friendly, and cost-effective aquafeeds. Aquafeeds represent a substantial proportion of the operating costs in aquaculture, making the development of nutritionally balanced and sustainable feeds a top priority (Naylor *et al.*, 2021). Achieving economic and environmental sustainability in aquaculture necessitates the utilization of innovative dietary formulations, which align with the principles of the circular economy and environmental responsibility (Hua *et al.*, 2019; Paredes *et al.*, 2020).

Recent scientific studies have deepened our understanding of the dietary requirements of fish species, including Nile Tilapia. In particular, the pivotal role of essential nutrients such as proteins, lipids, carbohydrates, vitamins, and minerals in fish growth and overall health has been underscored by recent research (Hardy, 2010). Furthermore, advancements in feed technology have facilitated precise control over feed composition and nutrient delivery, enabling more effective dietary formulations tailored to the specific needs of fish species and the prevailing environmental conditions (Glencross *et al.*, 2023). Substantial progress has been made in improving feeds and feeding technologies for most aquaculture species. Notable improvements in feed conversion

efficiency (through a better understanding of requirements and improved feed management).

The fisheries and aquaculture sector in Tunisia play a vital role in the country's socio-economic landscape. Contributing approximately 8% to the value of agricultural production and 1.1% to the gross national product, this sector generates employment for around 53,000 individuals, fostering economic development and livelihoods (Ministry of Agriculture, Water Resources and Fisheries, 2016). However, per capita seafood consumption displays stark regional disparities, with inland regions significantly trailing coastal areas (FAO, 2022b).

Aquaculture in Tunisia has witnessed steady growth, with an annual average growth rate of 15.21% in 2019, when exchange rate fluctuations introduced a period of stability. As of 2019, current aquaculture production reached approximately 22 893 tones, contributing about 20% of Tunisia's total fish production (FAO, 2022b).

A recent study published by Mili *et al.* (2023) primarily focusing on the tilapia (*Oreochromis niloticus*) and its adaptation to geothermal waters in Tunisia, an area that has witnessed an agricultural revolution due to the utilization of geothermal water resources, stated that one noteworthy development within Tunisia's aquaculture landscape is the exploitation of dam reservoirs for fish farming, particularly in the country's interior regions. This extensive fish farming approach empowers local farmers to produce affordable fish, which can be sold or consumed locally. Various species are commonly fished in these regions, including carp, pikeperch, mullet, eel, catfish, barbel, and tilapia.

Aquaculture in geothermal water resources in Tunisia offers an emerging and promising avenue for sustainable fish farming. Geothermal waters have brought about significant agricultural advancements in the southern regions of Tunisia, but aquaculture in geothermal waters presents unique challenges, primarily related to water cooling and availability. Currently, only two active aquaculture projects in Tunisia are dedicated to the production of Nile Tilapia (*O. niloticus*) using geothermal waters (Mili *et al.*, 2023).

Nile Tilapia (*O. niloticus*) is a fascinating species with a rich history. Its natural distribution spans the African continent, covering the Nile basin and extending to central and western regions, including the Chad and Niger basins, as well as south to lakes Ethiopia and Turkana (Lévêque *et al.*, 2008). However, *O. niloticus* has transcended its native range, with numerous introductions and transfers to various African countries, such as Rwanda, Madagascar, Côte d'Ivoire, Cameroon, Tunisia, South Africa, Tanzania, and Libya, for the purpose of diversifying fish populations in natural lakes and dams, as well as for aquaculture development (Bonham, 2023).

Interestingly, *O. niloticus* has even reached at least 100 countries and has become among the main important aquaculture species globally (Shuai *et al.*, 2023). Amongst, it has been introduced in thermal water discharges of thermoelectric and electronuclear power plants, including the cooling water of the Thiang nuclear power plant. The adaptability of *O. niloticus* to diverse environments, including geothermal waters, underscores its significance in the context of aquaculture expansion and innovation (Mili *et al.*, 2023).

To ensure the economic viability of aquaculture, one of the key aspects to consider is the cost of feed. In typical aquaculture operations, feed expenses can account for a substantial portion of production costs,

ranging from 30% to 60% in semi-intensive and intensive systems (O'Shea *et al.*, 2019). This cost factor necessitates innovative approaches to feed formulation that can reduce expenses while maintaining or even improving the growth performance of aquaculture species.

This study, conducted at state-of-the-art aquaculture research facilities, sets out to investigate the potential of innovative dietary formulations in optimizing the growth and health of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). It takes into account the most recent findings in the field, with an in-depth examination of the impact of these formulations on essential zootechnical parameters. Through rigorous experimentation and comprehensive data analysis, this research aims to identify the most effective dietary components and their influence on growth rates, conversion efficiency, and survival rates.

In an era when environmental sustainability and food security are paramount, the imperative to optimize aquaculture practices has never been more pronounced. Focused on optimizing aquaculture practices in Tunisia, this study seeks to evaluate the effects of replacing conventional feed ingredients, notably soybean, with locally sourced alternatives on the growth performance of Nile Tilapia in geothermal groundwater systems. By emphasizing cost-effective and nutritionally balanced feed formulations, our research aims to address the challenges posed by scarce soybean availability and high import costs. Furthermore, the utilization of geothermal groundwater is justified as a means to enhance water resource sustainability and mitigate water scarcity issues in aquaculture.

The findings of this research have the potential to revolutionize the aquaculture industry, offering valuable insights for aquaculturists, researchers, and the aquafeed industry. This research represents a pivotal step in the quest to harness the power of dietary formulations to enhance the growth, efficiency, and sustainability of Nile Tilapia aquaculture, aligning with the global drive towards eco-friendly and responsible food production practices.

## MATERIAL AND METHODS

**Study Location and setup.** The research was conducted at the Tilapia breeding center in Bechima, ElHamma, Gabès, Tunisia, a collaborative project between the National Institute of Marine Science and Technology (INSTM) and the Technical Center for Aquaculture. This center spans approximately 10,000 square meters and features a gravity-based water supply system. The research center is strategically located near an artesian well that yields geothermal water.

Geothermal water, initially at temperatures between 40°C and 70°C, was cooled using a vertical cooling tower system. This system involved pumping the hot water to the top of a vertical structure equipped with obstacles. As the water descended, it lost thermal energy through evaporation and heat exchange, reducing the temperature to a more suitable range for tilapia growth (25°C to 28°C). The cooled water ensured optimal dissolved oxygen levels and minimized stress on the fish, thereby promoting better growth and health. In our study, the geothermal water used had the following initial properties: pH of 7.5-8.0, dissolved oxygen levels between 4-5 mg.L<sup>-1</sup>, salinity of 1.5-2.0 PSU, and total ammonia levels below 0.1 mg.L<sup>-1</sup>, dry residue of 2.98 g.L<sup>-1</sup>, and key ions (32.5 mg.L<sup>-1</sup> of K<sup>+</sup>, 708 mg.L<sup>-1</sup> of Na<sup>+</sup>, 710 mg.L<sup>-1</sup> of Cl<sup>-</sup>, 892.8 mg.L<sup>-1</sup> of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 18.9 mg.L<sup>-1</sup> of CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, and 141 mg.L<sup>-1</sup> of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

These parameters were monitored weekly to ensure consistency. Minor variations were observed, but the conditions remained within the tolerance range for Nile Tilapia as established by previous studies (Mili *et al.*, 2023). Monitoring these parameters was crucial as they directly affect the metabolic and homeostasis processes in Nile Tilapia, influencing growth performance and survival rates. The water quality parameters were maintained consistent with the values reported by Singha *et al.* (2021), emphasizing the importance of keeping optimal water quality in aquaculture systems.

The core units within the research center are the Breeding Unit and the Food Manufacturing Unit. The Breeding Unit, covering an area of 300 square meters, accommodates three shelter houses, each designated for various aquaculture activities, including breeding, larval rearing, and nursery functions. This unit also comprises two earthen basins with a unit volume of 100 cubic meters, dedicated to pre-fattening activities. The breeding process takes place in 12 raceway tanks, each with a capacity of 7 cubic meters, while larval rearing is conducted in square and cylindrical-conical tanks of varying sizes, ranging from 0.5 to 2 cubic meters.

The Food Manufacturing Unit is a vital component of the research, tasked with producing three distinct feed types tailored to specific phases of tilapia farming. These feeds are categorized based on their protein content, and the unit is equipped with essential machinery, including a hammer mill, a meat grinder, an electronic scale, and two food storage freezers.

### Experimental Approach

#### Subjects Selection

Male fry of tilapia (*Oreochromis niloticus*) were carefully chosen as the subjects for this research. The selection criteria were based on an average weight of 16.89 ± 0.9 grams. These fry were accommodated in rectangular tanks, each having a unit volume of 400 liters, with a stocking density of 30 individuals per tray.

#### Physico-Chemical Parameters

Throughout the course of the experiment, each tank was subjected to a continuous water flow of approximately 10 L.min<sup>-1</sup>, ensuring consistent water exchange. Several physico-chemical parameters were meticulously monitored. The dissolved oxygen level was maintained above 3 mg.L<sup>-1</sup>, while the water temperature was regulated within the range of 25 to 30°C, achieved by adjusting the inlet water flow to the breeding tanks. Both dissolved oxygen and temperature were measured using a multiparameter device of type Multi 3620 IDS (WTW). The photoperiod was naturally maintained, with uniform 12h-13h/day lighting conditions observed in all tanks. The rearing tanks were siphoned daily before the first feeding to remove fecal matter. The tanks were completely emptied and thoroughly cleaned every two weeks.

#### Formulation of Experimental Diets

The nutritional requirements of growing tilapia fry were met through the formulation of three isoprotein and isoenergetic feeds. These feeds were designed to deliver approximately 31% crude protein, 8% crude fat, and 14 KJ.g<sup>-1</sup> of crude energy. The selection of ingredients adhered to a series of critical criteria, encompassing chemical composition, availability, purchase price, and sustainability. The chosen ingredients

included fishmeal (FP), soybean meal (TS), corn (M), rapeseed meal (TC), field beans (F), and durum wheat (B), all sourced from local suppliers.

The feed formulations in this study were specifically designed not only for cost-effectiveness but also to ensure nutritional adequacy under the unique conditions presented by geothermal water, such as potential variations in dissolved oxygen and mineral content. To reduce the cost of exotic ingredients, mainly soybean which is not produced locally and not regularly available in local markets, native fodder crops like faba beans, rapeseed and durum wheat were chosen for their nutritional profiles and potential to support fish health under these conditions.

In our study, the commonly used formulation, Feed 1, was adopted as the benchmark diet. This formulation is widely used by tilapia breeders in the region. Based on Feed 1, we developed two isoprotein formulations (Feeds 2 and 3), where we partially substituted some ingredients, primarily soybean meal, with locally available crops. This strategy was designed to mitigate the high costs and limited availability of imported ingredients, thereby promoting more sustainable and eco-friendly aquaculture practices.

The feed formulation process involved finely grinding all ingredients into a powder, which was then combined with a vitamin-mineral supplement (CMV) and soybean oil. Water was gradually added to achieve the desired consistency. This mixture was subsequently processed through a kitchen meat grinder, extruded through 3 mm holes, and sun-dried for a period of 24 hours. The dry feed was stored in polyethylene bags at a temperature of -20°C.

#### NIR Spectrometry estimation of the diets nutritional composition

The determination of feed composition was performed by Techna Tunisia Lab utilizing the advanced Allix<sup>3</sup> software. Prior to the formulation of feeds, a comprehensive analysis of the nutritional attributes of individual ingredients and the combined composition of the three formulated feeds was conducted. This analysis leveraged Near-Infrared Spectroscopy (NIRS), calibrated with an extensive dataset of feedstuff raw materials, including the specific ingredients under consideration. NIRS facilitated the accurate prediction of essential parameters, encompassing Dry Matter, Crude Proteins, Crude Fats, Crude Fibers, Ash, Calcium, Phosphorus, Total Energy, and Essential Amino Acids. The reliability and precision of these predictions were rigorously validated using robust Partial Least Square (PLS) regression models, ensuring the utmost accuracy for each assessed parameter.

#### Experimental design and zootechnical Parameters

The experimental design followed a completely randomized layout, comprising a total of 9 fish batches labeled T1 to T9. Each batch was housed in a tank and fed one of the tested diets (Control, Feed1, Feed2). Importantly, each diet was presented in triplicates, with three tanks randomly assigned to each diet.

Feeding occurred four times daily, initially at a rate of 5% of their biomass until reaching 30 g in weight (after 4 weeks), followed by a reduced rate of 4% for the remaining duration of the 81-day experiment. The specific daily feed quantities per tank throughout the experimental period are outlined in Table S1.

Regrettably, a significant mortality event resulting from thermal shock transpired after the first month, impacting tanks T3, T6, and T7 (Table S1). These tanks were situated adjacent to each other, and the

thermal shock was an isolated incident affecting only these specific tanks on one side of the setup. The thermal shock was related to issues in water aeration and temperature management in those particular tanks and had no relation to the type of feed formulation being tested. Consequently, biometric assessments from day 52 onward were conducted with two replicates per treatment instead of the initial three.

To evaluate the performance of fish growth, several key zootechnical parameters were calculated, serving as crucial indicators for the research outcomes.

**Survival rate (SC):** Survival rate (equation 1) is calculated as the percentage of the final number of individuals compared to the initial stocking. This parameter provides insights into the overall health and adaptability of the tilapia fry.

$$SC = \frac{\text{Final Number of Fish}}{\text{Initial Number of Fish}} \times 100 \quad \text{equation (1)}$$

**Conversion rate (TC):** The conversion rate (equation 2) indicates the efficiency of converting the provided feed into biomass and is calculated as the quantity of feed distributed divided by the difference between the final and initial biomass.

$$TC = \frac{\text{Quantity of Feed Distributed}}{\text{Final Biomass} - \text{Initial Biomass}} \quad \text{equation (2)}$$

**Daily growth rate (DBR):** The daily growth rate measures the change in average weight per day, providing a precise indication of growth rates.

$$DBR = \frac{\text{Final Mean Weight} - \text{Initial Mean Weight}}{\text{Ageing Time (Days)}} \quad \text{equation (3)}$$

**Specific growth rate (SSR):** Expressed as a percentage, the specific growth rate is used to assess growth relative to the duration of rearing (equation 4). It offers insights into the growth efficiency of the tilapia fry.

$$SSR = \frac{100}{\text{Duration of Rearing}} \times \log_{10} \left( \frac{\text{Final Biomass}}{\text{Initial Biomass}} \right) \quad \text{equation (4)}$$

**Table S1.** Quantity of feed (g) distributed daily during the experiment

| Feeds   | Tanks/day | D <sub>0</sub> - D <sub>14</sub> | D <sub>15</sub> - D <sub>28</sub> | D <sub>29</sub> - D <sub>52</sub> | D <sub>53</sub> - D <sub>66</sub> | D <sub>67</sub> - D <sub>81</sub> |
|---------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Feed 1  | T4        | 377.34                           | 413.91                            | 607.72                            | 856.24                            | 1245.44                           |
|         | T9        | 377.34                           | 413.91                            | 602.4                             | 820.8                             | 1244.32                           |
|         | T3        | 377.34                           | 413.91                            | -                                 | -                                 | -                                 |
| Feed 2  | T1        | 377.03                           | 404.11                            | 521.4                             | 752.64                            | 1046.08                           |
|         | T5        | 377.03                           | 404.11                            | 524.6                             | 722.07                            | 1008                              |
|         | T7        | 377.03                           | 404.11                            | -                                 | -                                 | -                                 |
| Control | T2        | 377.55                           | 493.02                            | 610.08                            | 442.176                           | 616                               |
|         | T8        | 377.55                           | 493.02                            | 678                               | 948.08                            | 1272.32                           |
|         | T6        | 377.55                           | 493.02                            | -                                 | -                                 | -                                 |

**Statistical Analysis.** The data collected throughout the research were subjected to statistical analysis, which was performed using the GraphPad Prism 5.0 software. The analytical approach encompassed variance assessments of weight monitoring, quantities of food distributed per bin, and the number of fish under investigation. The verification of the normal distribution of the dataset was computed *via* Shapiro-Wilk test ( $P>0.05$ ). To examine the effect of different food types over different dates, a two-way ANOVA procedure was employed, followed by the Bonferroni test for comparing means, with a significance level set at  $P<0.05$ . The analysis also involved the comparison of means *via* the Bonferroni test following a one-way ANOVA, exploring variations attributed to the impact of different food types on conversion rates, survival rates, and calculated growth rates. A significance level of  $P<0.05$  was employed as the threshold for identifying statistically significant results.

## RESULTS

### Nutritional Composition Patterns of Fish Feed Ingredients

The nutritional composition table sheds light on the diverse ingredients used in fish feed formulations, emphasizing soybean meal, rapeseed meal, faba bean, and wheat. Soybean meal stands out with a substantial 42.86% protein content, positioning it as a crucial protein source. Rapeseed meal follows closely, boasting a noteworthy 36.16% protein content. Faba bean contributes significantly with a commendable 29.12% protein content, while durum wheat provides a moderate protein supply at 13.05%.

In terms of lipid content, soybean meal is lean with 1.38%, whereas rapeseed meal contributes more at 2%. Faba bean and durum wheat both supply moderate lipids, registering at 2.56% and 2.51%, respectively.

Analyzing mineral composition, soybean meal has a moderate ash content of 6.80%. Rapeseed meal demonstrates a richer mineral composition with 7.41% ash. Faba bean leads with the highest ash content at 13.47%, emphasizing its significant mineral contribution. Durum wheat aligns closely with faba bean at 13.47%.

Examining the amino acid profile, soybean meal provides a balanced composition with essential amino acids like lysine (2.62%), valine (1.34%), and leucine (3.83%). Rapeseed meal contributes slightly lower amounts. Faba bean showcases a notable amino acid profile, including lysine (2.12%), valine (1.71%), and leucine (2.56%). Durum wheat, with a comparatively lower amino acid profile, necessitates strategic blending with other ingredients for optimal nutrition.

These insights underscore the importance of comprehending the distinct nutritional attributes of each ingredient, enabling strategic feed formulation to enhance fish growth and overall health.

Given the nutritional insights derived from the previous composition analysis (Table 1), we aimed to formulate isoprotein and isoenergetic fish feeds. The formulations, outlined in the Table 2, maintain consistency in protein and energy levels while strategically adjusting the proportions of key ingredients. The variations in soybean meal, rapeseed meal, faba bean, and wheat content reflect an intentional effort to optimize nutritional patterns and achieve a balanced and tailored feed composition for enhanced fish growth and health.

This feed formulation aims to capitalize on the distinct nutritional attributes of each ingredient, aligning with the observed patterns in the nutritional composition analysis. The goal is to create feeds that not only meet the dietary requirements of the fish but also leverage the unique contributions of each component for optimal growth and overall health.

**Table 1.** Approximate composition (expressed as % dry matter) and essential amino acid profile of ingredients used in test foods

| (% DM)                             | Fish meal | Soybean Meal | Maize | Rapeseed meal | Faba bean | Durum wheat |
|------------------------------------|-----------|--------------|-------|---------------|-----------|-------------|
| Dry matter                         | 91.92     | 90.85        | 90.04 | 90.25         | 90.78     | 90.86       |
| Crude Proteins                     | 47.63     | 42.86        | 7.58  | 36.16         | 29.12     | 13.05       |
| Crude Fats                         | 3.58      | 1.38         | 1.72  | 2             | 2.56      | 2.51        |
| Crude Cellulose                    | 1.86      | 6.60         | 7.13  | 12.98         | 11.31     | 12.32       |
| Ash                                | 28.59     | 6.80         | 1.16  | 7.41          | 6.88      | 13.47       |
| Calcium                            | 6.62      | 0.31         | 0.03  | 0.72          | 0.39      | 0.61        |
| Phosphorus                         | 4.29      | 0.68         | 0.26  | 1.07          | 0.53      | 1.23        |
| Total Energy (Kj.g <sup>-1</sup> ) | 14.08     | 16.08        | 14.83 | 14.18         | 14.69     | 14.92       |
| Lysine                             | 4.63      | 2.62         | 0.14  | 2.15          | 2.12      | 0.28        |
| Valine                             | 4.18      | 1.34         | 0.26  | 1.75          | 1.71      | 0.60        |
| Leucine                            | 4.44      | 3.83         | 0.73  | 2.38          | 2.56      | 0.91        |
| Histidine                          | 1.23      | 1.01         | 0.15  | 0.92          | 0.64      | 0.33        |
| Arginine                           | 3.65      | 2.48         | 0.32  | 2.45          | 2.01      | 0.47        |
| Threonine                          | 3.18      | 1.69         | 0.17  | 1.61          | 1.37      | 0.32        |
| Isoleucine                         | 2.32      | 1.38         | 0.29  | 1.47          | 1.77      | 0.53        |
| Methionine + cysteine              | 2.49      | 0.59         | 0.20  | 0.86          | 0.31      | 0.52        |
| Phenylalanine                      | 2.29      | 1.85         | 0.47  | 1.61          | 1.49      | 0.64        |



The Table 2 illustrates the composition of these three feed formulations (% dry weight), namely the Control, Feed 1, and Feed 2. In terms of macronutrients, Feed 1 stands out with a slightly higher dry matter content (89.44%) compared to the Control (88.66%) and Feed 2 (88.72%). Feed 1 also exhibits the highest crude protein content (32.45%), followed by the Control (32.19%) and Feed 2 (30.68%). Concerning crude fats, Feed 1 surpasses the other formulations with 8.69%, while the Control and Feed 2 have 7.94% and 7.71%, respectively.

When examining fiber content, Feed 1 presents the highest level (4.03%), indicating a greater inclusion of fibrous materials. In terms of

Table 2 Approximate composition (expressed as % dry matter) and essential amino acid profile of the foods tested

| Components (% dry weight)                   | Control | Feed 1 | Feed 2 |
|---|---------|--------|--------|
| Soybean Meal                                | 45      | 34.4   | 35     |
| Fish Meal                                   | 14      | 14     | 14     |
| Maize                                       | 36      | 17.6   | 25     |
| Durum Wheat                                 | 0       | 15     | 11     |
| Rapeseed Meal                               | 0       | 15     | 0      |
| Faba Bean                                   | 0       | 0      | 10     |
| Soybean Oil                                 | 4       | 3      | 4      |
| Mineral Vitamin Supplement (MVS)            | 1       | 1      | 1      |
| Dry Matter                                  | 88.66   | 89.44  | 88.72  |
| Crude Proteins                              | 32.19   | 32.45  | 30.68  |
| Crude Fats                                  | 7.94    | 8.69   | 7.71   |
| Crude Fibers                                | 2.75    | 4.03   | 3.23   |
| Ash   | 6.53    | 6.9    | 6.38   |
| Calcium                                     | 1.14    | 1.23   | 1.13   |
| Phosphorus                                  | 0.76    | 0.83   | 0.76   |
| Total Energy (Kj.g <sup>-1</sup> )          | 13.92   | 13.92  | 13.61  |
| Essential Amino Acids (g.Kg <sup>-1</sup> ) |         |        |        |
| Lysine                                      | 19.5    | 19     | 13.8   |
| Valine                                      | 15.3    | 15.4   | 14.4   |
| Leucine                                     | 24.5    | 23.7   | 22.8   |
| Histidine                                   | 8.7     | 8.7    | 8.3    |
| Arginine                                    | 22.6    | 22     | 21.8   |
| Threonine                                   | 12.5    | 12.7   | 11.7   |
| Isoleucine                                  | 14.2    | 14     | 13.3   |
| Methionine + Cysteine                       | 10.2    | 11     | 9.5    |
| Phenylalanine                               | 15.4    | 15.1   | 14.4   |

ash content, all formulations are relatively close, with Feed 2 having the lowest ash content (6.38%).

Calcium and phosphorus levels are similar across formulations, with Feed 1 showing a slight increase in calcium (1.23%) compared to the Control (1.14%) and Feed 2 (1.13%). Phosphorus content remains consistent, ranging from 0.76% to 0.83%.

The total energy content (Kj.g<sup>-1</sup>) is comparable among the formulations, with Feed 1 and the Control both at 13.92 Kj.g<sup>-1</sup>, and Feed 2 slightly lower at 13.61 Kj.g<sup>-1</sup>.

Essential amino acid profiles reveal variations among formulations. Feed 1 contains higher amounts of lysine (19 g.Kg<sup>-1</sup>), valine (15.4 g.Kg<sup>-1</sup>), leucine (23.7 g.Kg<sup>-1</sup>), and arginine (22 g.Kg<sup>-1</sup>) compared to the Control and Feed 2. Feed 2, on the other hand, shows higher methionine + cysteine (9.5 g.Kg<sup>-1</sup>) and phenylalanine (14.4 g.Kg<sup>-1</sup>) levels compared to the Control and Feed 1. In light of the nuanced nutritional profiles observed in the ingredients, we endeavored to create isoprotein and isoenergetic feed formulations. The proportions of key components in these formulations are detailed in the Table 2. The variations in soybean meal, rapeseed meal, faba bean, and wheat content reflect an intentional effort to optimize nutritional patterns and achieve a balanced and tailored feed composition for enhanced fish growth and health. Subsequently, these formulations underwent an 80-day trial, where their impact on biometric and zootechnical traits in Nile tilapia was meticulously assessed.

### Effect of dietary formulation substitutions on the growth performance of Nile Tilapia

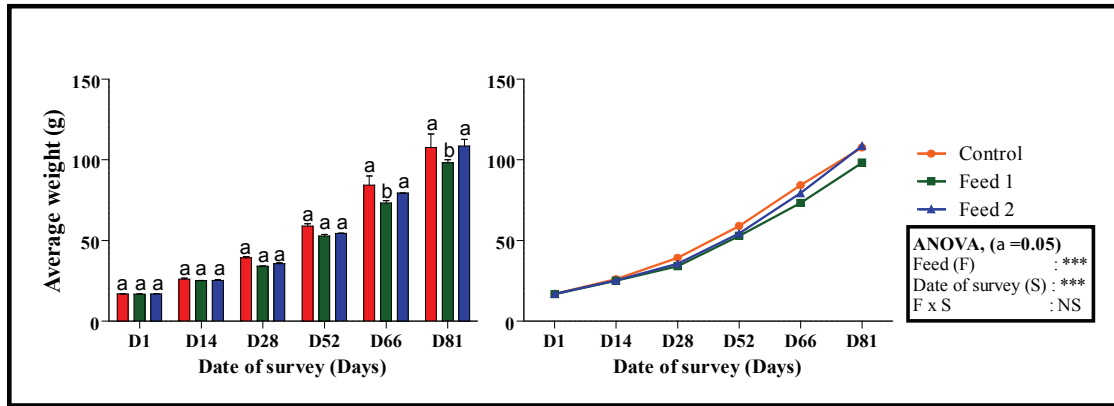
#### Evolution of the Average Weight

The evolution of the average weight of fish during the experimental period is a critical indicator of the success of the dietary formulations (Fig. 1). The initial average weight of 16.89±0.9 g significantly increased, reaching 36.5±7.09 g within the first month of rearing. The subsequent growth patterns showed notable distinctions between the dietary groups. After 80 days of rearing, fish fed with feed 1 (rapeseed) reached an average weight of 98.3±2.63 g, while those fed with feed 2 (faba bean) reached 108.71±5.55 g. In contrast, fish fed the control feed achieved an average weight of 110.47±7.9 g. These observations underline the impact of different dietary formulations on the growth of Nile tilapia.

The substantial weight gain in the first month demonstrates the active feeding behavior and adaptability of the fish to the provided rations. However, statistical analysis reveals significant differences in the average weights among the various dietary groups, indicating that diet plays a pivotal role in the growth of tilapia fry. The Bonferroni test further illustrates the significance of these differences, with comparable average weights among all feeds for the initial 51 days of rearing. Thereafter, a clear divergence emerges, with fish fed the control and feed 1 surpassing those fed with feed 2. These findings highlight the influence of diet on the growth trajectory of Nile tilapia.

#### Zootechnical Parameters

The survival rate of fish is a critical parameter in aquaculture, as it directly impacts the success and profitability of fish farming. The results of this study indicate notable variations in survival rates among the different dietary groups (Fig. 2-A). Fish fed with feed 1 (rapeseed) and the



**Figure 1.** Evolution of average weights within Tilapias fed by the three different feeds during the experiment period. Values represent averages with different letters (a, b) indicating significant differences according to Bonferroni test  $P < 0.05$ .

control feed exhibited high survival rates of 93.33%, whereas those fed with feed 2 (faba bean) had a lower survival rate of 83.33%. Statistical analysis confirms the significant difference in survival rates between the dietary groups, underscoring the impact of diet on the survival of tilapia fry. The reduced survival rate in the feed 2 group suggests the importance of dietary composition in ensuring the health and viability of the fish. Feed 2, which included faba beans, resulted in the highest weight gain but also showed increased mortality rates. This can be attributed to the presence of anti-nutritional factors such as tannins and vicine in faba beans, which can impair nutrient absorption and overall fish health. These anti-nutritional compounds may have contributed to the observed mortality, highlighting the need for processing methods to mitigate their effects in future formulations.

Another crucial zootechnical parameter in aquaculture is the feed conversion rate (FCR), which indicates the efficiency of converting feed into fish biomass. In this study, FCR varied among the dietary groups. The control feed exhibited an FCR of  $1.48 \pm 0.14$ , the rapeseed feed had an FCR of  $1.38 \pm 0.07$ , and the field bean feed showed the highest FCR at  $1.57 \pm 0.02$  (Fig. 2-B). Statistical analysis confirms the significant effect of diet on FCR, emphasizing the role of dietary composition in the utilization of feed. The highest FCR in the field bean feed group suggests potential inefficiencies in converting feed into fish biomass compared to the other diets.

Daily growth rates (DGR) provide insights into the rate of weight gain in fish and are essential for assessing the performance of dietary formulations. Fish fed with the rapeseed feed exhibited a daily growth rate of  $1.15 \pm 0.07 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$ , slightly higher than the control feed ( $1.14 \pm 0.14 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$ ), while the field bean feed group showed a lower daily growth rate of  $1.02 \pm 0.03 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$  (Fig. 2-C). Statistical analysis highlights the significant difference in daily growth rates between the dietary groups, indicating the profound impact of diet on the growth performance of tilapia fry.

Specific growth rates (SGR) offer a measure of the relative growth of fish and provide further insights into the impact of diet on growth. The specific growth rates were comparable among the three dietary treatments. Grown fish fed with the rapeseed and control feeds recorded SGR of  $2.45 \pm 0.03 \text{ day}$ , while those fed with the field bean feed

achieved an SGR of  $2.39 \pm 0.01 \text{ day}$  (Fig. 2-D). These results indicate that specific growth rates were consistent across the dietary groups, suggesting that this particular parameter was less influenced by dietary composition.

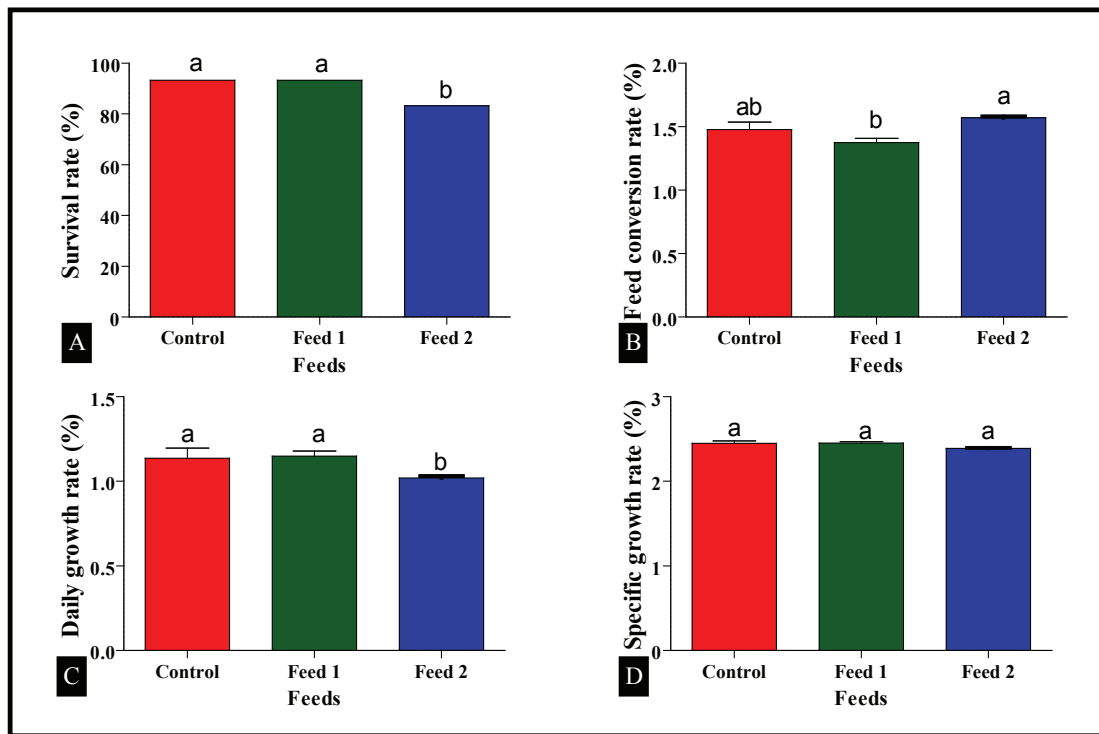
The economic implications of the dietary formulations were also examined, revealing differences in the cost of ingredients between the diets. The control feed's ingredients were found to be 5.95% more expensive than the rapeseed-based feed and 5.03% higher than the field bean feed. This cost analysis underscores the potential economic advantages of certain dietary formulations in aquaculture practices.

**Correlation Analysis: Relationships Between Feed Composition and Nile Tilapia Performance Parameters.** The correlation matrix Table 3 presents a detailed correlation matrix illustrating the relationships between various biometric and zootechnical parameters (weight, survival rate "SR", feed conversion rate "FCR", daily growth rate "DGR", and specific growth rate "SGR") and the composition of fish feed. The correlation coefficients indicate the strength and direction of these relationships, providing valuable insights into how different feed components influence fish growth and health.

Positive correlations were observed between weight and several feed components, including dry matter (0.4389), crude proteins (0.5571), crude fats (0.9567), and total energy ( $\text{Kj} \cdot \text{g}^{-1}$ ) (0.8462). These findings suggest that higher levels of these feed components are associated with increased weight gain in Nile Tilapia. For instance, the strong correlation between crude fats and weight (0.9567) indicates that higher fat content in the diet significantly enhances weight gain. Similarly, the positive correlation with crude proteins (0.5571) highlights the essential role of protein in fish growth.

Survival rate (SR) exhibited strong positive correlations with several feed components, particularly crude proteins (0.9907) and total energy (0.8462). This suggests that diets rich in proteins and energy not only support growth but also improve fish survival, possibly by boosting their overall health and immune response.

Daily growth rate (DGR) showed extremely high positive correlations with crude proteins (0.9991), total energy (0.9956), and specific growth rate (SGR) (0.9989). These near-perfect correlations underscore



**Figure 2.** Effects of feed formulations on Tilapia's zootechnical attributes; Values represent averages with different letters (a, b) indicating significant differences according to Bonferroni test  $P < 0.05$ .

the critical role of protein and energy in daily growth increments and overall growth efficiency. This implies that optimizing these nutrients in the diet can lead to maximal growth rates.

Conversely, feed conversion rate (FCR) demonstrated strong negative correlations with most feed components, including dry matter (-0.8404), crude proteins (-0.9183), crude fats (-0.9618), and total energy (-0.8559). The strong negative correlation between FCR and weight (-0.9878) indicates that as feed conversion efficiency improves (lower FCR), weight gain increases. This is a crucial finding, suggesting that diets rich in proteins and fats not only promote growth but also improve feed efficiency.

Specific feed components, such as dry matter, crude proteins, and crude fats, showed strong positive correlations with multiple performance parameters, underscoring their significant influence on fish growth and health. For example, the positive correlation between specific growth rate (SGR) and both crude proteins (0.4805) and total energy (0.8462) highlights the importance of these nutrients in achieving high growth rates.

Overall, the correlation matrix reveals the complex relationships between feed composition and the performance of Nile Tilapia, emphasizing the importance of specific nutrients in achieving optimal growth and health outcomes. By understanding these relationships, we can better optimize feed formulations to enhance growth performance and sustainability in aquaculture practices, particularly in geothermal groundwater systems.

## DISCUSSION

Addressing the imperative for sustainable aquaculture, this study focuses on optimizing feed formulations for Nile Tilapia in geothermal aquaculture settings, emphasizing economic viability and enhanced food production within Tunisia's aquaculture sector. The exploration of locally sourced feed ingredients, such as rapeseed meal, durum wheat, and field beans, seeks to reduce costs while potentially improving growth performance. By inspecting the substitution of conventional feed components with these alternatives, we evaluate the economic implications of novel formulations. The study's outcomes offer crucial insights into the utilization of locally available protein sources derived from plant-based ingredients to bolster fish growth in sustainable aquaculture systems. In examining both economic and environmental dimensions, this research aligns with global initiatives promoting eco-friendly and sustainable food production practices, fostering advancements in Tunisia's aquaculture sector.

The variations in raw material proportions within the formulated feeds underscore the necessity of precision in feed formulation. The positive correlation between crude protein content in the feeds and key growth parameters is consistent with existing literature (Ng and Romano, 2013; Singha *et al.*, 2021). Rapeseed meal, a prominent ingredient in our formulations, has been acknowledged for its high protein content and balanced amino acid profile (Kaiser *et al.*, 2022). The notable growth advantage observed in fish fed rapeseed-based feed aligns with studies emphasizing the significance of protein quality in promoting growth (Han *et al.*, 2022; Kaiser *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023).

**Table 3.** Correlations Between Feed Composition and Nile Tilapia Performance Parameters

| Variables                | 1            | 2            | 3            | 4        | 5        | 6             | 7        | 8            | 9        | 10           | 11       | 12           | 13       | 14       | 15       | 16            | 17       | 18       | 19           | 20       | 21           | 22       |  |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|----------|----------|---------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|----------|----------|---------------|----------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--|
| 1 Dry Matter             | <b>1</b>     |              |              |          |          |               |          |              |          |              |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 2 Crude Proteins         | 0.557        | <b>1</b>     |              |          |          |               |          |              |          |              |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 3 Crude Fats             | 0.957        | 0.775        | <b>1</b>     |          |          |               |          |              |          |              |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 4 Crude Fiber            | 0.952        | 0.276        | 0.822        | <b>1</b> |          |               |          |              |          |              |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 5 Ash                    | 0.938        | 0.810        | <b>0.998</b> | 0.787    | <b>1</b> |               |          |              |          |              |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 6 Calcium                | 0.987        | 0.682        | 0.991        | 0.891    | 0.981    | <b>1</b>      |          |              |          |              |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 7 Phosphorus             | <b>0.998</b> | 0.613        | 0.974        | 0.929    | 0.960    | 0.996         | <b>1</b> |              |          |              |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 8 Total Energy           | 0.439        | 0.991        | 0.682        | 0.143    | 0.723    | 0.577         | 0.500    | <b>1</b>     |          |              |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 9 Lysine                 | 0.366        | 0.977        | 0.621        | 0.064    | 0.666    | 0.510         | 0.430    | 0.997        | <b>1</b> |              |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 10 Valine                | 0.519        | <b>0.999</b> | 0.745        | 0.232    | 0.782    | 0.648         | 0.577    | 0.996        | 0.986    | <b>1</b>     |          |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 11 Leucine               | -0.035       | 0.810        | 0.257        | -0.339   | 0.313    | 0.125         | 0.034    | 0.882        | 0.917    | 0.836        | <b>1</b> |              |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 12 Histidine             | 0.439        | 0.991        | 0.682        | 0.143    | 0.723    | 0.577         | 0.500    | <b>1.000</b> | 0.997    | 0.996        | 0.882    | <b>1</b>     |          |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 13 Arginine              | -0.343       | 0.589        | -0.055       | -0.614   | 0.003    | -0.189        | -0.277   | 0.693        | 0.748    | 0.625        | 0.951    | 0.693        | <b>1</b> |          |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 14 Threonine             | 0.601        | <b>0.999</b> | 0.808        | 0.327    | 0.840    | 0.721         | 0.655    | 0.982        | 0.964    | 0.995        | 0.778    | 0.982        | 0.545    | <b>1</b> |          |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 15 Isoleucine            | 0.239        | 0.939        | 0.511        | -0.070   | 0.560    | 0.391         | 0.305    | 0.977        | 0.991    | 0.954        | 0.962    | 0.977        | 0.830    | 0.920    | <b>1</b> |               |          |          |              |          |              |          |  |
| 16 Methionine + Cysteine | 0.850        | 0.911        | 0.967        | 0.648    | 0.980    | 0.923         | 0.885    | 0.846        | 0.801    | 0.891        | 0.496    | 0.846        | 0.203    | 0.932    | 0.714    | <b>1</b>      |          |          |              |          |              |          |  |
| 17 Phenylalanine         | 0.157        | 0.908        | 0.438        | -0.153   | 0.489    | 0.313         | 0.225    | 0.956        | 0.976    | 0.926        | 0.981    | 0.956        | 0.874    | 0.884    | 0.997    | 0.653         | <b>1</b> |          |              |          |              |          |  |
| 18 Weight                | -0.988       | -0.680       | -0.990       | -0.893   | -0.981   | <b>-1.000</b> | -0.996   | -0.573       | -0.507   | -0.645       | -0.121   | -0.573       | 0.193    | -0.718   | -0.387   | -0.922        | -0.309   | <b>1</b> |              |          |              |          |  |
| 19 SR                    | 0.439        | 0.991        | 0.682        | 0.143    | 0.723    | 0.577         | 0.500    | <b>1.000</b> | 0.997    | 0.996        | 0.882    | <b>1.000</b> | 0.693    | 0.982    | 0.977    | 0.846         | 0.956    | -0.573   | <b>1</b>     |          |              |          |  |
| 20 FCR                   | -0.840       | -0.918       | -0.962       | -0.634   | -0.976   | -0.916        | -0.876   | -0.856       | -0.812   | -0.899       | -0.512   | -0.856       | -0.221   | -0.938   | -0.727   | <b>-1.000</b> | -0.667   | 0.915    | -0.856       | <b>1</b> |              |          |  |
| 21 DGR                   | 0.521        | <b>0.999</b> | 0.747        | 0.234    | 0.784    | 0.650         | 0.579    | 0.996        | 0.985    | <b>1.000</b> | 0.835    | 0.996        | 0.623    | 0.995    | 0.953    | 0.892         | 0.925    | -0.647   | 0.996        | -0.900   | <b>1</b>     |          |  |
| 22 SGR                   | 0.480        | 0.996        | 0.715        | 0.189    | 0.754    | 0.614         | 0.540    | <b>0.999</b> | 0.992    | <b>0.999</b> | 0.860    | <b>0.999</b> | 0.659    | 0.990    | 0.966    | 0.870         | 0.942    | -0.611   | <b>0.999</b> | -0.879   | <b>0.999</b> | <b>1</b> |  |

† Coefficients in bold denote significant correlations according to Pearson test ( $P < 0.05$ )

In-depth investigations into the interplay of raw material proportions reveal that optimal growth is not solely contingent on protein content but also on the synergistic effects of other nutrients. The variations in lipid content, amino acid profiles, and mineral composition contribute to the observed differences in growth trajectories among the formulated feeds. This aligns with recent studies highlighting the multifaceted nature of feed formulation and the need for a holistic approach to achieve optimal growth (Miles and Chapman, 2006; Rahimnejad *et al.*, 2021).

Beyond proximate analyses, the nature of raw materials plays a pivotal role in shaping the nutritional landscape of formulated feeds. The inclusion of durum wheat introduces a carbohydrate source with implications for energy availability and utilization. Carbohydrates, often an underrated component in aquafeeds, have been shown to influence growth performance and feed utilization efficiency. Our findings underscore the importance of considering the energetic contributions of raw materials, shedding light on the nuanced interactions that influence overall growth dynamics (Rutegwa *et al.*, 2019).

Faba bean, rich in essential amino acids and minerals, contributes to the nutritional diversity of the formulated feeds (Martineau-Côté *et al.*, 2022). This aligns with the emerging perspective that the inclusion of multiple protein sources with complementary amino acid profiles can optimize growth performance (Ng and Romano, 2013). The observed differences in growth patterns among the feeds emphasize the need for a comprehensive understanding of the nutritional attributes of each raw material, transcending traditional proximate analyses.

Cereals such as wheat make up a significant proportion of the dietary carbohydrates in animal feeds, so optimizing the use of these carbohydrates can improve their effectiveness in aquaculture (Singha *et al.*, 2021). The inclusion of rapeseed and faba beans aims to provide high quality protein and other essential nutrients that are critical for fish growth and health. This is consistent with previous research highlighting the importance of protein quality in aquafeeds (Gule and Geremew, 2022). These ingredients are not only cost effective but also locally sourced, reducing the carbon footprint associated with feed transport and supporting local economies. Sustainable feed formulations help reduce reliance on conventional protein sources such as fishmeal, which have a higher environmental impact and are subject to overfishing concerns (Hussain *et al.*, 2024). Despite advances in fish nutrition and the development of species-specific diets that promote optimal growth and healthy fish production, there are still gaps in understanding the precise nutrient requirements and efficient feeding strategies for tilapia, especially in regions such as Africa. In addition, the effects of additives such as enzymes, hormones and pre/probiotics in tilapia diets show mixed results, with some studies reporting significant improvements in growth and nutrient digestibility, while others show minimal effects (Consuegra *et al.*, 2023). These discrepancies therefore highlight the importance of continued research to optimize feed formulations and feeding strategies.

The sustainability of aquaculture practices hinges not only on economic viability but also on the environmental footprint of feed formulations. The use of locally sourced ingredients, as exemplified in our study, aligns with the broader agenda of sustainable aquaculture (FAO, 2020). Rapeseed meal, in particular, has been recognized for its potential as a sustainable protein source with a lower environmental impact compared to traditional fishmeal (Kaiser *et al.*, 2022). This resonates

with global initiatives advocating for the responsible use of feed resources in aquaculture (FAO, 2022a).

The adoption of alternative ingredients in tilapia feeds offers a pathway to reduce reliance on conventional protein sources, contributing to the overall resilience and sustainability of the aquaculture sector. The economic advantages, coupled with positive growth outcomes, position these formulations as viable contenders in the quest for environmentally responsible feed practices (FAO, 2022b; Ministry of Agriculture, Water Resources and Fisheries, 2016).

While faba bean-based feed resulted in the highest weight gain, the associated high mortality rates make it less desirable. In contrast, the rapeseed-based feed provided a balance of good growth performance, high survival rates, and overall fish health. Therefore, we conclude that rapeseed is a more reliable ingredient for sustainable aquafeeds.

The superior feed conversion efficiency observed in the rapeseed-based diet aligns with contemporary discussions on the economic viability of aquafeeds. The cost-effectiveness of alternative ingredients, particularly rapeseed meal, positions them as attractive options for aquaculture operations seeking to optimize production costs without compromising growth performance (Tacon and Metian, 2015). The economic impact of the diets was calculated by comparing the cost of ingredients and the overall feed conversion ratio (FCR). Costs were analyzed based on local market prices, and the FCR was used to determine the efficiency of each diet in converting feed into biomass. This analysis demonstrated that the rapeseed-based diet offered the most cost-effective solution, combining lower ingredient costs with efficient feed conversion, thereby supporting its recommendation for sustainable aquaculture practices. The economic implications of such formulations resonate with the broader industry goal of achieving sustainable intensification in aquaculture (Mili *et al.*, 2023).

While our study demonstrates the potential of alternative feeds, it is essential to acknowledge the challenges associated with their adoption. Variability in raw material quality, availability, and potential anti-nutritional factors necessitates a meticulous approach to sourcing and processing (Ng and Romano, 2013; Tacon and Metian, 2015). Future studies should consider comparing the experimental diets with traditional fish meal-based diets to further validate the findings. Furthermore, the influence of water quality, system dynamics, and fish behavior on feed utilization warrants continuous scrutiny for a comprehensive understanding of growth determinants (Mili *et al.*, 2023). The comparison of the experimental diets with a commercial diet adds significant value to the discussion on environmentally friendly and responsible food production. In the context of optimizing feed formulations for Nile tilapia, our present study shows that the rapeseed-based diet not only promotes comparable growth rates but also exhibits superior feed conversion efficiency, highlighting its potential as a cost-effective and environmentally friendly alternative. This finding is in line with global initiatives to promote sustainable aquaculture practices by reducing reliance on conventional protein sources such as fishmeal, which have a higher environmental impact (Boyd *et al.*, 2020). In addition, local sourcing of ingredients such as rapeseed meal supports economic viability and reduces the carbon footprint associated with feed transport (Sarker, 2023). In another context, the health benefits associated with omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids are well documented, with regular consumption linked to a reduced risk of cardiovascular disease (Tacon *et al.*, 2020). However, the inclusion of terrestrial vegetable oils,

a common alternative to fish oil, has led to a significant reduction in omega-3, negatively impacting the nutritional value of farmed fish (Napier and Betancor, 2023).

## CONCLUSION

This study delves into aquafeed formulations, spotlighting raw material proportions' nuanced impact on Nile Tilapia's growth. Local ingredients like rapeseed meal, durum wheat, and faba bean show promise for sustainable aquaculture. Optimizing feed formulations becomes key for economic and environmental sustainability amid global seafood demands. Ongoing research and innovation are crucial for refining feed practices and advancing aquaculture resilience.

This integrated exploration spans Nile Tilapia adaptation to geothermal waters and formulating cost-effective aquafeeds, contributing significantly to sustainable aquaculture. Balancing food security and environmental responsibility, this multidimensional approach sets the stage for future aquaculture advancements.

In conclusion, our study unveils the transformative potential of rapeseed-based feed for Nile tilapia in geothermal waters, enhancing sustainability and economic viability. Future research can explore physico-chemical analyses and the integration of supplements for further aquaculture advancements.

## CREDIT AUTHOR STATEMENT

Conceptualization ST, HD and KE, HL; Supervision: ST, HD and HL; Experiments and data curation: ST, KE, HL; Statistical analysis: ST; Writing and drafting: ST; Funding: HD and HL.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was undertaken under a collaboration between the "Higher Institute of Applied Biology of Médenine" and National Institute of Marine Science and Technology (INSTM), Experimental station of Béchima-Elhamma, Gabes -Tunisia. Authors thank the Lab Techna-Tunisia for their support during feeds analysis and formulation.

## REFERENCES

- BONHAM, V. 2023. *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia), CABI Compendium. *CABI Compendium*. DOI: 10.1079/cabicompendium.72086
- BOYD, C. E., L. R. D. ABRAMO, B. D. GLENCROSS, D. C. HUYBEN, L. M. JUAREZ, G. S. LOCKWOOD, A. A. MCNEVIN, A. G. J. TACON, F. TELETCHEA, J. R. T., JR, C. S. TUCKER, & W. C. VALENTI. 2020. Achieving sustainable aquaculture : Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society* 51: 578–633. DOI:10.1111/jwas.12714
- CONSUEGRA, S., T. U. WEBSTER, & I. ANKA. 2023. Microbiome, Epigenetics and Fish Health Interactions in Aquaculture, In: Piferrer, F. & H. P. Wang (Eds). *Epigenetics in Aquaculture*. Wiley, pp. 245–262. DOI:10.1002/9781119821946.ch11
- FAO, 2023. Fishery and Aquaculture Statistics – Yearbook 2020., FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc7493en> (downloaded October 15, 2023)
- FAO, 2022a. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc0461en> (downloaded October 15, 2023)
- FAO, 2022b. Aquaculture growth potential in Tunisia WAPI factsheet to facilitate evidence-based policy-making and sector management in aquaculture. FAO, Rome, Italy. (downloaded October 15, 2023)
- FAO, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action. FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/ca9229en> (downloaded October 15, 2023)
- GLENCROSS, B., D. M. FRACALOSI, K. HUA, M. IZQUIERDO, K. MAI, M. ØVERLAND, D. ROBB, R. ROUBACH, J. SCHRAMA, B. SMALL, A. TACON, L. M. P. VALENTE, M. T. VIANA, S. XIE, & A. YAKUPITYAGE. 2023. Harvesting the benefits of nutritional research to address global challenges in the 21st century. *Journal of the World Aquaculture Society* 54: 343–363. <https://doi.org/10.1111/jwas.12948>
- GULE, T. T., & A. GEREMEW. 2022. Dietary Strategies for Better Utilization of Aquafeeds in Tilapia Farming. *Aquaculture Nutrition* 2022: 9463307. <https://doi.org/10.1155/2022/9463307>
- HAN, Y. K., Y. C. XU, Z. LUO, T. ZHAO, H. ZHENG, & X. Y. TAN. 2022. Fish Meal Replacement by Mixed Plant Protein in the Diets for Juvenile Yellow Catfish *Pelteobagrus fulvidraco*: Effects on Growth Performance and Health Status. *Aquaculture Nutrition* 2022, 2677885. <https://doi.org/10.1155/2022/2677885>
- HARDY, R. W., 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research* 41: 770–776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x>
- HERNÁNDEZ-VERGARA, M. P., S. B. CRUZ-ORDÓÑEZ, C. I. PÉREZ-ROSTRO, & I. A. PÉREZ-LEGASPI, 2018. Polyculture of crayfish (*Procambarus acanthophorus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) as a strategy for sustainable water use *Hidrobiológica* 28: 11–15. DOI: 10.24275/uam/izt/dchs/hidro/2018v28n1/HernandezV
- HUA, K., J. M. COBCROFT, A. COLE, K. CONDON, D. R. JERRY, A. MANGOTT, C. PRAEGER, M. J. VUCKO, C. ZENG, K. ZENGER, & J. M. STRUGNELL. 2019. The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets. *One Earth* 1: 316–329. DOI: 10.1016/j.oneear.2019.10.018
- HUSSAIN, S.M., A. ADEEBA, S. ALI, M. RIZWAN, M. ADREES, A. FAWAD, P. K. SARKER, M. HUSSAIN, M. Z. ARSALAN, J. WAN, H. YONG, & A. NAEEM. 2024. Substitution of fishmeal : Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. *Heliyon* 10 DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e26573
- KAISER, F., H. HARBACH, & C. SCHULZ. 2022. Rapeseed proteins as fishmeal alternatives: A review. *Reviews in Aquaculture* 14: 1887–1911. DOI:10.1111/raq.12678
- LÉVÊQUE, C., T. OBERDORFF, D. PAUGY, M. L. J. STIASSNY, & P. A. TEDESCO. 2008. Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 545–567. DOI: 10.1007/s10750-007-9034-0
- MAGBANUA, T.O., & J. A. RAGAZA. 2023. Growth and whole-body proximate composition of *Oreochromis niloticus* Nile tilapia fed pea meal: A

- systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7: 1103263. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1103263
- MAGBANUA, T.O., & J. A. RAGAZA. 2022. Systematic review and meta-analysis of the growth performance and carcass composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed dietary copra meal. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6: 1025538. DOI: 10.3389/fsufs.2022.1025538
- MARTINEAU-CÔTÉ, D., A. ACHOURI, S. KARBOUNE, & L. L'HOCINE. 2022. Faba Bean: An Untapped Source of Quality Plant Proteins and Bioactives. *Nutrients* 14: 1541. DOI:10.3390/nu14081541
- MILES, R.D., & F. A. CHAPMAN. 2006. The Benefits of Fish Meal in Aquaculture Diets: FA122. *EDIS* 5/2006 (12): 1–7. DOI: 10.32473/edis-fa122-2006
- MILI, S., R. ENNOURI, M. FATNASSI, H. ZARROUK, R. THABET, & H. LAOUAR. 2023. Nile Tilapia "*Oreochromis niloticus*" Farming in Fresh and Geothermal Waters in Tunisia: A Comparative Study, In: Manzoor, S., & M. Abubakar (Eds.). *IntechOpen*, pp. 1-30. DOI: 10.5772/intechopen.106646
- MINISTRY OF AGRICULTURE, WATER RESOURCES AND FISHERIES. 2016. Five-year Development Plan 2016 – 2020 for the Agricultural, Marine Fisheries and Natural Resources Sectors. Tunisia. (in Arabic). 126p.
- NAPIER, J. A., & M. B. BETANCOR. 2023. ScienceDirect Plant Biology Engineering plant-based feedstocks for sustainable aquaculture. *Current Opinion in Plant Biology* 71: 102323. DOI: 10.1016/j.pbi.2022.102323
- NAYLOR, R.L., R. W. HARDY, A. H. BUSCHMANN, S. R. BUSH, L. CAO, D. H. KLINGER, D. C. LITTLE, J. LUBCHENCO, S. E. SHUMWAY, & M. TROELL. 2021. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature* 591: 551–563. DOI: 10.1038/s41586-021-03308-6
- Ng, W. K., & N. ROMANO. 2013. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. *Reviews in Aquaculture* 5: 220–254. DOI: 1111/raq.12014
- O'SHEA, T., R. JONES, A. MARKHAM, E. NORELL, S. THEUERKAUF, & T. WATERS. 2019. Towards a Blue Revolution: Catalyzing Private Investment in Sustainable Aquaculture Production Systems., The Nature. ed. Arlington, Virginia, USA. 163 p.
- PAREDES, E. M., M. H., RODRÍGUEZ, M. M. PAREDES, A. G. MARTÍNEZ, C. M. PAREDES, & J. L. G. GUERRERO. 2020. Productive performance of the Guayas cichlid (*Mesoheros festae*) fed palm meal based diets during the juvenile stage. *Hidrobiológica* 30: 251–258. DOI: 10.24275/uam/izt/dcbshidro/2020v30n3/Mazon
- RAHIMNEJAD, S., K. DABROWSKI, M. IZQUIERDO, & O. MALINOVSKIY. 2021. Effects of Dietary Protein and Lipid Levels on Growth, Body Composition, Blood Biochemistry, Antioxidant Capacity and Ammonia Excretion of European Grayling (*Thymallus thymallus*). *Frontiers in Marine Science* 8: 715636. DOI: 10.3389/fmars.2021.715636
- RUTEGWA, M., J. POTU, J. HEJZLAR, & B. DROZD. 2019. Carbon metabolism and nutrient balance in a hypereutrophic semi-intensive fishpond. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 420: 49. DOI: 10.1051/kmae/2019043
- SARKER, P.K., 2023. Microorganisms in Fish Feeds, Technological Innovations, and Key Strategies for Sustainable Aquaculture. *Microorganisms* 11: 493. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020439>
- SHUAI, F., J. LI, & S. LEK. 2023. Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) invasion impacts trophic position and resource use of commercially harvested piscivorous fishes in a large subtropical river. *Ecological Processes* 12: 22. DOI: 10.1186/s13717-023-00430-3
- SINGHA, K.P., N. SHAMNA, N. P. SAHU, P. SARDAR, V. HARIKRISHNA, R. THIRUNAVUKKARASAR, D. K. CHOWDHURY, M. K. MAITI, & G. KRISHNA. 2021. Optimum dietary crude protein for culture of genetically improved farmed tilapia (GIFT), *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) juveniles in low inland saline water: Effects on growth, metabolism and gene expression. *Animal Feed Science and Technology* 271: 114713. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2020.114713
- SYED, R., Z. MASOOD, H. UL HASSAN, W. KHAN, S. MUSHTAQ, A. ALI, Y. GUL, H. JAFARI, A. HABIB, M. ISHAQ ALI SHAH, K. GABOL, H. GUL, & A. ULLAH. 2022. Growth performance, haematological assessment and chemical composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed different levels of Aloe vera extract as feed additives in a closed aquaculture system. *Saudi journal of biological sciences* 29: 296–303. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.08.098
- TACON, A. G. J., D. LEMOS, & M. METIAN. 2020. Fish for Health: Improved Nutritional Quality of Cultured Fish for Human Consumption. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 28: 449–458. DOI:10.1080/23308249.2020.1762163
- TACON, A. G. J., & M. METIAN. 2015. Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 23: 1-10. DOI:10.1080/23308249.2014.987209
- ZHANG, C., L. HU, J. HAO, W. CAI, M. QIN, Q. GAO, & M. NIE. 2023. Effects of plant-derived protein and rapeseed oil on growth performance and gut microbiomes in rainbow trout. *BMC Microbiology* 23: 255. DOI: 10.1186/s12866-023-02998-4

## Metales pesados en músculo de *Pterygoplichthys pardalis* y especies acompañantes en Pantanos de Centla, Tabasco, México

### Heavy metals in muscle of *Pterygoplichthys pardalis* and companion species in Pantanos of Centla, Tabasco, México

Adriana Alvarado-Arcia<sup>1</sup>, Rebeca I. Martínez-Salinas<sup>2</sup>, Everardo Barba-Macías<sup>3</sup>, Juan J. Morales-López<sup>4</sup> y Arturo Torres-Dosal<sup>5\*</sup>

Recibido: 02 de septiembre de 2022.

Aceptado: 13 de agosto de 2024.

Publicado: diciembre de 2024.

#### RESUMEN

La ingesta de pescado es reconocida por sus beneficios a la salud humana, debido al aporte de macro y microelementos esenciales para los seres vivos, proteínas, vitaminas A, B12 y D; sin embargo, simultáneamente puede representar riesgos a la salud por la bioacumulación de elementos químicos tóxicos como el Cd, Hg y Pb. Los productos de pescado deben cumplir con límites máximos permisibles de estos elementos para asegurar que su consumo es inocuo. Los peces de agua dulce del género *Pterygoplichthys* (plecos) son especies exóticas invasoras que han generado impactos negativos a nivel ecosistémico, económico y social en el sureste de México. El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de Cd, Hg, Mn y Pb en el músculo del pez *Pterygoplichthys pardalis* en lagunas de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla en Tabasco, México; con la finalidad de definir si estas concentraciones son mayores a los límites máximos permisibles enunciados por normatividad internacional para su aprovechamiento con fines alimentarios. Para ello, se realizó una cuantificación de metales por medio de espectrometría de absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros en muestras de músculo de plecos y otras especies acompañantes. La concentración evaluada de los metales en plecos capturados en la RBPC se encuentra por debajo de los niveles máximos sugeridos en normatividad internacional para carne de pescado e incluso, es menor a los valores reportados en años anteriores por otros autores. Dados estos resultados, la carne de estos peces puede considerarse como aceptable para consumo específicamente en la temporada de lluvias, siendo una solución para disminuir las necesidades nutricionales de personas en áreas rurales y urbanas de México.

Palabras clave: Cadmio, manganeso, mercurio, pez diablo, plomo.

#### SUMMARY

Fish consumption is recognized for its benefits to human health due to the contribution of essential macro and micro elements for living beings, proteins, and vitamins A, B12, and D. However, it can simultaneously represent health risks due to the bioaccumulation of toxic chemical elements such as Cd, Hg, and Pb. Fish products must comply with the maximum permissible limits of these elements to ensure that their consumption is safe. The genus of freshwater fish *Pterygoplichthys* spp (plecos) is a set of invasive exotic species that have generated negative impacts at the ecosystem, economic, and social levels in southeastern Mexico. The objective of this research was to determine the concentration of Cd, Hg, Mn, and Pb in the muscle of the fish *Pterygoplichthys pardalis* in lagoons of the Pantanos de Centla Biosphere Reserve in Tabasco (RBPC), Mexico, with the purpose of defining whether these concentrations are mayor than the maximum permissible limits set forth by international regulations, for their use for food purposes. To this end, metal quantification was carried out by means of atomic absorption spectrometry with a graphite furnace and hydride generator in muscle samples of plecos and other accompanying species. The concentration of these metals in plecos caught in the RBPC is below the maximum levels suggested in international regulations for fish meat and is even lower than the values reported in previous years by other authors. Given these results, the meat of these fish can be considered acceptable for consumption in rainy season, being a solution to reduce the nutritional needs of people in rural and urban areas of Mexico.

Key words: Cadmium, devil fish, lead, manganese, mercury.

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable, Departamento de Salud, El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR, Periférico Sur s/n, María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, C. P. 29290, México.

<sup>2</sup> Profesora Investigadora de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, UNICACH. Libramiento Norte Poniente No. 1150, Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, C.P. 29000, México.

<sup>3</sup> Investigador del Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR, Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n, Guineo 2da. Sección, Villahermosa, Tabasco, C. P. 86280, México.

<sup>4</sup> Responsable del Laboratorio de Análisis Instrumental, El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR, Periférico Sur s/n, María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, C. P. 29290, México.

<sup>5</sup> Investigador del Departamento de Salud, El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR, Periférico Sur s/n, María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, C. P. 29290, México.

**\*Corresponding author:**

Arturo Torres-Dosal: e-mail: atorres@ecosur.mx

**To quote as:**

Alvarado-Arcia, A., R. Martínez-Salinas, E. Barba-Macías, J. Morales-López & A. Torres-Dosal. 2024. Metales pesados en músculo de *Pterygoplichthys pardalis* y especies acompañantes en Pantanos de Centla, Tabasco, México. *Hidrobiológica* 34 (3): 191-206.



## INTRODUCCIÓN

El pescado representa aproximadamente el 17 % de la ingesta total de carne a nivel mundial, constituyendo una fuente rica en proteína de alta calidad y biodisponibilidad. Además, contiene aminoácidos esenciales, así como ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-3 (n-3 LCPUFA) (Kobayashi *et al.*, 2015; FAO, 2016; Reksten *et al.*, 2020). Por lo tanto, su consumo podría ser una alternativa para abordar los desafíos nutricionales y de seguridad alimentaria de países en vías de desarrollo. El músculo de pescado puede contener entre un 50 y un 90 % de proteína y vitaminas A, B12 y D; hierro, selenio, zinc, calcio y yodo (Kawarazuka & Béné, 2011; Groth, 2017; Cano-Salgado *et al.*, 2022; Escalera-Vázquez, s/f). El consumo de estos productos contribuye a reducir la incidencia de enfermedades cardiovasculares, metabólicas y neurológicas, las cuales aumentan el riesgo de morbilidad y mortalidad en la población (Kromhout *et al.*, 2012; Tørris *et al.*, 2014).

Sin embargo, los peces pueden estar expuestos a sustancias químicas peligrosas presentes en los ecosistemas que habitan. Las vías de exposición suelen ser a través de las agallas, el tracto digestivo y la piel (escamas o placas dérmicas). Los elementos tóxicos pueden ser bioacumulados en sus tejidos, especialmente en hígado, agallas, riñones y músculo (Depledge & Sanders, 1998). Adicionalmente pueden biomagnificarse en los peces consumidores, de acuerdo con el tipo de dieta y la tasa de consumo de otros organismos acuáticos (Ahmed *et al.*, 2016; Duque *et al.*, 2015). Cabe destacar que los elementos cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) pueden encontrarse tanto de forma natural como asociados a ciertas actividades humanas. Estos elementos no se degradan en el medio ambiente, por lo que su persistencia es potencialmente alta. Sus concentraciones pueden verse incrementadas en ríos, suelos, sedimentos, aire y biota debido a actividades antrópicas, especialmente aquellas de origen industrial y minero. Son elementos no esenciales para los organismos; su toxicidad está asociada a la capacidad de mimetizar a otros elementos esenciales como el calcio (Ca), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) para enlazarse principalmente a complejos orgánicos sulfhidrilos e interferir con la funcionalidad de proteínas, enzimas transportadoras, mecanismos de señalización y otros procesos dentro de la célula (Bridges & Zalups, 2010). Por otra parte, el manganeso (Mn) es un oligoelemento esencial involucrado en sistemas bioquímicos como un activador de enzimas, necesario para el crecimiento y función normal de animales terrestres y peces (Nie *et al.*, 2016).

Depledge & Sanders (1998) indican que los metales tóxicos pueden dirigirse a órganos objetivo en los peces. Es así como el Cd se acumula en riñones, hígado y agallas; el Hg se almacena en músculo, tejido adiposo e hígado y el Pb se encuentra en hígado, branquias, riñones, músculo, huesos y escamas; los tres elementos traspasan la membrana embrionaria por lo que pueden encontrarse en los huevos. La ingesta de estos tejidos por parte de los seres humanos puede aumentar el riesgo de exposición a dichos metales.

En el cuerpo humano, el Cd tiende a acumularse en hígado y riñones, generando problemas de proteinuria significativa y daño renal (EPA, 1989). La forma orgánica de Hg, conocida como metilmercurio (MeHg), se absorbe a través del consumo de pescado por el sistema gastrointestinal y puede acumularse en los riñones y el cerebro. Esto puede ocasionar deterioro en el desarrollo neuropsicológico en niños menores de 7 años, ya que el elemento puede pasar de la placenta de la madre al feto (EPA, 2001). De manera similar, el Pb tiene efectos

adversos significativos en el desarrollo neuroconductual de niños, aunque no haya evidencias de toxicidad y los niveles en sangre sean tan bajos que no alcancen una concentración umbral, a diferencia de otros elementos tóxicos (EPA, 2004). El Mn, cuando se encuentra en niveles altos en niños de 4 a 8 años (> 3 mg/día), puede causar problemas neurológicos (LPI, 2022).

Algunos estudios han comparado los beneficios del consumo de pescado contra el riesgo por exposición a sustancias peligrosas, con resultados contrastantes en los que la especie y edad de los organismos, asociada al tamaño y hábitos alimenticios, puede definir la estrategia para su consumo (Groth, 2017; Moriarity *et al.*, 2020; Vilavert *et al.*, 2017). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), el Reglamento de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Reglamento de la Comisión Europea (CE) Nro. 1881 y las Normas Oficiales Mexicanas han establecido valores máximos de contenido de metales pesados en productos pesqueros consumibles, como una medida para controlar la exposición humana a estos elementos.

El Golfo de México alberga pesquerías comerciales de importancia nacional para México y los Estados Unidos de Norteamérica (Harris *et al.*, 2012). Los ríos Grijalva y Usumacinta son dos de los mayores cuerpos de agua que desembocan en el Golfo de México desde el estado de Tabasco. Existen reportes de concentraciones de metales pesados en aguas y sedimentos del delta de éstos (Villanueva & Botello, 1992; Trefry *et al.*, 2007; Pérez-Cruz *et al.*, 2013; Alvarado-Arcia *et al.*, 2014; Mendoza-Carranza *et al.*, 2016; Flores *et al.*, 2018; Musalem-Castillejos *et al.*, 2018; Ruiz-Fernández *et al.*, 2019) que son mayores a los valores guía para sedimentos de agua dulce reportados por CCME (2001). Por lo que, se considera que, en ciertas regiones, los organismos acuáticos podrían estar expuestos a metales pesados.

Esto ha sido corroborado mediante estudios de biodisponibilidad de metales en especies de organismos acuáticos en la zona (Villanueva & Botello, 1992; Vázquez *et al.*, 2008; Vázquez-Sauceda *et al.*, 2011; Lorenzo-Márquez *et al.*, 2016; Mendoza-Carranza *et al.*, 2016). Estos estudios indican que existe bioacumulación de sustancias peligrosas en los tejidos de los organismos y por ende, riesgo de exposición a la salud humana por el consumo de los mismos.

La creciente demanda de alimentos ha focalizado la atención en el aprovechamiento de algunas especies invasoras de crecimiento rápido y mayores densidades poblacionales, como una oferta alimentaria válida. Uno de los géneros de peces invasores con amplia distribución a nivel mundial es *Pterygoplichthys* spp (Linnaeus, 1758; Froese & Pauly, 2019), perteneciente al orden Siluriformes, familia Loricariidae, comúnmente conocidos como plecos, bagres acorazados, peces armados o pez diablo (Orfinger & Goodding, 2018). Son peces de agua dulce neotropicales detritívoros-herbívoros, nativos de la cuenca del río Amazonas en Suramérica (Wakida-Kusunoki *et al.*, 2016). El primer reporte de su presencia en México fue en el río Mezcala, estado de Guerrero en el año 1995 (Guzmán & Barragán, 1997) y desde entonces, su distribución en cuerpos de agua del norte, centro y sur de México ha sido constante (Barba-Macías *et al.*, 2014; Mejía-Mojica *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2015; Wakida-Kusunoki *et al.*, 2016). En la zona sur del país se han registrado densidades entre 0.02 y 1.30 individuos/m<sup>2</sup> (Barba-Macías *et al.*, 2014), con un porcentaje importante de contribución a la densidad total de la comunidad de peces, principalmente en lagunas desconec-

tadas en temporada de lluvias, con tamaño predominante entre 21 y 30 cm de longitud estándar (Escalera-Vázquez *et al.*, 2019).

Los impactos negativos, tanto ecológicos como económicos, sociales y culturales, generados por la presencia del pleco en la planicie de inundación de los ríos Grijalva y Usumacinta en el estado de Tabasco, han sido reportados durante varios años (Barba-Macías & Cano-Salgado, 2014; Low-Feng *et al.*, 2014; Escalera-Vázquez *et al.*, 2019). Su elevado potencial de invasión se debe principalmente a altas tasas de reproducción, dieta generalista, ausencia de depredadores y su capacidad de adaptación a condiciones extremas, tales como ambientes con deficiencias de oxígeno, niveles elevados de sólidos suspendidos y salinidad (Capps *et al.*, 2011; Lorenzo-Márquez *et al.*, 2016; Mendoza-Alfaro *et al.*, 2009; Mendoza-Alfaro & Koleff-Osorio, 2014).

Estos peces han sido observados en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC; Pérez-Cruz *et al.*, 2013; Amador-del Ángel & Wakida-Kusunoki, 2014; Sánchez *et al.*, 2015; Barba-Macías *et al.*, 2017; Sánchez *et al.* 2019), una de las áreas de humedales más extensas de Norteamérica; desarrollada entre la planicie palustre y la planicie fluviodeltaica de los ríos Grijalva, Usumacinta y San Pedro-San Pablo en la Planicie Costera del Golfo Sur (Ramos-Reyes *et al.*, 2016; Zavala-Cruz *et al.*, 2016). Un estudio de Vargas-Rivas *et al.* (2022) que utilizó la amplificación genética de regiones mitocondriales de CYTB y COI, identificó un haplotipo único compartido para los especímenes capturados en las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta, lo que sugiere que aun cuando existen diferencias morfológicas, los peces de este género presentes en la región son *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855) o de origen híbrido, resultado de un solo evento de invasión. También se ha detectado la conformación de una red trófica alrededor de estos peces, con depredadores naturales como el cormorán de doble cresta *Phalacrocorax auritus* (Lesson, 1831), el cormorán del neotrópico *P. brasiliensis* (Gmelin, 1789) y peces piscívoros como *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), *C. poeyi* (Chávez, 1961) y *Megalops atlanticus* (Valenciennes, 1847; López-García *et al.*, 2018); incorporándose también al ser humano como parte de dicha red, con el aprovechamiento de su carne para uso agropecuario (alimentación de animales de granja como ganado, aves de corral y otros peces; Cano-Salgado, 2011; Monares-Gallardo *et al.*, 2012; Humedales Usumacinta A. C., 2013; Filigrana-Celorio, 2016; Cano-Salgado *et al.*, 2022; Escalera-Vázquez *s/f*) así como consumo directo en preparaciones gastronómicas como ceviches, frituras, entre otros.

Estas actividades contribuyen a la regulación de la población de peces invasores en la RBPC, lo cual disminuye los impactos ecológicos generados. También permiten una reconfiguración económica y cultural de las familias pescadoras, orientada en el aprovechamiento del pez, en la que pueden generar ingresos a través de la venta de estos peces para cubrir los gastos asociados con la rotura y sustitución de redes, así como para compensar la limitada abundancia de otros peces en los cuerpos de agua del lugar. Es importante destacar que los plecos han sido reconocidos como monitores eficaces de la biodisponibilidad de sustancias contaminantes en el medio acuático (Viana-Finoto *et al.*, 2017). Por lo que resulta imprescindible identificar las concentraciones de estos compuestos antes de proponer el consumo y aprovechamiento de su carne. Cabe mencionar que las lagunas, canales y ríos de la RBPC son cuerpos de agua vulnerables al aumento de la salinidad debido al intercambio con agua de mar del Golfo de México, como consecuencia del cambio climático y su cercanía con la línea de costa (Ramos Reyes

*et al.*, 2016). Además, estos cuerpos de agua son afectados por la concentración de sustancias químicas contaminantes provenientes de los ríos Grijalva, Usumacinta, San Pedro y San Pablo y del Golfo de México.

La mayoría de los estudios de metales pesados realizados en la región se llevaron a cabo durante períodos de sequía (Pérez-Cruz *et al.*, 2013; Lorenzo-Márquez *et al.*, 2016; Mendoza-Carranza *et al.*, 2016) lo que resultó en concentraciones de estos elementos superiores a las recomendadas en las guías de calidad ambiental de sedimentos y agua. Sin embargo, es importante destacar que los estados de Chiapas y, especialmente Tabasco, tienen un régimen hídrico con presencia de lluvias durante al menos 7 meses al año (Cruz-Ramírez *et al.*, 2019). Es necesario determinar las concentraciones de metales en los organismos acuáticos durante los períodos lluviosos para identificar si la dilución característica que se presenta en la concentración de metales en el agua y sedimento en esta temporada, también se refleja en los organismos. Dado que los cuerpos de agua en la zona de estudio presentan conexión lateral, esta dilución permitiría definir estrategias de consumo no solo para el pleco, sino también para otras especies comerciales.

La cuantificación de las concentraciones de metales pesados en la carne del pez *Pterygoplichthys pardalis* es un primer paso para definir si su consumo constituye o no un riesgo a la salud humana o de los animales que sean alimentados con los productos derivados de él, como harinas, ensilados, aceites, colágeno, entre otros. El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de los metales Cd, Hg, Mn y Pb en el músculo del pez *Pterygoplichthys pardalis* y especies acompañantes capturadas en temporada de lluvias en lagunas de la RBPC, dentro de la planicie de inundación de los ríos Grijalva y Usumacinta en el estado de Tabasco, México. Esto se llevó a cabo con la finalidad de establecer si el aprovechamiento de la carne de este pez era seguro para el consumo humano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estado de Tabasco tiene una superficie de 24,661 km<sup>2</sup>, limitando hacia el norte con el Golfo de México, al sur con el estado de Chiapas y con Guatemala, al oeste con el estado de Veracruz y al este con el estado de Campeche. Su territorio forma parte de las cuencas de los ríos Tonalá (oeste), Grijalva (centro) y Usumacinta (este). Los ríos Grijalva y Usumacinta, ambos transfronterizos con Guatemala, son los cuerpos de agua de mayor importancia en el sureste mexicano; forman parte de la Región Hidrológica-Administrativa XI, Frontera Sur, Subregión Bajo Grijalva o Grijalva-Villahermosa, según CONAGUA (2014). La importancia ecosistémica de esta región se centra en la biodiversidad, servicios y bienes ambientales que en ella se desarrollan, captando un escurrimiento anual que alcanza el 30 % del total nacional (INECC, 2007; Plascencia-Vargas *et al.*, 2014).

A lo largo del río Grijalva existen cuatro presas (Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas; INECC, 2007; DOF, 2018) mientras que el río Usumacinta mantiene un cauce natural sin grandes obras hidráulicas. La RBPC se encuentra ubicada en la unión de los cauces de ambos ríos al norte del estado de Tabasco, entre las coordenadas geográficas 17°57'53" y 18°39'03"N y 92°06'39" y 92°47'58"O" (Fig. 1). La reserva está conformada por cuerpos de agua permanentes o semi-permanentes, sobre depresiones de entre 1 a 5 msnm con pendientes

menores a 1 % con buena conectividad lateral en períodos de lluvia (Zavala- Cruz *et al.*, 2016). El clima es cálido subhúmedo, con lluvias en verano y precipitaciones anuales que oscilan entre 1,100 y 2,000 mm y una temperatura media anual superior a 25 °C (Mendoza-Carranza *et al.*, 2016; Ramos-Reyes *et al.*, 2016). De acuerdo con Cruz-Ramírez *et al.* (2019) en la zona baja de la cuenca del río Usumacinta se han identificado tres períodos climáticos: mínima inundación, máxima inundación y transición (marzo-junio, julio-noviembre y diciembre-febrero, respectivamente).

### Muestreo

Se seleccionaron cuatro puntos de muestreo dentro de la RBPC correspondientes a las lagunas El Viento (18°14'23.23"N, 92°39'51.17"O; con número de especímenes capturados de n=16), San Isidro (18°24'03.5" N, 92°28'25.1" O; n=16), San Pedrito (18°21'52.9" N, 92°36'03.5" O, n=16) y El Coco (18°29'10.5" N, 92°41'20.3" O; n=14). Las lagunas San Isidro y San Pedrito tienen como afluente principal al río Usumacinta, la laguna El Viento al río Grijalva y la laguna El Coco a ambos ríos (Fig. 1). Los sitios fueron elegidos por ser áreas de importancia pesquera, por su función como vasos reguladores naturales de las inundaciones y por la presencia abundante de pecos (Barba-Macías *et al.*, 2017).

El muestreo se realizó del 1 al 5 de septiembre y del 5 al 10 de octubre del año 2015 durante la temporada de máxima inundación, con la colaboración de pescadores locales, usando redes de monofilamento de 15 m de largo por 2 m de ancho. La identificación taxonómica de las especies se basó en el sistema propuesto por Miller *et al.* (2009), y se trabajó con todos los especímenes capturados, independientemente de su sexo. En este estudio se consideró que los pecos pertenecían a la especie *Pterygoplichthys pardalis*, de acuerdo con lo descrito por

Vargas-Rivas *et al.* (2022). El sacrificio de los especímenes se realizó tomando como guía las indicaciones establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 (DOF, 2015). Todos los ejemplares fueron sometidos a una necropsia para obtener el tejido muscular de cada individuo y se depositaron en tubos cónicos de polipropileno de 50 ml marca Corning. Las muestras de tejido fueron transportadas en condiciones de refrigeración a 4 °C y posteriormente se almacenaron en congelación a -20 °C hasta su análisis en laboratorio.

### Procesamiento y determinación de metales en las muestras

Para la extracción de metales totales de las muestras de músculo, se pesaron 0.3 g de tejido en una balanza Explorer Pro OHAUS (con 0.0001 g de sensibilidad). Se procesaron en un sistema de digestión asistido por microondas CEM Mars6 utilizando vasos de teflón. A la muestra se agregaron 9 mL de HNO<sub>3</sub> marca JT BAKER grado Instra analyzed. La mezcla se dejó en reposo durante una hora para favorecer la predigestión del tejido. Posteriormente se inició el proceso de digestión mediante el método precargado "Animal Tissue" bajo las siguientes condiciones de trabajo: temperatura de 190 °C y una potencia de 290-1800 W, en una rampa de 20 minutos con períodos de mantenimiento y enfriamiento de 15 minutos cada uno.

Las muestras se sometieron a dos ciclos de digestión hasta alcanzar una solución incolora y transparente. Entre cada ciclo de digestión, las muestras permanecieron cerradas hasta su enfriamiento para evitar la pérdida de analitos. Una vez digeridas, las muestras se dejaron enfriar y se trasvasaron a un matraz volumétrico clase A de 25 mL, ajustando el volumen con HNO<sub>3</sub> 2%. Las muestras se filtraron con papel Whatman Nro. 50 y se almacenaron a 4 °C.

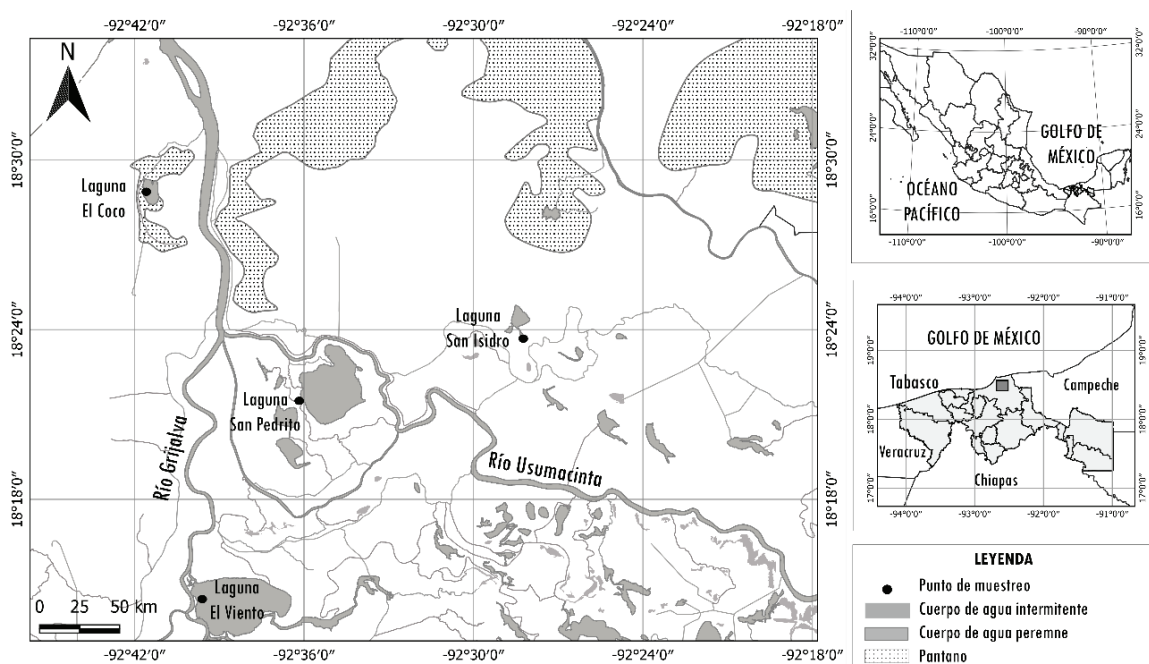


Figura 1. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la RBPC. Fuente: Elaboración propia.

La cuantificación de metales se realizó de acuerdo con los métodos EPA 7010 (EPA, 1998) y EPA 7471B (EPA, 2007) por medio de espectrometría de absorción atómica con horno de grafito y por vapor frío, respectivamente. Para ello, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Marca Varian modelo SpectrAA220, equipado con horno de grafito marca Agilent GTA 110 y generador de hidruros marca Agilent VGA77. Los límites de cuantificación fueron los siguientes: Cd = 3.16  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ; Mn = 126.20  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ; Hg = 12.63  $\mu\text{g kg}^{-1}$  y Pb = 6.31  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Como control de calidad se utilizó el material de referencia de tejido de hígado de bovino del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST 1577c) con un porcentaje de recuperación del 95-97 %. Todos los análisis se realizaron en los Laboratorios de Análisis Instrumental de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) ubicados en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. Los resultados del análisis de metales en tejido de organismos diferentes a *Pterygoplichthys pardalis* se reportaron a nivel de filo (Otros peces / Crustáceos). Todas las concentraciones de metales totales en los organismos se expresaron en microgramos ( $\mu\text{g}$ ) de metal por kilogramo (kg) de músculo,  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (o partes por billón, ppb).

### Análisis estadístico

En los resultados se presentaron la mediana, el error estándar y el rango (mínimo - máximo) de concentraciones de metales en el tejido de los peces y crustáceos por laguna, filo y por tipo de dieta. Se usaron medianas como medidas de tendencia central, para disminuir la influencia de los valores extremos obtenidos. Se realizaron pruebas de Brown-Forsyth para evaluar la homogeneidad de varianzas. Cuando no se cumplieron los requerimientos de normalidad y homocedasticidad se hicieron transformaciones logarítmicas de los datos. Además, se efectuaron análisis de varianza de una vía (ANOVA) para definir si existían diferencias significativas entre el contenido de metales en los tejidos de peces (plecos y otros) y crustáceos; entre lugares y por dieta característica (carnívoros, herbívoros, detritívoros). Se consideraron como significativos los valores de  $p < 0.05$ .

El análisis de las posibles diferencias en la concentración de metales en músculo de peces por puntos de muestreo se realizó solamente para los plecos, debido a que no todas las especies acompañantes se encontraron en las cuatro lagunas.

En los resultados de las concentraciones de Pb no se cumplió con los requerimientos de homocedasticidad, por lo que se procedió a realizar análisis no paramétricos para definir si existían diferencias significativas, aplicando la prueba de Wilcoxon y Kruskal-Wallis. Todos los análisis fueron ejecutados usando el software estadístico JMP 15.0.0 (SAS Institute Inc., 2019), mientras que los gráficos presentados fueron construidos con el software SigmaPlot 12. El mapa de ubicación se construyó usando el programa QGIS 3.16.3.

## RESULTADOS

### Especies capturadas

Durante el periodo de muestreo en las lagunas El Coco, el Viento, San Isidro y San Pedrito de la RBPC, se capturaron un total de 77 organismos. De este conjunto, 62 especímenes pertenecieron a la especie *Pterygoplichthys pardalis* (plecos) mientras que los restantes 15 especímenes correspondieron a especies acompañantes, incluyendo peces y crustáceos de las familias Cyprinidae, Cichlidae, Clupeidae y Portuniidae. Para obtener información detallada sobre la diversidad de peces y crustáceos en cada laguna se proporciona la Tabla 1.

### Metales totales en plecos

La concentración media de Pb en el músculo de los plecos capturados varió de 14.38  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en la laguna San Pedrito a 101.20  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en la laguna El Viento, con una concentración media para la RBPC de 67.78  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Tabla 2; Fig. 2). Todos los valores se mantuvieron por debajo del contenido máximo permisible de 300  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en carne de pescado, establecido en el Reglamento (UE) N° 1881/2006 de la Unión Europea (DOUE, 2006) y del límite máximo de 500  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en productos de pescado, señalado en la NOM-242-SSA1-2009 (DOF, 2009).

La concentración de Cd en las muestras se encontró en un rango de 8.75 a 19.32  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en San Pedrito y San Isidro respectivamente. La concentración media de Cd fue de 13.80  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Tabla 2; Fig. 2). Todos los valores determinados fueron menores al contenido máximo permisible de 50  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de DOUE (2006) y de 500  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de DOF (2009).

Las concentraciones de Hg en los plecos capturados en las lagunas San Pedrito, San Isidro y El Coco estuvieron por debajo del límite de cuantificación (12.63  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) mientras que en la laguna El Viento, la concentración de Hg fue de 22.85  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . El contenido máximo permisible para metilmercurio (MeHg) es de 500  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en DOUE (2006) y de 1,000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en DOF (2009).

Para el Mn, las concentraciones mínima y máxima se encontraron en la laguna El Viento (797.24  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) y en la laguna San Isidro (1,735.47  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) respectivamente. El valor medio de la concentración de Mn en el músculo de los plecos capturados en la RBPC fue de 1,380.59  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Tabla 2; Fig. 3).

Las cantidades de Pb y Hg en el músculo de especímenes de plecos fueron mayores en la laguna El Viento (Figs. 1 y 2); con diferencias significativas entre las concentraciones de las muestras de las lagunas El Viento y El Coco, con respecto a las de las lagunas San Pedrito y San Isidro (letras diferentes en Fig. 2). El contenido más bajo de Pb en músculo de plecos se presentó en la laguna San Pedrito, mientras que los valores de Cd y Mn fueron cercanos a la media para toda la RBPC (Figs. 2 y 4). A su vez, se identificaron diferencias estadísticas significativas en la concentración de Mn en músculo de plecos capturados en la laguna San Isidro con respecto a los capturados en las otras lagunas (letras diferentes en Tabla 2 y Fig. 3).

### Metales totales en otros organismos

La concentración media de Pb en las especies acompañantes, que incluyen otros peces y crustáceos, fue de 104.96  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , mientras que la concentración de Cd fue de 3.16  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Tabla 3; Fig. 4). El Hg en las muestras de músculo de los peces y crustáceos fue de 26.16  $\mu\text{g kg}^{-1}$  y de 873.36  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para el Mn. Las concentraciones de Hg y Pb en el músculo de plecos fueron menores y con diferencias estadísticas significativas a las encontradas en el músculo de las especies acompañantes ( $p < 0.05$ ; letras diferentes en Tabla 3 y Fig. 4). Las concentraciones de Cd y Mn en el músculo de los especímenes de plecos fueron mayores, con respecto al músculo de otros organismos (para Mn;  $p < 0.05$ ; Tabla 3; Fig. 5).

De las 77 muestras de músculo de especímenes de peces y crustáceos analizados, se observó que 29 (38 %) registraron valores de Cd menores o iguales a los Límites de cuantificación (LC) establecidos en el equipo utilizado. Para el Mn, 4 muestras (5 %) tuvieron concentraciones en tejido menores o iguales al LC, mientras que en el caso del Pb, 10 muestras (13%) mostraron valores menores al LC reportado. En

cuanto al Hg, de los 47 especímenes analizados, 29 de ellos (62 %) presentaron valores menores o iguales al LC.

### Metales totales en crustáceos

Las concentraciones de Pb, Cd, Hg y Mn en el músculo de los especímenes de *Callinectes similis* (Williams, 1966) fueron menores a los límites normativos establecidos en DOUE (2006) y DOF (2009), con valores de 39.70, 3.15, 73.99 y 1,979.47  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente. En estos organismos se encontraron las mayores concentraciones de Hg y de Mn (Tabla 3). Además, se observó que la concentración de Hg en el músculo de los cangrejos capturados en la laguna El Coco fue mayor que en los peces capturados en las cuatro lagunas ( $p < 0.05$ ; Tablas 2 y 3).

### Metales totales según hábitos alimenticios

De acuerdo con la clasificación según los hábitos alimenticios (Tabla 1), los organismos herbívoros presentaron las mayores concentraciones de Pb y Hg en músculo (123.77 y 52.20  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente); y los detritívoros las menores concentraciones de estos elementos (74.35 y 12.63  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente; Tabla 4). En el caso de los organismos

carnívoros, las mayores concentraciones correspondieron al Cd y Mn (15.74 y 1950.54  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente; Tabla 4). Sólo se encontraron diferencias estadísticas significativas en las concentraciones de Mn (letras diferentes en Tabla 4 y Fig. 5).

## DISCUSIÓN

### Metales totales en peces y otros organismos

Las concentraciones de Cd, Hg y Pb determinadas en esta investigación se encuentran por debajo de los niveles máximos permisibles según las normativas internacionales y nacionales para peces y otros organismos acuáticos. Los límites establecidos por la FAO (2019) y la Unión Europea para carne de pescado, no fueron excedidos (DOUE, 2006; Tablas 2 y 3) y tampoco los límites máximos de 500, 1000 y 500  $\mu\text{g kg}^{-1}$  dispuestos por la normatividad en México (NOM-027-SSA1-2009; DOF, 2009). Se considera que estos contenidos de metales son representativos para la población de peces de la reserva durante la temporada de lluvias, por lo que los mismos podrían ser comercializados para su consumo y uso legal a nivel nacional e internacional, en lo que respecta a los metales pesados.

Tabla 1. Especies de peces y crustáceos capturados en cuatro lagunas de la RBPC en época de lluvias del año 2015. La identificación taxonómica de las especies se basó en el sistema propuesto por Miller *et al.* (2009). Se consideró que los peces capturados pertenecían a la especie *Pterygoplichthys pardalis*, de acuerdo con lo descrito por Vargas-Rivas *et al.* (2022). El nivel trófico fue determinado de acuerdo con lo definido en FishBase (Froese & Pauly, 2019)

| Punto de muestreo            | Filo                | n  | Familia      | Especies (nombre común)   | Nivel trófico; Dieta |
|------------------------------|---------------------|----|--------------|---|----------------------|
| Laguna El Coco<br>(n= 22)    | Peces<br>(n= 19)    | 14 | Loricariidae | <i>Pterygoplichthys pardalis</i><br>(Plecós, pez armado)  | 2.0; Detritívoro     |
|                              |                     | 2  | Cichlidae    | <i>Thorichthys meeki</i> (Mojarra boca de fuego),<br><i>Thorichthys pasionis</i> (Mojarra de la pasión) | 2.0; Detritívoro     |
|                              |                     | 2  | Cyprinidae   | <i>Cyprinus carpio</i> (Carpa común), <i>Ctenopharyngodon idella</i> (Carpa herbívora)                  | 2.1; Herbívoro       |
|                              | Crustáceos<br>(n=3) | 1  | Clupeidae    | <i>Dorosoma petenense</i> (Sardina maya)  | 2.8; Carnívoro       |
|                              |                     | 3  | Portunidae   | <i>Callinectes similis</i> (Jaiba azul)   | 2.7; Carnívoro       |
|                              |                     | 16 | Loricariidae | <i>Pterygoplichthys pardalis</i> (Plecós, pez armado)   | 2.0; Detritívoro     |
| Laguna El Viento<br>(n=20)   | Peces<br>(n= 20)    | 2  | Cichlidae    | <i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia)  | 2.0; Detritívoro     |
|                              |                     | 2  | Clupeidae    | <i>Dorosoma petenense</i> (Sardina maya), <i>Dorosoma anale</i> (Sardina del Papaloapan)                | 2.8; Carnívoro       |
|                              |                     | 16 | Loricariidae | <i>Pterygoplichthys pardalis</i> (Plecós, pez armado)   | 2.0; Detritívoro     |
| Laguna San Isidro<br>(n=17)  | Peces<br>(n= 17)    | 1  | Cichlidae    | <i>Petenia splendida</i> (Tenhuayaca)   | 4.5; Carnívoro       |
|                              |                     | 16 | Loricariidae | <i>Pterygoplichthys pardalis</i> (Plecós, pez armado)   | 2.0; Detritívoro     |
| Laguna San Pedrito<br>(n=18) | Peces<br>(n= 18)    | 1  | Cyprinidae   | <i>Cyprinus carpio</i> (Carpa común)  | 2.1; Herbívoro       |
|                              |                     | 1  | Clupeidae    | <i>Dorosoma anale</i> (Sardina del Papaloapan)  | 2.8; Carnívoro       |

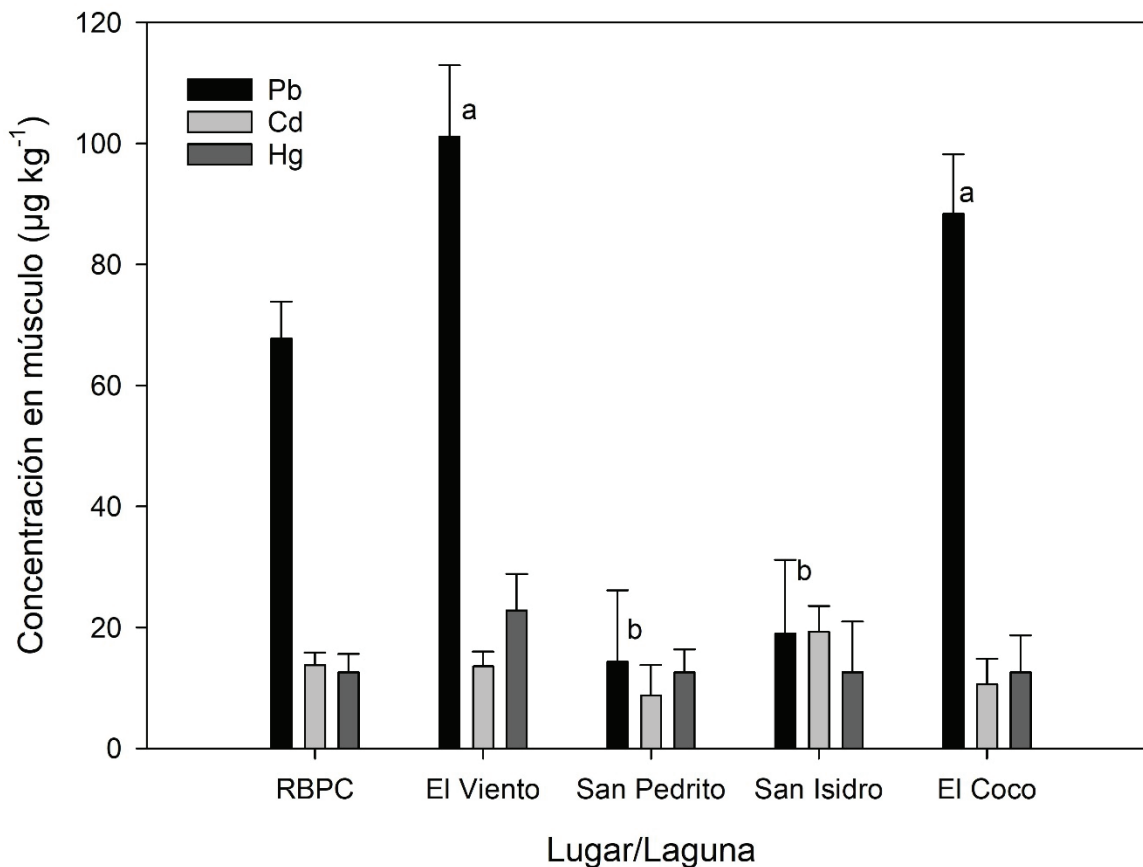


Figura 2. Concentraciones medias (medianas) de Pb, Cd y Hg y error estándar en músculo de *Pterygoplichthys pardalis* capturados en lagunas de la RBPC. Letras diferentes identifican diferencias estadísticamente significativas ANOVA ( $p < 0.05$ ). La unidad de medida es  $\mu\text{g}$  de metal por  $\text{kg}$  de tejido en peso húmedo ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) o partes por billón (ppb).

En cuanto a la concentración media de Cd en el músculo de los peces en este estudio, se observó que fue mayor que en los peces y crustáceos capturados (Tabla 3). No se encontraron diferencias significativas entre lagunas ni entre cuencas (Grijalva y Usumacinta;  $p > 0.05$ ). La concentración media de Hg en músculo de peces fue menor a la de otros organismos en la RBPC ( $26.16 \pm 8.60 \mu\text{g kg}^{-1}$ ; Tabla 3). Por otro lado, se encontró que los especímenes de la RBPC tuvieron contenidos de Pb por encima del LC para el 87 % de las muestras. De forma general, los peces tuvieron una concentración media de Pb en tejido, mayor al de los crustáceos ( $67.78 \pm 6.11 \mu\text{g kg}^{-1}$  y  $39.70 \pm 22.94 \mu\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente; Tabla 3), aunque esta diferencia no presentó significancia estadística ( $p > 0.05$ ). Los valores de Pb en peces y específicamente en peces de la RBPC para época de lluvias del año 2015 son menores a los reportados por otros autores en la zona (Pérez-Cruz *et al.*, 2013; Lorenzo-Márquez *et al.*, 2016; Tabla 5).

Para el presente estudio, la concentración promedio de Mn en especímenes de peces de la RBPC fue menor al de los crustáceos (Tabla 3). Aunque el contenido de Mn en los peces capturados fue mayor al reportado por Lorenzo-Márquez *et al.* (2016) en el período de secas de 2014, fue menor al determinado en áreas cercanas a yacimientos mineros en la zona central de México ( $51,450 \mu\text{g kg}^{-1}$ ; Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2020) y del Valle de Culiacán en Sinaloa ( $2,300 \mu\text{g kg}^{-1}$ ; Izagui-

re-Fierro *et al.*, 1992; Tabla 5). El contenido de Mn en especímenes capturados en la laguna San Isidro (cuenca del río Usumacinta) fue mayor al de las lagunas El Coco y El Viento (cuenca Grijalva) y San Pedrito (Fig. 1), siendo estas diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ; Tabla 2; Fig. 3).

Las concentraciones de Pb, Cd y Mn analizadas en este estudio fueron menores a las reportadas por Pérez-Cruz *et al.* (2013), Mendoza-Carranza *et al.* (2016) y Lorenzo-Márquez *et al.* (2016) en la RBPC y en la planicie aluvial de los ríos Grijalva y Usumacinta (Tabla 5), durante la época de mínima inundación (marzo-junio) de los años 2008, 2009 y 2014, respectivamente. La diferencia entre los valores de metales obtenidos a través de los años en áreas cercanas a la RBPC o en la misma reserva, refleja la variabilidad en las condiciones fisicoquímicas del medio y la influencia de la estacionalidad climática en los resultados. Durante la época de máxima inundación, se observa una dilución de las concentraciones de metales pesados en el músculo de los organismos. La concentración media de Pb, Cd y Hg reportada en este estudio fue significativamente menor a las reportadas en zonas aledañas al Golfo de México en los estados de Veracruz, Tamaulipas y Tabasco (Villanueva & Botello, 1992; Vázquez-Sauceda *et al.*, 2011; Ramírez-Islas *et al.*, 2018; Tabla 5) y la mayoría de las presentadas en Ramírez-Ayala *et al.* (2020) para el sureste mexicano.

### Metales totales en crustáceos

En esta investigación, la concentración media de Hg en el músculo de *Callinectes similis* fue de  $73.99 \pm 23.42 \mu\text{g kg}^{-1}$ , mientras que en plecos fue de  $12.63 \pm 3.02 \mu\text{g kg}^{-1}$ , lo que indica que los crustáceos presentan un valor de Hg mayor, con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ; Tabla 2). De acuerdo con Lewis & Chancy (2008), la costa norte del Golfo de México tiene advertencias de consumo de Hg en peces y organismos de aguas costeras. Estos autores describieron que el valor promedio de Hg en *Callinectes similis* en esta región ( $857.90 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) fue menor a lo reportado en peces ( $933.10 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), lo cual es contrario a los resultados obtenidos en este estudio, posiblemente debido a la diferencia en los hábitos alimenticios y especies de peces analizadas. Harris *et al.* (2012) indican que los “puntos calientes” de introducción de Hg al Golfo de México y sus organismos, están ubicados en las regiones de Texas y Florida. Dichos autores consideran a la deposición atmosférica como la principal causa de los niveles de Hg en suelos, sedimentos, agua y alimentos en la región, lo cual puede estar asociado a la ausencia de diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el contenido de Hg de los especímenes de plecos en las diversas lagunas de la RBPC.

### Metales pesados según hábitos alimenticios

El comportamiento alimenticio de los organismos acuáticos puede influir en la concentración de metales pesados que contengan sus

tejidos. De acuerdo con los resultados del análisis realizado, los organismos carnívoros presentaron la mayor concentración de Mn en el músculo ( $1,950.54 \pm 328.42 \mu\text{g kg}^{-1}$ ; Tabla 4), seguidos por los detritívoros con  $1,296.29 \pm 89.83 \mu\text{g kg}^{-1}$  y, por último, los herbívoros con  $126.20 \pm 249.05 \mu\text{g kg}^{-1}$  ( $p < 0.05$ ; Tabla 4; Fig. 3). Se presume que la escorrentía y la concentración de Mn en suspensión en el agua, junto con el perfil topográfico de los cauces de ríos y lagunas tuvo influencia sobre la cantidad del metal en la biota acuática de la zona, siendo más biodisponible para los organismos acuáticos, especialmente durante la temporada de lluvias; mientras que, en la época de secas los metales enlazados a partículas y materia orgánica tendieron a depositarse de acuerdo con la velocidad de flujo de los cuerpos de agua lóticos o lénticos. La concentración de Mn en el tejido de plecos pudo estar asociada a sus hábitos de buscar alimento en el fondo de los cuerpos de agua, mezclando con su boca las zonas en las que ocurren diferentes reacciones geoquímicas que involucran la reducción de oxígeno, nitratos y de óxidos de Mn y Fe. Estas reacciones son más pronunciadas en la región cercana a la interface agua-sedimento, donde la solubilidad de las formas reducidas puede ser mayor (Depledge & Sanders, 1998).

En el caso de los metales Pb y Hg se observa una tendencia que ha sido identificada en otras investigaciones, con una mayor concentración en organismos acuáticos herbívoros que en carnívoros, es decir desde niveles tróficos menores a mayores (Ali & Khan, 2018; Bawuro *et al.*, 2018; Ramírez-Ayala *et al.*, 2020).

Tabla 2. Concentración media (mediana) de Pb, Cd, Hg y Mn en tejido muscular los organismos capturados en la RBPC en época de lluvias del año 2015 según el lugar de captura. RBPC: Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla. Las concentraciones se presentan en  $\mu\text{g kg}^{-1} \pm$  error estándar (mínimo-máximo). Letras diferentes indican diferencias significativas ANOVA ( $p < 0.05$ ). Se anexan límites máximos permisibles de estos elementos en reglamento N°1881/2006 de la Comisión Europea y NOM-242-SSA1-2009.

| Laguna  | n  | Pb<br>$\mu\text{g kg}^{-1}$         | Cd<br>$\mu\text{g kg}^{-1}$     | Mn<br>$\mu\text{g kg}^{-1}$               | n  | Hg<br>$\mu\text{g kg}^{-1}$     |
|---|----|-------------------------------------|---------------------------------|---|----|---------------------------------|
| RBPC  | 62 | $67.78 \pm 6.11$ (6.31-154.41)      | $13.80 \pm 2.03$ (3.16-61.72)   | $1,380.59 \pm 91.11$ (360.92-3,358.85)    | 36 | $12.63 \pm 3.021$ (12.63-78.20) |
| El Viento   | 16 | $101.20 \pm 11.72^a$ (18.74-154.41) | $13.60 \pm 2.40$ (3.16-32.49)   | $797.24 \pm 248.79^a$ (378.88-3,358.55)   | 8  | $22.85 \pm 6.00$ (12.63-54.37)  |
| San Pedrito   | 16 | $14.38 \pm 11.80^b$ (6.31-127.04)   | $8.75 \pm 5.04$ (3.16-61.72)    | $1,277.31 \pm 147.82^a$ (475.19-2,293.43) | 10 | $12.63 \pm 3.76$ (12.63-40.79)  |
| San Isidro  | 16 | $19.01 \pm 12.16^b$ (6.31-127.12)   | $19.32 \pm 4.25$ (3.16-58.56)   | $1,735.47 \pm 114.86^b$ (564.94-2,433.85) | 10 | $12.63 \pm 7.92$ (12.63-78.20)  |
| El Coco   | 14 | $88.38 \pm 9.84^a$ (17.82-122.79)   | $10.63 \pm 4.22^a$ (3.16-50.12) | $940.67 \pm 171.55^a$ (360.92-2,328.81)   | 8  | $12.63 \pm 6.10$ (12.63-60.31)  |
| <b>Contenido máximo permisible según Reglamento (UE) N° 1881/2006 de la Unión Europea</b> |    | 300                                 | 50                              | -   |    | 500                             |
| <b>Límite máximo establecido en la NOM-242-SSA1-2009</b>                                  |    | 500                                 | 500                             | -   |    | 1000                            |

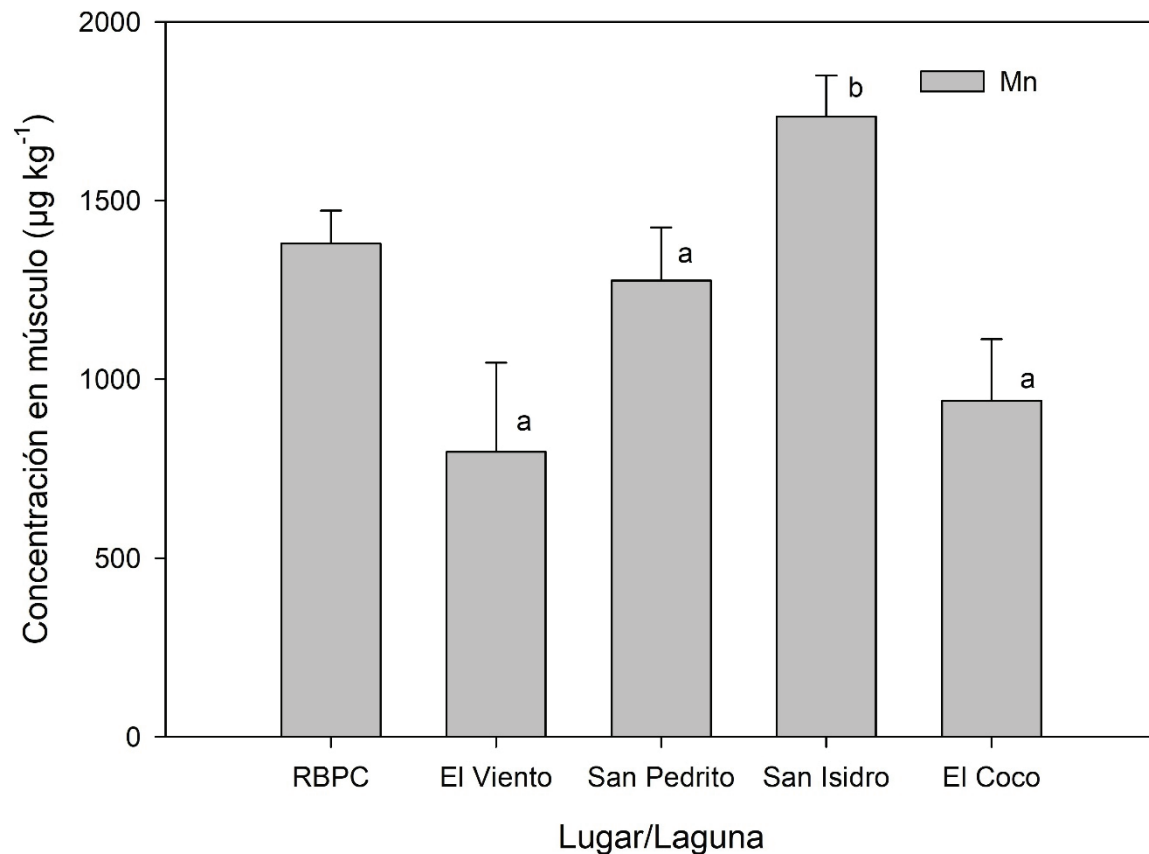


Figura 3. Concentraciones medias (medianas) de Mn y error estándar en músculo de *Pterygoplichthys pardalis* capturados en lagunas de la RBPC. Letras diferentes identifican diferencias estadísticamente significativas ANOVA ( $p < 0.05$ ). La unidad de medida es  $\mu\text{g}$  de metal por  $\text{kg}$  de tejido en peso húmedo ( $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ) o partes por billón (ppb).

Tabla 3. Concentración media (mediana) de Cd, Mn, Pb y Hg en tejido muscular de plecos, otros organismos (peces y crustáceos) y de crustáceos capturados en la RBPC en época de lluvias del año 2015. Las concentraciones se presentan en  $\mu\text{g kg}^{-1} \pm$  error estándar (mínimo-máximo). Letras diferentes indican diferencias significativas ANOVA ( $p < 0.05$ ). Se anexan límites máximos permisibles de estos elementos en reglamento N°1881/2006 de la Comisión Europea y NOM-242-SSA1-2009.

| Organismos  | n  | Pb                                    | Cd                                | Mn   | Hg *                                 |
|---|----|---------------------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
|   |    | $\mu\text{g kg}^{-1}$                 | $\mu\text{g kg}^{-1}$             | $\mu\text{g kg}^{-1}$                        | $\mu\text{g kg}^{-1}$                |
| <b>Plecos</b>   | 62 | $67.78 \pm 6.11^a$<br>(6.31-154.41)   | $13.80 \pm 2.03$<br>(3.16-61.72)  | $1,380.59 \pm 91.11^e$<br>(360.92-3,358.85)  | $12.63 \pm 3.02^c$<br>(12.63-78.20)  |
| <b>Otros organismos (Peces + crustáceos)</b>  | 15 | $104.96 \pm 9.00^b$<br>(33.01-167.36) | $3.16 \pm 10.70$<br>(3.16-122.92) | $873.36 \pm 257.76^f$<br>(126.20-2,904.38)   | $26.16 \pm 8.60^d$<br>(12.63-89.28)  |
| <b>Crustáceos</b>   | 3  | $39.70 \pm 22.94$<br>(33.01-104.96)   | $3.15 \pm 5.90$<br>(3.16-20.88)   | $1,979.47 \pm 196.53$<br>(1,632.86-2,313.61) | $73.99 \pm 23.42^b$<br>(12.63-89.28) |
| <b>Contenido máximo permisible según Reglamento (UE) N° 1881/2006 de la Unión Europea</b> |    | 300                                   | 50                                | -  | 500                                  |
| <b>Límite máximo establecido en la NOM-242-SSA1-2009</b>                                  |    | 500                                   | 500                               | -  | 1000                                 |

(\*) El número de muestras (n) para la determinación de Hg fue de 36 plecos, 8 peces + crustáceos y 3 crustáceos.



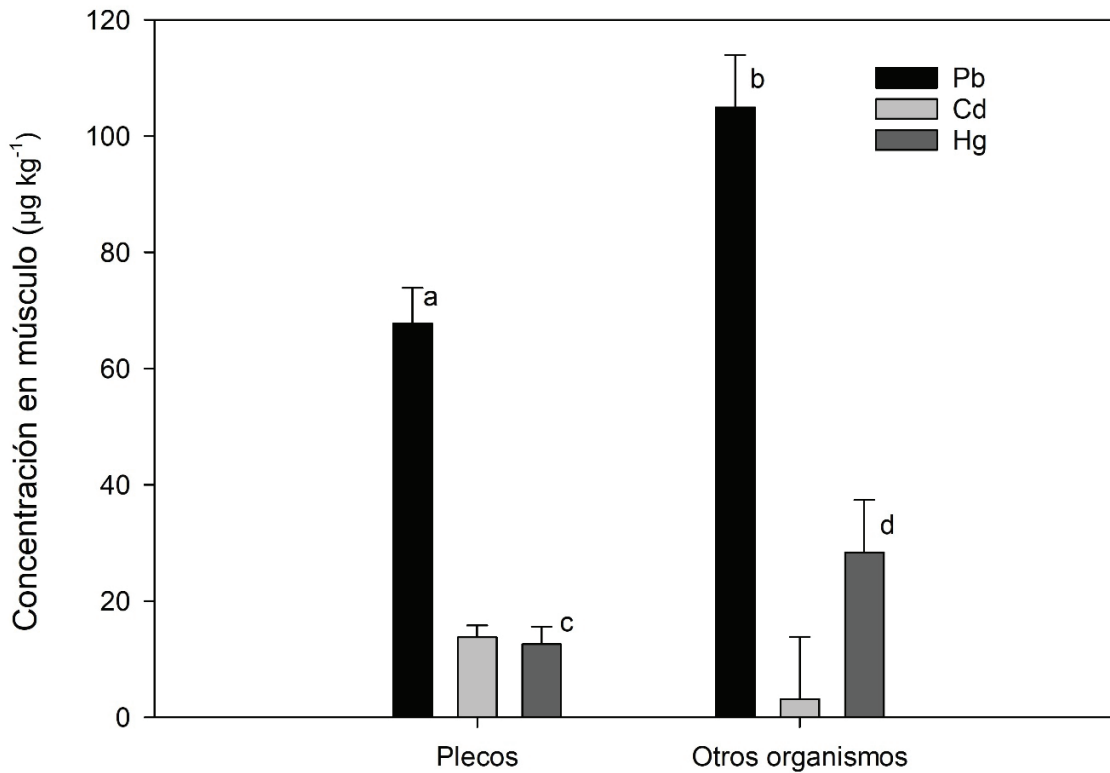


Figura 4. Concentraciones medias (medianas) de Pb, Cd y Hg y error estándar en músculo de *Pterygoplichthys pardalis* y otros organismos capturados en lagunas de la RBPC. Letras diferentes identifican diferencias estadísticamente significativas ANOVA ( $p < 0.05$ ). La unidad de medida es  $\mu\text{g}$  de metal por  $\text{kg}$  de tejido en peso húmedo ( $\mu\text{g Kg}^{-1}$ ) o partes por billón (ppb).

En sedimentos de la RBPC, otros autores han encontrado concentraciones promedio de  $1,280 \mu\text{g kg}^{-1}$  de Cd y  $44,520 \mu\text{g kg}^{-1}$  de Pb durante la época de secas del año 2008 (Pérez-Cruz *et al.*, 2013) y  $20,460 \mu\text{g kg}^{-1}$  de Cd y  $20,527 \mu\text{g kg}^{-1}$  de Pb para un período indefinido (Navarrete-Domínguez *et al.*, 2020); algunos de los cuales sobrepasan los índices guía de calidad ambiental de  $600 \mu\text{g kg}^{-1}$  para Cd y  $35,000 \mu\text{g kg}^{-1}$  para Pb, estipulados en CCME (2001). Los procesos anuales de movilización de sedimentos durante la temporada de lluvias podrían disminuir notablemente las concentraciones de los metales pesados en los cuerpos de agua continentales, transportando las partículas

de tamaño fino (limos y arcillas, generalmente asociadas a mayores concentraciones de metales pesados) hacia la plataforma continental del Golfo de México donde tienden a acumularse en los primeros milímetros de la interface agua-sedimento (Hernández-Candelario *et al.*, 2019; Ruiz-Fernández *et al.*, 2019). En algunas de estas investigaciones se indicó que existía una correlación positiva entre el contenido de los elementos en los organismos y las concentraciones en los sedimentos de la zona; lo cual sugiere que la biología y los hábitos alimenticios pueden propiciar la bioacumulación de elementos químicos en la biota.

Tabla 4. Concentraciones medias (medianas) de Pb, Cd, Hg y Mn en tejido muscular de organismos capturados en la RBPC en época de lluvias del año 2015 según sus hábitos alimenticios o dieta. Las concentraciones se presentan en  $\mu\text{g kg}^{-1} \pm$  error estándar (mínimo-máximo). Letras diferentes indican diferencias significativas ANOVA ( $p < 0.05$ ).

| Dieta       | n  | Pb ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )          | Cd ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )       | Hg ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )       | Mn ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )                 |
|-------------|----|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|
| Carnívoro   | 8  | $101.92 \pm 104.96$<br>(33.01-126.03) | $15.74 \pm 14.20$<br>(3.16-110.02) | $46.73 \pm 12.41$<br>(12.63-89.28) | $1,950.54 \pm 328.42^a$<br>(126.20-2,904.38) |
| Herbívoro   | 3  | $123.77 \pm 126.03$<br>(89.50-167.36) | $3.16 \pm 0.20$<br>(3.16)          | $52.50 \pm 0.20$<br>(52.50)        | $126.20 \pm 249.05^b$<br>(126.20-873.36)     |
| Detritívoro | 66 | $74.35 \pm 39.71$<br>(6.31-154.41)    | $13.56 \pm 2.52$<br>(3.16-122.92)  | $12.63 \pm 2.77$<br>(12.63-78.20)  | $1,296.29 \pm 89.83^a$<br>(265.11-3,358.85)  |

Se observó una tendencia de mayor concentración de Pb en los organismos capturados en lagunas dentro de la cuenca del río Grijalva (lagunas El Viento y El Coco) con respecto a aquellas que se encuentran a un lado del cauce del río Usumacinta (lagunas San Pedrito y San Isidro; Fig. 2). Esta diferencia pudo reflejar un mayor contenido de este elemento en el medio acuático y en los sedimentos del río Grijalva, tomando en cuenta su mayor perturbación por obras hidráulicas, cambio de uso de suelo y la cercanía de los afluentes de las faldas del Volcán Chichonal y la región de yacimientos minerales metálicos de Ixhuatán en la Sierra Madre del Norte de Chiapas.

### Consideraciones finales

En esta investigación se logró cuantificar el contenido de Pb, Cd, Hg y Mn en músculo de peces y crustáceos capturados en época de lluvias del año 2015 en la RBPC en Tabasco. Las concentraciones fueron menores a los niveles límites máximos permitidos en productos pesqueros descritos por la normatividad nacional e internacional; incluso están por debajo de los valores reportados en años anteriores por otros autores para épocas de secas.

Estos resultados sugieren que el consumo de la carne de estos peces y crustáceos puede considerarse como aceptable en esta época del año, siendo una solución para disminuir las necesidades nutricio-

nales de personas en áreas rurales y urbanas de México, debido a su contenido de proteína animal.

Considerando las bajas concentraciones de metales en el tejido de los organismos analizados, se podrían promover estrategias de consumo y uso del pez *Pterygoplichthys pardalis* en la RBPC, con un monitoreo constante de los niveles de Cd, Hg, Mn y Pb. La ingesta de productos de pescado puede ofrecer una solución viable para las personas diagnosticadas con deficiencias de Mn, la cual puede provocar una intolerancia a la glucosa similar a la de la diabetes mellitus; la ingesta diaria adecuada se ha definido en 2 mg/día y el nivel máximo de ingesta tolerable es de 11 mg/día (Oregon State University, 2020). Se destaca que la toxicidad de este elemento en humanos es baja, debido a una limitada absorción y una rápida eliminación pre-sistémica del Mn por el hígado (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2020).

Promover el consumo de la carne de *Pterygoplichthys pardalis* durante la temporada de máxima inundación (julio-noviembre) puede considerarse una estrategia viable para aprovechar esta especie invasora como una fuente adicional de proteína con un alto valor nutricional como sucede en Suramérica, donde el pez es consumido constantemente por la población. Esta iniciativa podría contribuir a la reducción paulatina de la densidad de especímenes del pez invasor en la región y ayudar al restablecimiento de la biodiversidad pesquera en los cuerpos

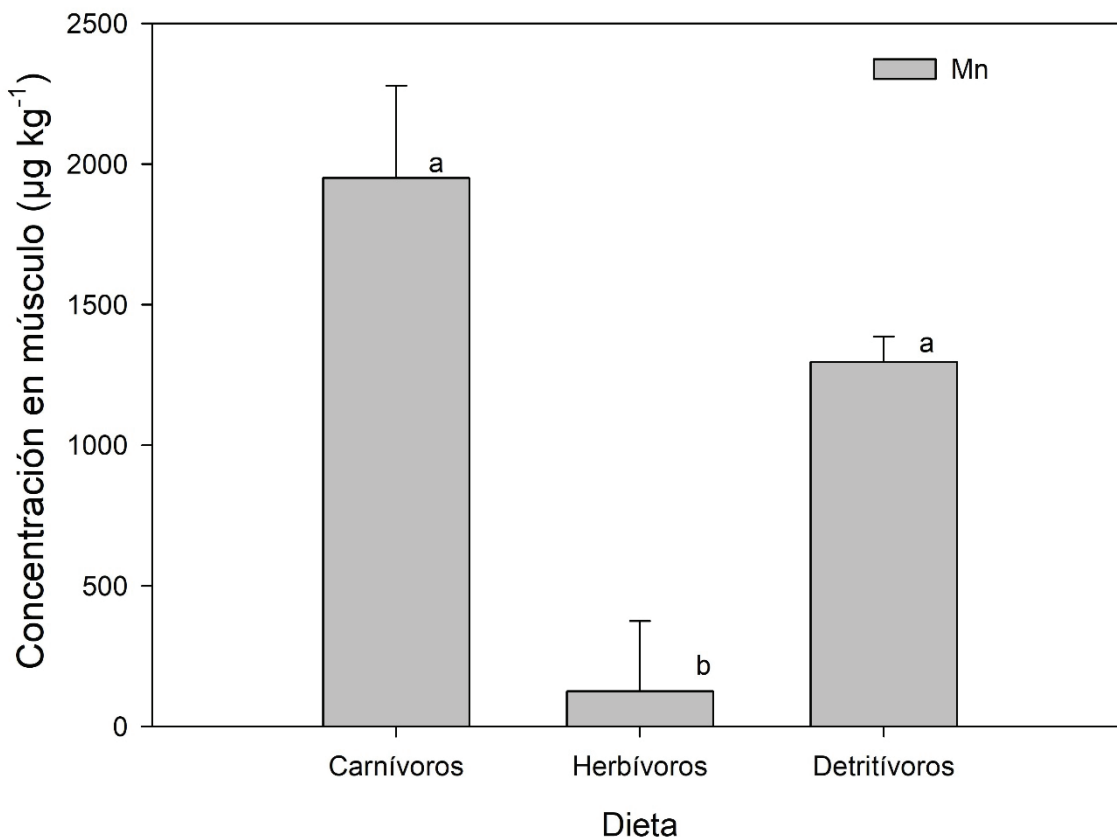


Figura 5. Concentraciones medias (medianas) de Mn y error estándar en músculo de *Pterygoplichthys pardalis* capturados en lagunas de la RBPC, según la dieta. Letras diferentes identifican diferencias estadísticamente significativas ANOVA ( $p < 0.05$ ). La unidad de medida es µg de metal por kg de tejido en peso húmedo (µg Kg<sup>-1</sup>) o partes por billón (ppb).

de agua de la cuenca baja de los ríos Grijalva y Usumacinta, trayendo consigo una mejora en los medios de vida de las comunidades ribereñas.

Según datos de FAO (2018), se estima que cerca de 20 millones de toneladas de pescado se utilizan para fines alimentarios indirectos, como la preparación de harinas y aceite de pescado, con una tendencia fluctuante desde 1994. La harina y el aceite de pescado se consideran los ingredientes más nutritivos y digeribles para los piensos destinados a los peces cultivados a través de acuicultura. Se suman también otros productos, como el colágeno y el biodiesel. Además, algunos estudios han demostrado la factibilidad técnica de reemplazar la harina de pescado comercial con harina de músculo de *Pterygoplichthys* spp. para la alimentación de especies de peces más grandes (Filigrana-Celorio, 2016).

Aunado a los impactos a nivel ecológico ocasionados por la introducción del pez en México, se añade la contaminación ambiental generada en las orillas de los cuerpos de agua, debido a la descomposición del pez al ser sacado de las redes por los pescadores locales. Es necesario así, un cambio en la percepción respecto a la utilidad del pez, con el objetivo de desarrollar propuestas de aprovechamiento sustentables en el tiempo. Esto podría contribuir al desarrollo de una economía circular, mediante la creación de biorrefinerías locales que permitan la separación del producto destinado a consumo humano y aquel destinado a otros aprovechamientos, como harina de pescado, ensilados y biofertilizantes (Dahiya *et al.*, 2018).

Es esencial que, dentro de la promoción del aprovechamiento de la carne del pez invasor *Pterygoplichthys pardalis* se evalúe la relación riesgo/beneficio de su consumo de manera continua y de forma habi-

Tabla 5. Concentraciones medias, desviaciones estándar y valores mínimos-máximos de concentraciones de Pb, Cd, Hg y Mn reportadas en diferentes investigaciones en las zonas aledañas al Golfo de México y otros estados de México. Las concentraciones se presentan en  $\mu\text{g}$  de metal por kilogramo de tejido,  $\mu\text{g kg}^{-1}$ .

| Autores                                      | Ubicación                                 | Filo           | n     | Pb                                    | Cd                                      | Hg                                 | Mn  |
|--|---|----------------|-------|---------------------------------------|---|------------------------------------|---|
|  |   |                |       | $\mu\text{g kg}^{-1}$                 | $\mu\text{g kg}^{-1}$                   | $\mu\text{g kg}^{-1}$              | $\mu\text{g kg}^{-1}$                     |
| <b>Este estudio</b>                          | RBPC                                      | Peces (plecos) | 62    | 67.78 $\pm$ 6.11<br>(6.31-154.41)     | 13.80 $\pm$ 2.03<br>(3.16-61.72)        | 12.63 $\pm$ 3.021<br>(12.63-78.20) | 1,380.59 $\pm$ 91.11<br>(360.92-3,358.85) |
| <b>Pérez-Cruz <i>et al.</i> (2013)</b>       | RBPC                                      | Bivalvos       | 25-50 | 2,290 $\pm$ 1,100<br>(760-4,960)      | 280 $\pm$ 130<br>(150-500)              | -                                  | -   |
| <b>Mendoza-Carranza <i>et al.</i> (2016)</b> | RBPC                                      | Peces          |       | 120 $\pm$ 530                         | 130 $\pm$ 330                           | -                                  | -   |
|  |   | Crustáceos     |       | -                                     | 140 $\pm$ 230                           | -                                  | -   |
| <b>Gutiérrez-Ruiz <i>et al.</i> (2020)</b>   | Hidalgo                                   | Peces          | 25    | -                                     | -                                       | -                                  | 51,450 $\pm$ 77,320<br>(10,700-399,800)   |
|  | Tamaulipas                                |                | 6-8   | -                                     | -                                       | 498                                | -   |
| <b>Ramírez-Islas <i>et al.</i> (2018)</b>    | Veracruz                                  | Peces          | 6-8   | -                                     | -                                       | 334                                | -   |
|  | Tabasco                                   |                | 8-10  | -                                     | -                                       | 192                                | -   |
|  | Campeche                                  |                | 9     | -                                     | -                                       | 294                                | -   |
| <b>Lorenzo-Márquez <i>et al.</i> (2016)</b>  | Planicie aluvial ríos Grijalva-Usumacinta | Peces (plecos) | 240   | 204.62 $\pm$ 141.53<br>(56.29-481.01) | 38.04 $\pm$ 8.32<br>(28.93 $\pm$ 53.02) | -                                  | 734.70 $\pm$ 984.36<br>(81.90-3,117.27)   |
| <b>Vázquez-Sauceda <i>et al.</i> (2011)</b>  | Laguna costera san Andrés, Tamaulipas     | Bivalvos       | 24    | 802 $\pm$ 92<br>(730-860)             | 2,270 $\pm$ 140<br>(2,210-2,330)        | -                                  | -   |
| <b>Vázquez <i>et al.</i> (2008)</b>          | Golfo de México                           | Peces marinos  |       | 520 (7-2,462)                         | -                                       | 48 $\pm$ 38 (6-157)                | -   |
|  | Veracruz                                  |                |       | 3,580 $\pm$ 1,976<br>(1,860-5,850)    | 2,120 $\pm$ 1,533<br>(1,540-2,760)      | 260 $\pm$ 376<br>(20-740)          | -   |
| <b>Villanueva &amp; Bote-llo (1992)</b>      | Tabasco                                   | Bivalvos       |       | 945 $\pm$ 855<br>(230-3,040)          | 7,090 $\pm$ 1,030                       | 112.5 $\pm$ 97.5<br>(60-140)       | -   |
|  | Campeche                                  |                |       | 2,345 $\pm$ 1,297.5<br>(250-5,800)    | 2,740 $\pm$ 1,222.5                     | 26.25 $\pm$ 14.5<br>(4-51)         | -   |
| <b>Izaguirre-Fierro <i>et al.</i> (1992)</b> | Sinaloa                                   | Peces          | 15    | 960 $\pm$ 1123 (ND-2,800)             | 460 $\pm$ 89.44 (400-600)               | -                                  | 2,300 $\pm$ 2,540.70<br>(500-6,500)       |

tual. Los resultados de dicha evaluación podrían respaldar la creación de una estrategia de comunicación de riesgos, orientada a transformar la percepción de los pescadores de la región de la llanura de inundación de los ríos Grijalva y Usumacinta, de forma tal que se pueda reconocer al pez como una nueva fuente de ingresos que ayude a mejorar sus condiciones de vida y bienestar.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada gracias a recursos humanos y financieros provenientes del Proyecto “Monitoreo y prevención de dispersión del pez diablo en afluentes de la Reserva de la Biósfera de Pantanos de Centla” de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), desarrollado en el período 2015 – 2016. Además, se contó con el respaldo del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), a través del Apoyo a la Incorporación de Nuevos profesores de tiempo completo (Folio S11-6\2019-1120). Adriana Alvarado Arcia es estudiante doctoral del programa de Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) y recibe la beca 423618 otorgada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) en México.

## REFERENCIAS

- AHMED, M., T. AHMAD, M. LIAQUAT, K. S. ABBASI, I. B. A. FARID & M. JAHANGIR. 2016. Tissue specific metal characterization of selected fish species in Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment Environmental Monitoring and Assessment* 188. DOI:10.1007/s10661-016-5214-6.
- ALI, H. & E. KHAN. 2018. Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. *Environmental Chemistry Letters* 16: 903–917. DOI:10.1007/s10311-018-0734-7.
- ALVARADO-ARCIA, A., C. ILIZALITURRI-HERNÁNDEZ, R. MARTÍNEZ-SALINAS & A. TORRES-DOSAL. 2014. Riesgos ambientales y de salud por metales (cadmio y mercurio) presentes en el suelo y sedimentos del río Grijalva. En: González-Espinoza, M. & M. Manse-Brunel (coords). *Montañas, pueblos y agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva Vol. I*, El Colegio de la Frontera Sur, pp. 240–256.
- AMADOR-DEL ÁNGEL, L. E. & A. T. WAKIDA-KUSUNOKI. 2014. Especies acuáticas exóticas e invasoras del estado de Tabasco, México Exotic and invasive aquatic species of Tabasco state, Mexico. En: Mendoza-Alfaro, R. E. & P. Koleff-Osorio (coords.). *Especies invasoras acuáticas: Casos de estudio en ecosistemas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 177–198.
- BARBA-MACÍAS, E. & M. P. CANO-SALGADO. 2014. Abundancia del plecos (*Pterygoplichthys pardalis*) en sistemas lagunares y ribereños de la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. En: Mendoza-Alfaro, R. E. & P. Koleff-Osorio (coords.). *Especies invasoras acuáticas: Casos de estudio en ecosistemas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 293–311.
- BARBA-MACÍAS, E., J. JUÁREZ-FLORES & M. MAGAÑA-VÁZQUEZ. 2014. Nuevos registros de plecos (*Pterygoplichthys pardalis*) (Siluriformes: Loricariidae) en las cuencas del río Grijalva y Tonalá, Pajonal-Machona, Tabasco. En: Low-Feng, A., P. A. Quijón & E. Peters-Recagno (eds). *Distribución de especies invasoras: Casos de estudio*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), University of Prince Edwards Island (UPEI), Ciudad de México, México. pp 233–251.
- BARBA-MACÍAS, E., M. MENDOZA-CARRANZA, C. TRINIDAD-OCAÑA, J. JUÁREZ-FLORES & M. L. MARTÍNEZ-GUTIÉRREZ. 2017. *Contrastes en el manejo del cangrejo azul y el pez diablo: perspectiva de los pobladores de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco*. El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. 48 p.
- BAWURO, A. A., R. B. VOEGBORLO & A. A. ADIMADO. 2018. Bioaccumulation of Heavy Metals in Some Tissues of Fish in Lake Geriyo, Adamawa State, Nigeria. *Journal of Environmental and Public Health* 2018: 1-7.
- BRIDGES, C. C. & R. K. ZALUPS. 2010. Ionic and molecular mimicry and the transport of metals. *Cellular and Molecular Biology of Metals* 204: 241–294.
- CCME (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT). 2001. *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life SUMMARY*. Disponible en línea en: <https://ccme.ca/en/summary-table> (consultado el 20 junio 2022).
- CANO-SALGADO, M., C. ALVAREZ-GONZÁLEZ, R. MARTÍNEZ-GARCÍA, E. S. PEÑA-MARÍN, U. RODRÍGUEZ-ESTRADA, E. MACÍAS, R. CIVERA-CERECEDO & E. GOYTORTUA-BORRES. 2022. *Pterygoplichthys* spp. (Siluriformes: Loricariidae) meal is suitable for the culture of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) juveniles. *Ciencia Rural* 52 (1), 1-10. DOI: 10.1590/0103-8478cr20200801
- CANO-SALGADO, M. P. 2011. El plecos (*Pterygoplichthys* spp.): su invasión y el abordaje de las cooperativas balanquenses. Tesis de Doctorado en Ecología y Desarrollo Sustentable. El Colegio de la Frontera Sur. Villahermosa, Tabasco, México. 167 p.
- CAPPS, K. A., L. G. NICO, M. MENDOZA-CARRANZA, W. ARÉVALO-FRÍAS, A. J. ROPICKI, S. A. HEILPERN & R. RODILES-HERNÁNDEZ, 2011. Salinity tolerance of non-native suckermouth armoured catfish (Loricariidae: *Pterygoplichthys*) in south-eastern Mexico: Implications for invasion and dispersal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 21: 528–540.
- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2014. *Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía en el Consejo de Cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta*. Disponible en línea en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99961/PMPMS\\_CC\\_R\\_os\\_Grijalva\\_y\\_Usumacinta.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99961/PMPMS_CC_R_os_Grijalva_y_Usumacinta.pdf) (consultado el 12 de febrero de 2022).
- CRUZ-RAMÍREZ, A. K., M. SALCEDO, A. J. SÁNCHEZ, E. BARBA-MACÍAS & J. D. MENDOZA-PALACIOS. 2019. Relationship among physicochemical conditions, chlorophyll-a concentration, and water level in a tropical river–floodplain system. *International Journal of Environmental Science and Technology* 16: 3869–3876. DOI:10.1007/s13762-018-2127-7.
- DAHIYA, S., A. N. KUMAR, J. S. SRAVAN, S. CHATTERJEE, O. SARKAR & S. V. MOHAN. 2018. Bioresource Technology Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. *Bioresource Technology* 248: 2–12. DOI:10.1016/j.biortech.2017.07.176.
- DEPLEDGE, M. H. & B. SANDERS. 1998. *Metal Metabolism in Aquatic Environments*. Springer-Science+Business Media. London, United Kingdom. 460 pp.

- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2009. *Norma Oficial Mexicana NOM-027-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México. Disponible en línea en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4295/salud2a/salud2a.htm> (consultado el 19 de julio de 2022).
- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2015. *Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014 Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres*. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México. Agosto 15. Disponible en línea en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5643329&fecha=21/02/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5643329&fecha=21/02/2022#gsc.tab=0) (consultado el 09 de febrero de 2022).
- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2018. *ACUERDO por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Lagartero, Yahahuita, Zacualpa, Papizaca, Presa La Concordia, Selegua, San Miguel, La Concordia, Aguacatenco, Aguzarca, San Pedro, Grande o Salinas, Presa La Angostura, Hondo, Tuxtla Gutiérrez, Suchiapa, Santo Domingo, Presa Chicoasén, Chicoasén, Encajonado, Cintalapa, Soyatenco, Alto Grijalva, De La Venta, Chapopote, Presa Nezhualcóyotl, Tzimbac, Zayula, Presa Peñitas, Paredón, Platanar, Mezcalapa, El Carrizal, Tabasquillo, Cunduacán, Samaría, Caxcuchapa, Basca, Yashijá, Shumulá, Puxcatán, Chacté, De los Plátanos, Tullijá, Macuxpana, Almendro, Chilapa, Tacotalpa, Chilapilla, De la Sierra, Pichucalco, Viejo Mezcalapa, Azul, Tzanconeja, Perlas, Comitán, Margaritas, Jatate, Ixcán, Chajul, Lacanjá, San Pedro, Laguna Miramar, Euseba, Caliente, Seco, Santo Domingo, Lacantún, San Pedro, Chixoy, Chocaljah, Chacamax, Usumacinta, Grijalva, Palizada, San Pedro y San Pablo, Laguna del Este, Laguna de Términos, Mamatel, Cumpán y Laguna del Pom y Atasta, pertenecientes a la Región Hidrológica número 30 Grijalva-Usumacinta*. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México. Abril 10. Disponible en línea en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5518766&fecha=10/04/2018](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5518766&fecha=10/04/2018).
- DOUE (DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA). 2006. *Reglamento (CE) No 1831/2006 Contenido máximo de determinados contaminantes en los alimentos*. Diario Oficial de la Unión Europea. Disponible en línea en: <https://www.boe.es/doue/2006/364/L00005-00024.pdf> (consultado el 19 de febrero 2022).
- DUQUE, G., J. IGOR HLEAP, C. JIMÉNEZ, J. L. MARRUGO NEGRETE, M. P. MONTOYA, I. C. SÁNCHEZ, H. SUÁREZ MAHECHA & Á. WILLS FRANCO. 2015. *Evaluación de riesgo de mercurio en peces de aguas continentales en Colombia*. Ministerio de Salud y Protección Social y el Instituto Nacional de Salud. Reporte técnico. Bogotá, Colombia. 60 p. Disponible en línea en: [https://www.ins.gov.co/Direcciones/Vigilancia/Publicaciones/ERIA\\_y\\_Plaguicidas/ER\\_MERCURIO\\_EN\\_PECES.pdf](https://www.ins.gov.co/Direcciones/Vigilancia/Publicaciones/ERIA_y_Plaguicidas/ER_MERCURIO_EN_PECES.pdf) (consultado el 19 de marzo de 2022).
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1989. *Integrated Risk Information System (IRIS): Cadmium; CASRN 7440-43-9*. Disponible en línea en: [https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance\\_nmbr=141](https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=141) (consultado el 07 febrero de 2022).
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1998. *Method 7010 Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry*. Environmental Protection Agency. 20 p. Disponible en línea en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/epa-7010.pdf> (consultado el 09 de marzo de 2022).
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 2001. *Integrated Risk Information System (IRIS): Methylmercury (MeHg) CASRN 22967-92-6*. Disponible en: [https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance\\_nmbr=73](https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=73) (consultado el 07 febrero de 2022).
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 2004. *Integrated Risk Information System (IRIS): Lead and compounds (inorganic) CASRN 7439-92-1*. Disponible en línea en: [https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance\\_nmbr=277](https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=277) (consultado el 07 febrero de 2022).
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 2007. *Method 7471B Mercury in solid or semisolid waste (Manual cold-vapor technique)*. Environmental Protection Agency. 11 p. Disponible en línea en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/7471b.pdf> (consultado el 09 de marzo de 2022).
- ESCALERA-VÁZQUEZ, L. H. (n.d.). *Caracterización fisicoquímica del Hyposotomus plecostomus y alternativas de utilización*. Instituto Politécnico Nacional (IPN). Reporte técnico. México. Disponible en línea en: [http://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos\\_anexo/20050858\\_2030.pdf](http://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20050858_2030.pdf) (consultado el 26 de junio de 2022).
- ESCALERA-VÁZQUEZ, L. H., J. E. GARCÍA-LÓPEZ, A. SOSA-LÓPEZ, N. CALDERÓN-CORTÉS & D. HINOJOSA-GARRO. 2019. Impact of the non-native locariid fish *Pterygoplichthys pardalis* in native fish community on a seasonal tropical floodplain in Mexico. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 22: 462–472. DOI:10.1080/14634988.2019.1700343.
- FILIGRANA-CELORIO, G. 2016. *Uso de la harina de pez diablo (Pterygoplichthys spp) en la alimentación de tilapia nilótica (Oreochromis niloticus)*. Tesis de Maestría en Ciencias de los Recursos Naturales y Desarrollo Rural, El Colegio de la Frontera Sur. Villahermosa, Tabasco, México. 56 p.
- FLORES, C. M., E. DEL ANGEL, D. M. FRIAS & A. L. GÓMEZ. 2018. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 9: 39–57.
- FROESE, R. & D. PAULY. 2019. *Pterygoplichthys pardalis (Castelnau, 1855) Amazon sailfin catfish*. Fish Base. Disponible en línea en: [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org) (consultado el 23 de enero de 2022).
- GROTH, E. 2017. Scientific foundations of fish-consumption advice for pregnant women: Epidemiological evidence, benefit-risk modeling, and an integrated approach. *Environmental Research* 152: 386–406.
- GUTIÉRREZ-RUIZ, M., J. F. PARROT, C. RAMÍREZ-NÚÑEZ, L. PÉREZ-MANZANERA, D. AMARO-RAMÍREZ & L. JARDINES-MENDOZA. 2020. Tridimensional spatial distribution of manganese in a river impacted by metallurgical activity and mining. *Environmental Science and Pollution Research*. DOI: 10.1007/s11356-020-10727-x.
- GUZMÁN, A. F. & J. S. BARRAGAN. 1997. Presencia de bagres sudamericanos (Osteichthyes: Loricariidae) en el río Mezcala, Guerrero, México. *Vertebrata Mexicana* 3: 1–4.
- HARRIS, R., C. POLLMAN, W. LANDING, D. EVANS, D. AXELRAD, D. HUTCHINSON, S. L. MOREY, D. RUMBOLD, D. DUKHOVSKOY, D. H. ADAMS, K. VIJAYARAGHAVAN, C. HOLMES, R. D. ATKINSON, T. MYERS & E. SUNDERLAND. 2012. Mercury in the

- Gulf of Mexico: Sources to receptors. *Environmental Research* 119: 42–52. DOI:10.1016/j.envres.2012.08.001.
- HERNÁNDEZ-CANDELARIO, I. DEL C., M. L. LARES, V. F. CAMACHO-IBAR, L. LINACRE, E. GUTIÉRREZ-MEJÍA & P. PÉREZ-BRUNIUS. 2019. Dissolved cadmium and its relation to phosphate in the deep region of the Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems* 193: 27–45. DOI:10.1016/j.jmarsys.2019.01.005.
- HUMEDALES USUMACINTA A. C. 2013. *Proyecto de aprovechamiento integral del pez diablo Cuenca Grijalva-Usumacinta*. Reporte técnico. Disponible en línea en: <https://vdocuments.mx/proyecto-de-aprovechamiento-integral-del-pez-diablo-cuenca-grijalva-usumacinta.html?page=1> (consultado el 10 de julio de 2022).
- INECC (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO). 2007. La cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta. Disponible en línea en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/402/cuencas.html> (consultado el 14 de junio de 2022).
- IZAGUIRRE-FIERRO, G., F. PAEZ-OSUNA & J. I. OSUNA-LÓPEZ. 1992. Heavy metals in fishes from Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico. *Ciencias Marinas* 18: 143–151.
- KAWARAZUKA, N. & C. BÉNÉ. 2011. The potential role of small fish species in improving micronutrient deficiencies in developing countries: Building evidence. *Public Health Nutrition* 14: 1927–1938.
- KOBAYASHI, M., S. MSANGI, M. BATKA, S. VANNUCCINI, M. M. DEY & J. L. ANDERSON. 2015. Fish to 2030: The Role and Opportunity for Aquaculture. *Aquaculture Economics and Management* 19: 282–300.
- KROMHOUT, D., S. YASUDA, J. M. GELEIJNSE & H. SHIMOKAWA. 2012. Fish oil and omega-3 fatty acids in cardiovascular disease: do they really work?. *European Heart Journal* 33: 436–443.
- LEWIS, M. & C. CHANCY. 2008. A summary of total mercury concentrations in flora and fauna near common contaminant sources in the Gulf of Mexico. *Chemosphere* 70: 2016–2024.
- LPI (LINUS PAULING INSTITUTE). 2022. Centro de información de micronutrientes Manganese. Oregon State University. Corvallis, Oregon. Disponible en línea en: <https://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/manganese#toxicidad> (consultado el 17 de marzo de 2022).
- LÓPEZ-GARCÍA, K. DEL C., M. A. RODRÍGUEZ-SANTIAGO, L. E. AMADOR-DEL ÁNGEL, M. I. GRANO-MALDONADO, S. M. LAFFÓN-LEAL & S. SANTOS GUZMÁN. 2018. The Invasive armored suckermouth catfish *Pterygoplichthys pardalis* (Siluriformes: Loricariidae) as part of diet of the double-crested cormorant *Phalacrocorax auritus* (Phalacrocoracidae) in two tropical regions of Mexico. *Biotempo* 15: 17–21.
- LORENZO-MÁRQUEZ, H., A. TORRES-DOSAL, E. BARBA-MACÍAS, C. A. ILIZALITURRI-HERNÁNDEZ, R. I. MARTÍNEZ-SALINAS, J. J. MORALES-LÓPEZ & I. SÁNCHEZ-MORENO. 2016. Estimación de riesgo de exposición a metales pesados por consumo de plecos (*Pterygoplichthys* spp.) en infantes de comunidades ribereñas de los ríos Grijalva y Usumacinta, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32: 153–164.
- LOW-FENG, A., P. A. QUIJÓN & E. PETERS-RECAGNO. 2014. *Distribución de especies invasoras: Casos de estudio de ecosistemas en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), University of Prince Edwards Island (UPEI), Ciudad de México, México. 659 p.
- MEJÍA-MOJICA, H., F. DE J. RODRÍGUEZ-ROMERO & E. DÍAZ-PARDO. 2012. Recurrencia histórica de peces invasores en la reserva de la biósfera Sierra de Huautla, México. *Revista de Biología Tropical* 60: 669–681.
- MENDOZA-ALFARO, R. E. & P. KOLEFF-OSORIO. 2014. *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Mexico. 560 p.
- MENDOZA-ALFARO, R., J. P. FISHER, W. COURTENAY, C. RAMÍREZ-MARTÍNEZ, A. ORBE-MENDOZA, C. ESCALERA-GALLARDO, P. ÁLVAREZ-TORRES, P. KOLEFF-OSORIO & C. B. SALVADOR. 2009. Evaluación trinacional de riesgos de los plecos (Loricariidae). Directrices trinacionales para la evaluación de riesgos de las especies acuáticas exóticas invasoras. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal, Canadá. Disponible en línea en: [https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/Directrices\\_estcaso\\_espanol.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/Directrices_estcaso_espanol.pdf) (consultado el 09 de mayo de 2022).
- MENDOZA-CARRANZA, M., A. SEPÚLVEDA-LOZADA, C. DIAS-FERREIRA & V. GEISSEN. 2016. Distribución y bioconcentración de metales pesados en una red trófica acuática tropical: un estudio de caso de una laguna estuarina tropical en el sureste de México. *Environmental Pollution* 210: 155–165.
- MILLER, R. R., W. L. MINCKLEY, S. M. NORRIS & J. J. SCHMITTER SOTO. 2009. *Peces dulceacuícolas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana, A. C., El Colegio de la Frontera Sur, Consejo de Peces del Desierto. Ciudad de México, México. 280 p.
- MONARES-GALLARDO, I., L. F. CEJA-TORRES, C. ESCALERA-GALLARDO, G. OCHOA-ESTRADA & S. VÁZQUEZ-GÁLVEZ. 2012. Tamaño de partícula y tiempo de aplicación pre-siembra de harina de pescado (*Plecostomus* spp.) en producción de calabacita. *Terra Latinoamericana* 30: 147–155.
- MORIARTY, R. J., E. N. LIBERDA & L. J. S. TSUJI. 2020. Subsistence fishing in the Eeyou Istchee (James Bay, Quebec, Canada): A regional investigation of fish consumption as a route of exposure to methylmercury. *Chemosphere* 258: 11.
- MUSALEM-CASTILLEJOS, K., R. LAINO-GUANES, R. BELLO-MENDOZA, M. GONZÁLEZ-ESPINOZA & N. RAMÍREZ-MARCIAL. 2018. Water quality of the Grijalva river in the Chiapas and Tabasco border. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5: 55-64. DOI: 10.19136/era.a5n13.1334.
- NAVARRETE-DOMÍNGUEZ, M., R. E. ZAMUDIO-ALEMÁN, M. DEL R. CASTAÑEDA-CHÁVEZ & F. LANGO-REYNOSO. 2020. *Evaluación de la concentración de metales pesados (Cd, Pb y V) en sedimentos acuáticos de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco*. En Lango-Reynoso, F., V. Lango-Reynoso, M. Castañeda-Chávez, J. Montoya-Mendoza & C. Landeros-Sánchez (coords.). *20 años de Tecnología e Innovación Sustentable*. Xalapa. Veracruz, México, pp 113–129.
- NIE, J. Q., X. H. DONG, B. P. TAN, S. Y. CHI, Q. H. YANG, H. Y. LIU & Z. SHUANG. 2016. Effects of dietary manganese sources and levels on growth performance, relative manganese bioavailability, antioxidant activities and tissue mineral content of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* L.). *Aquaculture Research* 47: 1402–1412.
- OREGON STATE UNIVERSITY. 2020. Manganese | Linus Pauling Institute | Oregon State University. Centro de Información de Micronutrientes. Disponible en línea en: <https://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/manganese> (consultado el 12 de mayo de 2022).

- ORFINGER, A. B. & D. D. GOODING. 2018. The global invasion of the suckermouth armored catfish genus *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae): Annotated list of species, distributional summary, and assessment of impacts. *Zoological Studies* 57: 1–16.
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA). 2016. *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. Resumen*. Roma. 24 p.
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA). 2018. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Informe. Roma. 250 p.
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA). 2019. *Norma General para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos CXS 193-1995*. Codex Alimentarius. Normas Internacionales de los Alimentos. 76 p. Disponible en línea en: [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS\\_193s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf) (consultado el 12 de febrero de 2022).
- PÉREZ-CRUZ, Y., L. RANGEL-RUIZ & J. GAMBOA-AGUILAR. 2013. Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de la Biósfera “Pantanos de Centla” Tabasco, México. *Hidrobiológica* 23: 1–8.
- PLASCENCIA VARGAS, H., N. RAMÍREZ MARCIAL, M. GONZÁLEZ ESPINOZA & J. D. ÁLVAREZ SOLÍS. 2014. Características físico-bióticas de la cuenca del río Grijalva. En: González Espinoza, M. & M. C. Manse-Brunel (eds). *Montañas, Pueblo y Agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva Vol 1*. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México, pp. 29–79.
- RAMÍREZ-AYALA, E., ARGUELLO-PÉREZ, M. A., TINTOS-GÓMEZ, A., PÉREZ-RODRÍGUEZ, R., DÍAZ-GÓMEZ, J. A., BORJA-GÓMEZ, I., SEPÚLVEDA-QUIROZ, C. A., PATIÑO-BARRAGÁN, M., LEZAMA-CERVANTES, C. & J. SALOMÉ-BAYLÓN. 2020. Review of the biomonitoring of persistent, bioaccumulative, and toxic substances in aquatic ecosystems of Mexico: 2001-2016. *Latin American Journal of Aquatic Research* 48 (5): 705–738
- RAMÍREZ-ISLAS, M. E., A. DE LA ROSA-PÉREZ, F. ALTUZAR-VILLATORO & P. RAMÍREZ-ROMERO. 2018. Total mercury concentration in two marine fish species, mackerel (*Scomberomorus* sp.) and snapper (*Lutjanus* sp.), from several Mexican fishing ports. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 13894–13905.
- RAMOS-REYES, R., J. ZAVALA-CRUZ, L. M. GAMA-CAMPILLO, D. PECH-POOL & M. A. ORTIZ-PÉREZ. 2016. Indicadores geomorfológicos para evaluar la vulnerabilidad por inundación ante el ascenso del nivel del mar debido al cambio climático en la costa de Tabasco y Campeche, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 68: 581–598.
- REKSTEN, A. M., T. SOMASUNDARAM, M. KJELLEVOLD, A. NORDHAGEN, A. BØKEVOLL, L. M. PINCUS, A. A. M. RIZWAN, A. MAMUN, S. H. THILSTED, T. HRUT & I. AAKRE. 2020. Nutrient composition of 19 fish species from Sri Lanka and potential contribution to food and nutrition security. *Journal of Food Composition and Analysis* 91: 103508. DOI:10.1016/j.jfca.2020.103508.
- RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C., J. A. SANCHEZ-CABEZA, L. H. PÉREZ-BERNAL & A. GRACIA. 2019. Spatial and temporal distribution of heavy metal concentrations and enrichment in the southern Gulf of Mexico. *Science of the Total Environment* 651: 3174–3186. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.10.109.
- SÁNCHEZ, A. J., N. ÁLVAREZ-PLIEGO, H. ESPINOSA-PÉREZ, R. FLORIDO, A. MACOSAY-CORTEZ, E. BARBA, M. Á. SALCEDO & A. GARRIDO-MORA. 2019. Species richness of urban and rural fish assemblages in the Grijalva Basin floodplain, southern Gulf of Mexico. *Cybiurn* 43: 239–254.
- SÁNCHEZ, A. J., R. FLORIDO, N. ÁLVAREZ-PLIEGO & M. Á. SALCEDO. 2015. Distribución de *Pterygoplichthys* spp. (Siluriformes: Loricariidae) en la cuenca baja de los ríos Grijalva-Usumacinta. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86: 1099–1102.
- SAS INSTITUTE INC. 2019. JMP 15.0.0. SAS Institute Inc., [www.jmp.com](http://www.jmp.com).
- TØRRIS, C., M. MOLIN & M. C. SMASTUEN. 2014. Fish consumption and its possible preventive role on the development and prevalence of metabolic syndrome—a systematic review. *Diabetology and Metabolic Syndrome*: 1–11. Disponible en línea en: <http://www.dmsjournal.com/content/6/1/112>(consultado el 27 de marzo de 2022).
- TREFRY, J. H., R. P. TROCINE, M. L. McELVAINE, R. D. REMBER & L. T. HAWKINS. 2007. Total mercury and methylmercury in sediments near offshore drilling sites in the Gulf of Mexico. *Environmental Geology* 53: 375–385.
- VARGAS-RIVAS, A., E. BARBA-MACÍAS, A. J. SÁNCHEZ & G. CASTELLANOS-MORALES. 2022. Lack of mtDNA genetic diversity despite phenotypic variation and environmental heterogeneity in the exotic suckermouth armored catfish (*Pterygoplichthys pardalis*). *Biological Invasions*: 22 p. DOI: 10.1007/s10530-022-02961-w
- VÁZQUEZ-SAUCEDA, M., G. AGUIRRE-GUZMÁN, J. G. SÁNCHEZ-MARTÍNEZ & R. PÉREZ-CASTAÑEDA. 2011. Cadmium, lead and zinc concentrations in water, sediment and oyster (*Crassostrea virginica*) of San Andres Lagoon, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 86: 410–414.
- VÁZQUEZ, F., T. R. FLORVILLE-ALEJANDRE, M. HERRERA & L. M. D. DE LEÓN. 2008. Metales pesados en tejido muscular del bagre *Ariopsis felis* en el sur del Golfo de México (2001-2004). *Latin American Journal of Aquatic Research* 36: 223–233.
- VIANA-FINOTO, L., Y. SUÁREZ-RONDÓN, C. A. CARDOSO-LIMA, B. CRISPIM DO AMARAL, A. GRISOLIA-BARUFFATI & S. E. LIMA-JUNIOR. 2017. Mutagenic and genotoxic effects and metal contaminations in fish of the Amambai River, Upper Paraná River, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research* 24: 27104–27112.
- VILAVERTE, L., F. BORRELL, M. NADAL, S. JACOBS, F. MINNENS, W. VERBEKE, A. MARQUES & J. L. DOMINGO. 2017. Health risk/benefit information for consumers of fish and shellfish: FishChoice, a new online tool. *Food and Chemical Toxicology* 104: 79–84.
- VILLANUEVA, S. & A. V. BOTELLO. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 8: 47–61. Disponible en línea en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37080104%0ACómo> (consultado el 23 de agosto de 2022).
- WAKIDA-KUSUNOKI, A., L. AMADOR-DEL ÁNGEL, E. ROMERO-HERNÁNDEZ & L. BOZADA ROBLES, 2016. Range expansion of the invasive Amazon sailfin catfish, *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855), in the central and southeastern Gulf of Mexico. *Limnetica* 35 (2): 297–302.
- ZAVALA-CRUZ, J., R. JIMÉNEZ-RAMÍREZ, D. PALMA-LÓPEZ, F. BAUTISTA & F. GAVI-REYES. 2016. Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3: 161–171.

## NOTA CIENTÍFICA

Registro más septentrional de la Raya áspera del Pacífico, *Styracura pacifica* (Beebe & Tee-Van 1941) (Myliobatiformes: Potamotrygonidae) en las costas del Pacífico mexicano

Northernmost record of the Pacific chupare, *Styracura pacifica* (Beebe & Tee-Van 1941) (Myliobatiformes: Potamotrygonidae) on the coasts of the Mexican Pacific

Luis Fernando Del Moral-Flores <sup>1\*</sup>, Victor Hugo Galván-Piña <sup>2</sup>, Teodoro Ruiz-Rosas<sup>2</sup>, Enrique Heriberto Zazueta-Niebla<sup>3</sup>

**Recibido:** 19 de enero de 2024.

**Aceptado:** 16 de mayo de 2024.

**Publicado:** diciembre de 2024.

### RESUMEN

<sup>1</sup> Laboratorio de Zoología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de los Barrios No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México

<sup>2</sup> Universidad de Guadalajara, Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, Gómez Farías 82, San Patricio-Melaque, Cihuatlán, Jalisco, 48980, México

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n, Col. Los Pinos, C.P. 82000, Mazatlán, Sinaloa, México.

**\*Corresponding author:**

Luis Fernando Del Moral-Flores: e-mail: delmoralfer@comunidad.unam.mx

**To quote as:**

Del Moral-Flores, L. F., V. H. Galván-Piña, T. Ruiz-Rosas & E. H. Zazueta-Niebla. 2024. Registro más septentrional de la Raya áspera del Pacífico, *Styracura pacifica* (Beebe & Tee-Van 1941) (Myliobatiformes: Potamotrygonidae) en las costas del Pacífico mexicano. *Hidrobiológica* 34 (3): 207-210.

**Antecedentes:** La Raya áspera del Pacífico *Styracura pacifica* (Potamotrygonidae) es una especie de elasmobranquio endémica del Pacífico oriental, la amplitud de su distribución conocida corresponde a la zona de Salina Cruz, Oaxaca, hasta la costa sur de Colombia. En México sus registros son escasos y se restringen a las Lagunas de Chachahua, laguna superior e inferior de Oaxaca. **Objetivo:** El objetivo de esta contribución es evidenciar un nuevo registro en la Bahía de Acapulco, México. **Métodos:** El ejemplar fue capturado por medio de una red de arrastre playera, de 800 m de longitud y 3 m de altura, el día 01 de diciembre de 2023 en playa Hamacas, Bahía de Acapulco, Guerrero, se tomaron sus medidas morfológicas y fue depositado en una colección científica. **Resultados:** El espécimen de *S. pacifica* corresponde a una hembra madura de 676 mm de ancho de disco, 665 mm de longitud de disco y 1627 mm de longitud total. Presentó como caracteres diagnósticos: un dorso cubierto por denticulos dérmicos gruesos, dos desarrollados en la región escapular, cola sin pliegue dorsal, 35 hileras dentales en ambas mandíbulas. La coloración en vivo era negra y se tornó pardo tenue después de su fijación y preservación. **Conclusiones:** Los cambios temporales en las condiciones ambientales ocasionadas por los eventos El Niño-Oscilación Sur puede estar relacionado con la ampliación de distribución de *S. pacifica*. El registro amplió su distribución en aproximadamente 500 km al norte, y representa el registro más norteño de la especie a lo largo de su distribución en el Pacífico oriental.

**Palabras clave:** Pacífico Tropical Oriental, pesca artesanal, amplitud de distribución, raya látigo

### ABSTRACT

**Background:** The Pacific chupare, *Styracura pacifica* (Potamotrygonidae) is a species endemic elasmobranch to the Eastern Pacific, the range of its known distribution corresponds to the area from Salina Cruz, Oaxaca, to the southern coast of Colombia. In Mexico, records are scarce and restricted to the Chachahua Lagoons, the upper and lower lagoons of Oaxaca. **Goals:** This contribution aims to show a new record in the Bay of Acapulco, Mexico. **Methods:** The specimen was captured by means of a beach trawl net, 800 m length and 3 m high, on December 1, 2023 at Hamacas beach, Acapulco Bay, Guerrero, its morphological measurements were taken and it was deposited in a scientific collection. **Results:** The specimen of *S. pacifica* corresponds to a mature female with a 676 mm disc width, 665 mm disc length and 1627 mm total length. The diagnostic characteristics were: a back covered by thick dermal denticles, two of which were developed in the scapular region, a tail without a dorsal fold, and 35 dental rows in both jaws. The coloration in vivo was black and became a pale brown after fixation and preservation. **Conclusions:** Temporal changes in environmental conditions caused by El Niño-Southern Oscillation events may be related to the expansion of the distribution



of *S. pacifica*. The report expanded its distribution by approximately 500 km to the north and represents the northernmost record of the species throughout its distribution in the eastern Pacific.

**Key words:** Eastern Tropical Pacific, artisanal fishing, range extension, stingray

La familia Potamotrygonidae se subdivide en dos subfamilias, Potamotrygoninae y Styracurinae (Carvalho *et al.*, 2016), en esta última se incluyen a dos especies de origen anfiamericano, *Styracura schmardae* (Werner, 1904) y *S. pacifica* (Beebe & Tee-Van 1941) (Lovejoy *et al.*, 2006). Ambas especies habitan en ambientes estuarinos y marinos, en profundidades someras y donde predominan fondos blandos, areno-fangosos y arrecifales; su biología es poco conocida (Carvalho, 2016).

La distribución conocida de la Raya áspera del pacífico, *S. pacifica*, comprende la costa pacífica de Centroamérica, desde el sur de México, Oaxaca, hasta Panamá (Carvalho, 2016). Recientemente se acaba de corroborar su distribución sureña hasta la costa del choco en Colombia (Dalmau *et al.*, 2020). Mientras que los registros en las Islas Galápagos necesitan ser verificados (Carvalho, 2016). Por su parte, los registros en México son escasos y su presencia más septentrional corresponde a las lagunas de Chacahua, laguna Superior e Inferior, del estado de Oaxaca (Castro-Aguirre & Espinosa-Pérez, 1996; Del Moral-Flores *et al.*, 2017). En este trabajo se presenta el registro más norteño conocido para la especie y se confirma su presencia para el estado de Guerrero.

Durante la inspección de la composición de captura de la pesca artesanal que se practica en la bahía de Acapulco, Guerrero, México, se

registró un ejemplar de *Styracura pacifica* que fue capturado por medio de red de arrastre en playa (de 800 m de longitud, 3 m de altura y 3 cm luz de malla) en la playa Hamacas (16°51'11"N, 99°53'57"W; Fig. 1). La especie fue determinada por medio de claves especializadas (McEachran, 1995; Castro-Aguirre & Espinosa-Pérez, 1996). Se tomaron sus medidas morfológicas de acuerdo con Almeida *et al.* (2008) utilizando una cinta métrica ( $\pm 1$  mm). El organismo fue fijado en formol (10 %), y preservado en alcohol etílico (70 %) en la Colección Ictiológica de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (CIFI), Universidad Nacional Autónoma de México, bajo el número de catálogo CIFI-2392.

El organismo de *S. pacifica* capturado corresponde a una hembra madura, de 1627 mm de longitud total, 676 mm de ancho de disco; 665 mm de longitud de disco, 102 mm de distancia interorbital, 103 mm de distancia interespiracular, 11 mm de diámetro ocular, 57 mm de longitud espiracular, 143 mm de longitud preorbital, 82 mm de longitud prenatal, 116 mm de longitud preoral, 54 mm de distancia internarinal, 60 mm de ancho de boca, 161 mm de la distancia entre las primeras hendiduras branquiales, 131 mm de la distancia entre las quintas hendiduras branquiales, 124 mm de longitud de la canasta branquial, 138 mm en el margen anterior de la aleta pélvica, 1041 mm de la distancia entre la cloaca y el extremo de la cola (Fig. 2). Presentó además los siguientes caracteres diagnósticos: dorso cubierto por dentículos dérmicos gruesos, dos de ellos muy desarrollados en la región supraescapular; cola sin pliegue dorsal y cubierta con dentículos dérmicos a manera de espinas; 35 hileras de dientes en ambas mandíbulas. La coloración del ejemplar recién capturado era de negra, y conforme se procesó en el proceso de fijación esta se tornó en un tono pardo muy tenue, al eliminar la mucosidad oscura de protección.

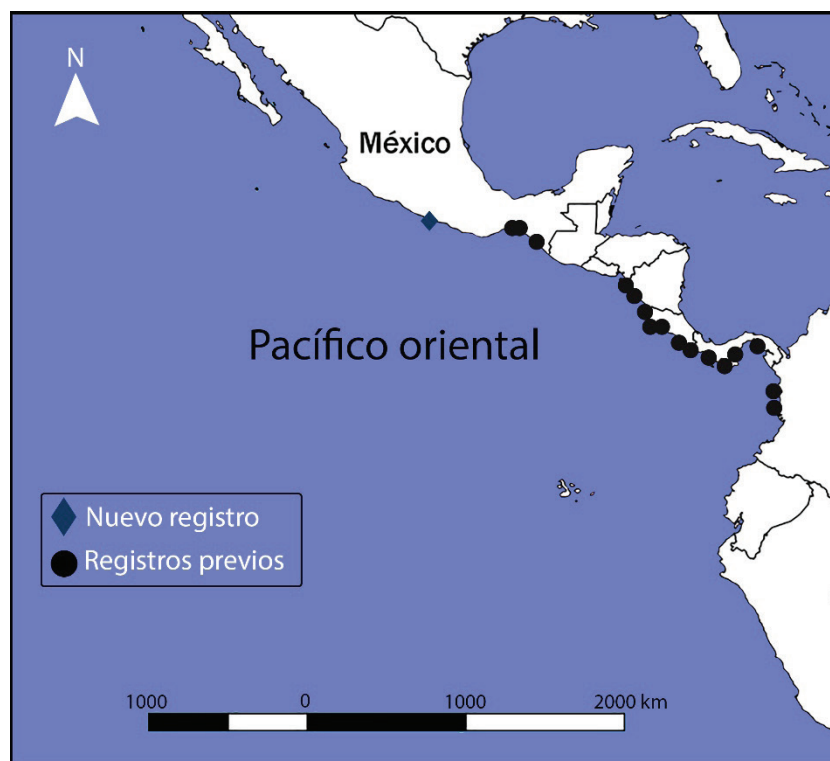


Figura 1. Mapa indicando la presencia de *Styracura pacifica* y su ampliación de distribución.



Figura 2. Ejemplar de *Styracura pacifica* capturada en la bahía de Acapulco, México.

En la bahía de Acapulco existe una mención de *S. pacifica* (Palacios-Salgado *et al.*, 2014), sin embargo, no se aportan datos morfológicos, gráficos o curatoriales que apoyen dicho registro, lo cual es necesario para confirmar la amplitud de su distribución, como lo registrado para su especie hermana, *S. schmardae* (O'Shea *et al.*, 2017; Palmeira & Nunes, 2020; Sales *et al.*, 2020). El organismo capturado corresponde a un ejemplar hembra adulta, con un ancho y largo de disco (67.6 y 66.5 cm respectivamente) ligeramente menor a lo registrado en ejemplares de Colombia (Dalmou *et al.*, 2020). Es necesario realizar estudios de su biología reproductiva para conocer sus estados de madurez y tamaños correspondientes.

Los cambios temporales en las condiciones ambientales pueden permitir la ampliación de distribución de varias especies ícticas. Así en el Pacífico oriental (PO), durante los eventos de El Niño-Oscilación Sur (ENSO por sus siglas en inglés) al modificarse el patrón de los vientos alisios, precipitación, corrientes marinas, circulación y profundidad de la termoclina y el movimiento de las masas de agua es común que se afecte la productividad, alimentación, reproducción y distribución de animales marinos (Fiedler, 2002). Es común, que durante los eventos ENSO varias especies de afinidad tropical amplían su distribución a regiones costeras templadas en ambos hemisferios, tanto en la región de California como la Peruana (Donayre-Salazar *et al.*, 2022). Aunque los cambios y las afectaciones que tiene el ENSO se han demostrado en varios grupos de organismos marinos, la amplitud de distribución en los elasmobranchios se ha reportado para algunas especies en el PO (Moreno & González-Pestana, 2017; Chávez *et al.*, 2022). En el caso de la costa y área marina de Oaxaca, se incluyen en la piscina cálida del Pacífico oriental, que es determinada por las aguas cálidas con prome-

dio de 28.5°C, y su área presenta una variación interanual, y aumenta en los eventos ENSO (Wang & Fiedler, 2006). Esto puede estar relacionado con la ampliación del área de distribución de *S. pacifica*, al estar asociada con las aguas cálidas de la piscina cálida del PO.

Finalmente, a partir de los registros puntuales que se tienen en la costa de Oaxaca (Castro-Aguirre *et al.*, 1996; Del Moral-Flores *et al.*, 2017), el presente registro aumenta la distribución de la especie en 500 km al norte, y representa el registro más norteño conocido de la especie en el Pacífico oriental.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los pescadores de la bahía de Acapulco, en especial a "El Venado". A L.F. Del Moral-Magallón, por el trabajo en campo y conseguir el ejemplar del presente estudio. También agradecemos el apoyo económico del SNI-CONAHCYT.

## REFERENCIAS

- ALMEIDA, M. P., P. CHARVET-ALMEIDA, G. RINCON & R. BARTHEM. 2008. Registro de ocurrencia de *Himantura schmardae* (Chondrichthyes: Dasyatidae) na costa norte do Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar* 41: 90-94.
- CARVALHO, M. R. DE, T. S. LOBODA & J. P. C. B DA SILVA. 2016. A new subfamily, Styracurinae, and new genus, *Styracura*, for *Himantura schmardae* (Werner, 1904) and *Himantura pacifica* (Beebe & Tee-Van, 1941)

- (Chondrichthyes: Myliobatiformes). *Zootaxa* 4175(3): 201-221. DOI: 10.11646/zootaxa.4175.3.1
- CARVALHO, M. R. DE. 2016. Neotropical stingrays, family Potamotrygonidae. In: Last, P. R., W. T. White, M. R. Carvalho de, B. Séret, M. F. W. Stehmann & G. J. P. Naylor (Eds.). *Rays of the World*. CSIRO Publishing, Melbourne, pp. 619-655.
- CASTRO-AGUIRRE, J. L. & H. ESPINOSA-PÉREZ. 1996. *Listados faunísticos de México. VII. Catálogo sistemático de las rayas y especies afines de México (Chondrichthyes: Elasmobranchii: Rajiformes: Batoideomorpha)*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 75 p.
- CHÁVEZ, E. J., M. HEIDEMEYER, R. ARAUZ, D. ARAUZ-NARANJO, R. MORA-VARGAS, J. L. MOLINA-QUIROS & S. HERNÁNDEZ-MUÑOZ. 2022. Occurrence of the rough Eagle ray *Aetomylaeus asperrinus* (Chondrichthyes: Myliobatidae) along the north Pacific coast of Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras* 14(1): 73-82. DOI: 10.15359/revmar.14-1.5
- DALMAU, M. S., M. C. VELANDIA, J. M. DÍAZ, A. F. NAVIA & P. A. MEJÍA-FALLA. 2020. Presencia de la raya chupare del Pacífico *Styracura pacifica* en Colombia y ampliación de su distribución geográfica en el Pacífico Oriental Tropical. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 49(2): 179-184.
- DEL MORAL-FLORES, L. F., V. ANISLADO-TOLENTINO, E. MARTÍNEZ-RAMÍREZ, G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN, E. RAMÍREZ-ANTONIO & G. GONZÁLEZ-MEDINA. 2017. Ictiofauna marina de Oaxaca, México: listado sistemático y afinidades zoogeográficas. *Acta Universitaria* 27(1): 3-25. DOI: 10.15174/au.2016.1069
- DONAYRE-SALAZAR, S., K. H. MOYANO, M. ROQUE-SÁNCHEZ, A. LORENZO & E. BARRIGA RIVERA. 2022. Especies de Carangidae inusuales durante el Niño costero 2017 en el litoral de Pisco, sur de Perú. *Revista Peruana de Biología* 29(1): e21280. DOI: 10.15381/rpb.v29i1.21280
- FIEDLER, P. C. 2002. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: review of ENSO and decadal variability. *Marine Ecology Progress Series* 244: 265-283.
- LOVEJOY, N. R., J. S. ALBERT & W. G. R. CRAMPTON. 2006. Miocene marine incursions and marine/freshwater transitions: Evidence from Neotropical fishes. *Journal of South American Earth Sciences* 21(1-2): 5-13. DOI: 10.1016/j.jsames.2005.07.009
- MCEACHRAN, J. D. 1995. *Dasyatidae. Rayas-látigo*. In: Fisher, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter & V. Niem (Eds.). *Guía FAO para la Identificación de especies para los fines de la pesca - Pacífico Centro-Oriental Volumen II. Vertebrados. Parte1*. Roma, FAO, pp. 752-755.
- MORENO, B. & A. GONZÁLEZ-PESTANA. 2017. Southernmost record of the Giant Manta Ray *Mobula birostris* (Walbaum, 1792) in the Eastern Pacific. *Marine Biodiversity Record* 10: 27. DOI: 10.1186/s41200-017-0130-1.
- O'SHEA, O. R., C. R. E. WARD & E. J. BROOKS. 2017. Range Extension in *Styracura* (= *Himantura*) *schmardae* (Caribbean Whiptail Stingray) from The Bahamas. *Caribbean Naturalist* 38: 1-8.
- PALACIOS-SALGADO, D. S., A. RAMÍREZ-VALDEZ, A. A. ROJAS-HERRERA, J. GRANADOS AMORES & M. A. MELO-GARCÍA. 2014. Marine fishes of Acapulco, Mexico (Eastern Pacific Ocean). *Marine Biodiversity* 44: 471-490. DOI: 10.1007/s12526-014-0209-4
- PALMEIRA, A. R. O. & J. L. S. NUNES. 2020. The mystery of *Styracura schmardae* stingrays from the Brazilian Amazon coast. *Examines in Marine Biology and Oceanography* 3(2): 1-2. DOI: 10.31031/EIM-BO.2020.03.000564
- SALES, M. A. N., J. E. P. FREITAS, C. C. CAVALCANTE, J. SANTANDER-NETO, P. CHARVET & V. V. FARIA. 2020. The southernmost record and an update of the geographical range of the Atlantic chupare, *Styracura schmardae* (Chondrichthyes: Myliobatiformes). *Journal of Fish Biology* 97(1): 302-308. DOI: 10.1111/jfb.14361
- WANG, C. & P. C. FIEDLER. 2006. ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69 (2-4): 239-266. DOI: 10.1016/j.pocean.2006.03.004

## NOTA CIENTÍFICA

Is *Blixaea quinquecornis* (Dinoflagellata: Peridinales) a species complex?

¿Es *Blixaea quinquecornis* (Dinoflagellata: Peridinales) un complejo de especies?

Ismael Gárate-Lizárraga<sup>1</sup> & Yuri B. Okolodkov<sup>2,\*</sup>

Recibido: 21 de mayo de 2024.

Aceptado: 25 de julio de 2024.

Publicado: diciembre de 2024.

### ABSTRACT

**Background:** *Peridinium quinquecorne* is a benthic-planktonic, neritic, tropical-boreal dinoflagellate species, usually with four antapical spines. It exhibits a wide morphological variability, particularly in the number of spines, which has caused a discussion among several authors on its generic position, transferring the species from *Peridinium* to *Blixaea*. The genus is currently monotypic. Cells of *Blixaea quinquecornis* possess a *Chaetoceros*-like diatom as endosymbiont, which is a unique feature among the so-called “dinotoms” that constitute the family Kryptoperidiniaceae, a well-supported monophyletic group. In Mexican waters, the species is best known from the state of Veracruz, southwestern Gulf of Mexico, where it has caused recurrent blooms; the species has also been reported from other regions of the world. **Methods:** The published literature on the species was revised, with an emphasis on the number of antapical spines. **Goals:** Clarifying the taxonomic status of *Blixaea quinquecornis* based on the thecal variability. **Results:** In the published literature, the number of the antapical spines emerging from the antapical plates in the dinoflagellate differs among the authors. Both published scanning electron and light microscope images do not allow us to describe the thecal plates in detail and their morphological variability or to conclude if this variability is infra- or interspecific. Our morphological data and the results obtained from the literature do not allow us to confirm the taxonomic status of *B. quinquecornis*. **Conclusions:** *B. quinquecornis* probably represents a species complex. Genetic-molecular and thecal-morphological studies are necessary to explain the morphological variability and to characterize different populations of the taxon from different regions through the world.

**Keywords:** dinoflagellates, Gulf of Mexico, morphology, taxonomy

### RESUMEN

**Antecedentes:** *Peridinium quinquecorne* es una especie de dinoflagelado, usualmente con cuatro espinas antapicales, bentónica-planctónica, nerítica, tropical-boreal. Presenta una amplia variación morfológica, en particular, en el número de espinas, lo cual ha provocado que su ubicación genérica se haya puesto en discusión por varios autores, transfiriendo la especie de *Peridinium* a *Blixaea*. Actualmente, el género es monotípico. Las células de *Blixaea quinquecornis* poseen una diatomea similar a *Chaetoceros* como endosimbionte, lo cual es una característica única entre las llamadas “dinotomeas” que constituyen la familia Kryptoperidiniaceae, un grupo monofilético bien sustentado. En aguas mexicanas, la especie se conoce mejor en el estado de Veracruz, al suroeste del Golfo de México. **Métodos:** Se realizó una revisión de la literatura publicada sobre la especie, con énfasis en el número de las espinas antapicales. **Objetivos:** Aclarar el estatus taxonómico de *Blixaea quinquecornis* basándose en la variabilidad de las tecas. **Resultados:** En la literatura publicada, el número de espinas antapicales que emergen de las placas antapicales en el dinoflagelado difiere entre los autores. Tanto las imágenes de microscopio electrónico de barrido como las de microscopio de luz publicadas no permiten describir en detalle las placas tecales y su variabilidad morfológica, ni concluir

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (IPN-CICIMAR), Departamento de Plancton y Ecología Marina. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Apdo. Postal 592, La Paz, Baja California Sur, 23096. México

<sup>2</sup> Laboratorio de Botánica Marina y Plancología, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana (ICMAP-UV). Mar Mediterráneo 314, Fracc. Costa Verde, Boca del Río, Veracruz, 94294, México

**\*Corresponding author:**

Yuri B. Okolodkov: e-mail: yuriokolodkov@yahoo.com

**To quote as:**

Gárate-Lizárraga, I. & Y. B. Okolodkov. 2024. Is *Blixaea quinquecornis* (Dinoflagellata: Peridinales) a species complex? *Hidrobiológica* 34 (3): 211-215.

si esta variabilidad es infraespecífica o interespecífica. Nuestros datos morfológicos y los resultados obtenidos de la literatura no nos permiten confirmar el estatus taxonómico de *B. quinquecornis*. **Conclusiones:** *B. quinquecornis*, probablemente, representa un complejo de especies. Los estudios genético-moleculares y morfológicos de la teca son necesarios para explicar la variabilidad morfológica y caracterizar diferentes poblaciones del taxón de varias regiones del mundo.

**Palabras clave:** dinoflagelados, Golfo de México, morfología, taxonomía

*Peridinium quadridentatum* T.H. Abé 1927 is one of the few known benthic-planktonic dinoflagellates. It is worth mentioning that the author of this species noted that “no corresponding form was found in the genus” (Abé, 1927: 411), highlighting the superficial similarity between this species and *Amylax triacantha* (Jørgensen) Sournia 1984 (= *Gonyaulax triacantha* Jørgensen 1899). In Mexican waters, it is best known from the state of Veracruz, southwestern Gulf of Mexico, where it has caused recurrent blooms; the species has also been reported from other regions of the world (see references in Trigueros *et al.*, 2000; Pertola *et al.*, 2006; Aké-Castillo *et al.*, 2014; Okolodkov *et al.*, 2016; Rodríguez-Gómez *et al.*, 2021; Hoppenrath *et al.*, 2023).

The synonymy of *Peridinium quinquecorne* with *Heterocapsa quadridentata* F. Stein 1883 has almost always been avoided in the published literature, although the synonymy of the former with *Proto-peridinium quinquecorne* (T.H. Abé) Balech 1974 is widely known. However, Horiguchi & Soto (1994) concluded that the transfer of *Peridinium quinquecorne* by Balech (1974) to the genus *Proto-peridinium* Bergh 1881 is not appropriate: the former has five cingular plates, unlike *Proto-peridinium* species that possess four cingulars, including a transitional plate.

Iwataki (2008) noted that *H. quadridentata* had not been reported from any location since its original description and does not possess the characteristics of the genus *Heterocapsa* F. Stein emend. Iwataki et Fukuyo 2003. Although the line drawing of the taxon by Stein (1883: 13, pl. IV, fig. 3) is somewhat schematic, considering that the first apical plate (1') is of ortho-type, the cell shape, its general proportions, the length, position and the number of the antapical spines, slightly attenuated apex and the displacement of the cavozone cingulum give it much in common with the original description and illustrations by Abé (1927). The morphologically similar *Amylax triacantha* has a different set of thecal features, and Stein's taxon differs to a still greater extent from all known dinoflagellate species except for *Peridinium quadridentatum*.

Hansen (1995) states that *H. quadridentata* is undoubtedly conspecific with *Peridinium quinquecorne* and introduces a new combination, *Peridinium quadridentatum* (F. Stein) G. Hansen, noting that whether the name of *P. quadridentatum* is valid, its assignment to the genus *Peridinium* Ehrenberg is another question. We completely agree with Hansen's opinion and that *P. quinquecorne* should be considered a junior synonym to *H. quadridentata*. A new variety, *Peridinium quinquecorne* T.H. Abé var. *trispiniferum* Aké-Castillo et Vázquez 2011, was described, and it has only been reported from Sontecomapan Lagoon (la Laguna de Sontecomapan), southwestern Gulf of Mexico (Aké-Castillo & Vázquez, 2011).

The genus *Blixaea* (T.H. Abé) Gottschling in Gottschling *et al.* 2017 is currently monotypic. Cells of *Blixaea quinquecornis* possess a *Chaetoceros*-like diatom as endosymbiont (Horiguchi & Pienaar, 1991; Horiguchi & Takano, 2006), which is a unique feature among the so-called

“dinotoms” (Imanian *et al.*, 2011) that constitute the family Kryptoperidiniaceae, a well-supported monophyletic group (Gottschling *et al.*, 2017). Cells have a stigma located in the sulcal area.

In the published literature, the number of the antapical spines emerging from the antapical plates in the dinoflagellate differs among the authors. Abé (1927) described the species from Mutsu Bay, northern Japan, based on one and half cells (the hypotheca) having four spines. Most authors also described and illustrated cells with this feature (Abé, 1981; Madariaga *et al.*, 1989; Horiguchi & Pienaar, 1991; Horiguchi & Soto, 1994; Trigueros *et al.*, 2000; Barón-Campis *et al.*, 2005; Faust *et al.*, 2005; Mohammad-Noor *et al.*, 2007; Gárate-Lizárraga & Muñetón-Gómez, 2008; Okolodkov *et al.*, 2016; Hoppenrath *et al.*, 2023). Pertola *et al.* (2006) illustrated a cell germinated from the sediment from the eastern Baltic Sea with four spines, comparing it to the pictured cell from Belize with five spines. Furthermore, Satta *et al.* (2010: 116, fig. 2a, b) reported the species in high abundance in surface sediments at two sites in the Western Mediterranean Sea, mentioning five processes on the hypotheca; however, we could clearly distinguish only four spines. The authors could not confirm whether they found “resting cells” or cysts (resting or temporary). Horstmann (1980) described cells from Maribago Bay, Cebu, the Philippines, that usually had five spines and in some more cases, referring to the species as *Peridinium* cf. *quinquecorne*, distinguishing two cell shapes, roundish and angular, and noting that the latter is likely characteristic of older cells. According to Horiguchi & Soto (1994), the correct identification of Horstmann's species has remained enigmatic; however, the morphological characteristics examined by these authors support the bloom-forming species from Maribago Bay being truly *Peridinium quinquecorne*. They also distinguished and illustrated the two morphotypes described by Horstmann. The same morphotypes were illustrated by Barón-Campis *et al.* (2005). Horiguchi (1990) reports three to five spines in the cells from Japan, although a cell illustrated in fig. C (p. 138) has six spines. Adachi (1972) describes a dinoflagellate as *Peridinium* sp. 1 with four to seven antapical spines (cited after Horstmann, 1980).

Abé (1981: 294-295) illustrated the cells with four antapical spines, mentioning that the cells with three spines are also common, and “their length appears to be reversely correlated to the size of the body”. He also distinguished an angular polygonal cell shape in younger specimens and a less angulated form often coupled with broader sutures (in older cells). In addition, the body of younger cells was strongly flattened dorsoventrally, unlike in older cells. It was concluded that the presence of “every intermediate form between these two” suggests their unity.

The question of why *Peridinium quinquecorne* var. *trispiniferum* cannot be a new species is reasonable; however, molecular studies should be performed to answer a range of questions about the taxonomic status of the cells that differ in the number of the antapical spines (3, 4, 5 or more) and if there are other features coupled with the number of spines. It is logical to suggest that slight genetic differences, being accumulated, may result in noticeable morphological differences such as the number of antapical spines, which can be indicative of interspecific differences. Despite numerous records of this bloom-forming species, its thecal morphology has not been examined in detail; the study by Horiguchi & Pienaar (1991) is a rare exception. Faust *et al.* (2005) showed the morphology of the apical pore complex consisting of the pore plate (Po) and the canal plate (x) in scanning electron micrographs. According to Aké-Castillo & Vázquez (2011), some features

such as the cell shape, the number and arrangement of thecal plates as well as the presence of spines in general on the hypotheca of var. *trispiniferum* correspond to those of *Peridinium quinquecornis*, but the number of spines does not. Therefore, both scanning electron and light microscope images published in the cited literature do not allow us to describe the thecal plates in detail and their morphological variability or to conclude if this variability is infra- or interspecific.

Herein, we describe the morphological variability of the cell shape and some details of the theca of *B. quinquecornis* sampled during a bloom on 15 July 2008 in the coastal waters in the port of Veracruz, southwestern Gulf of Mexico (Fig. 1A-F). Fixed specimens were examined in a JEOL JSM-7600F (JEOL, Ltd., Tokyo, Japan) scanning electron mi-

croscope (SEM) at a working distance of 8 mm, a voltage of 5.0 kV after a preliminary wash in distilled water followed by dehydration in a series of ethanol solutions of increasing concentration (30, 50, 70, 90, and 100%). Specimens were then air dried on 0.5" aluminum mounts and sputter-coated with gold-palladium using a Polaron SC7640 High-Resolution Sputter Coater (Quorum Technologies, Newhaven, SXE, UK).

The trichocyst pores are crater-like, and rimmed, 0.14-0.20  $\mu\text{m}$  in diameter, are irregularly distributed through all thecal plates, with a tendency to form rows along their margins (Fig. 1C). Some cells have a short spine belonging to the 3' plate, inserted ventrally on the right side, near the apical pore complex (Fig. 1C). These morphological peculiarities have not been described in the literature.

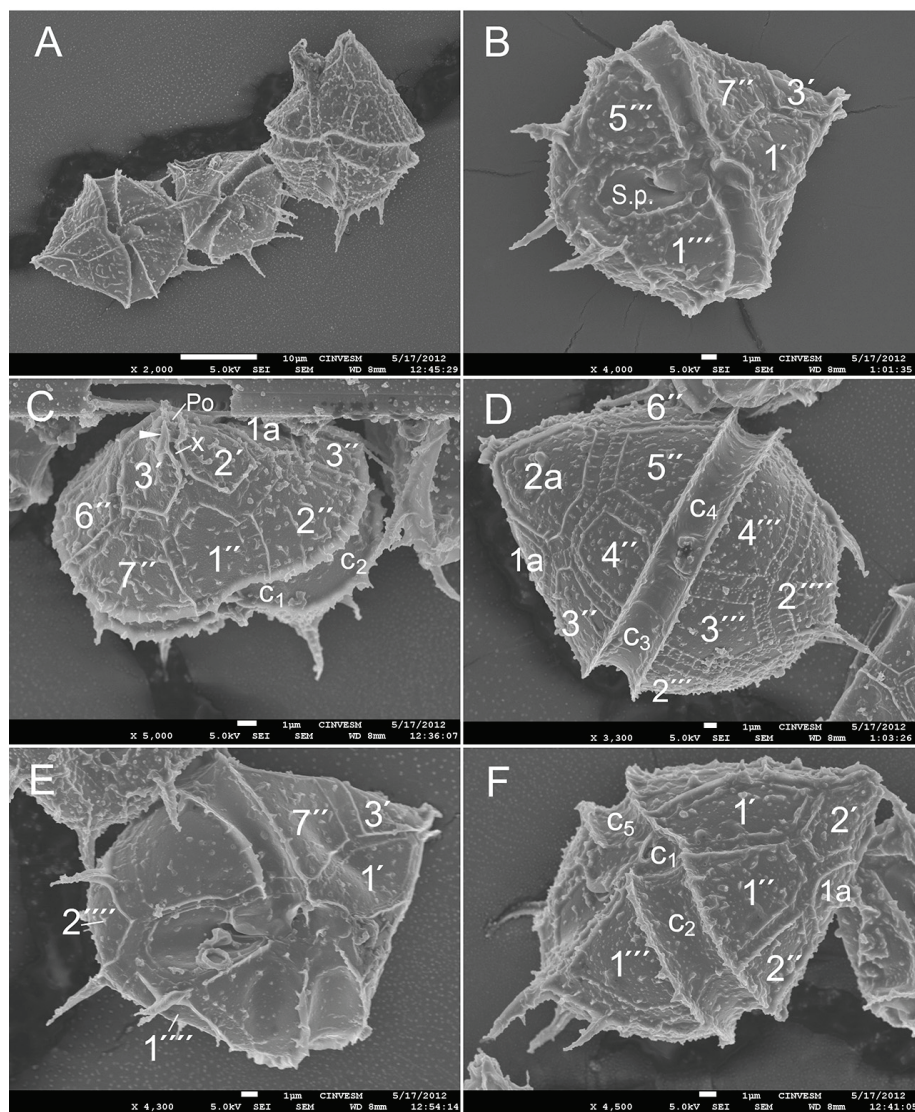


Figure 1. Scanning electron micrographs of *Blixaea quinquecornis* from a bloom in the coastal waters of Veracruz. A – three polygonal cells in ventral view, showing variability in size; B and E – cells in ventral view, showing variability in the cell size and the number of the antapical spines; C – cell in apical-ventral view, showing the apical pore complex and the apical spine (arrowhead) belonging to the 3' plate; D – larger rounded cell in dorsal view; F – cell in ventral-left-side view with four antapical spines. Thecal plates: 1'-3' – apicals; 1''-7'' – precingulars; 1'''-5''' – postcingulars; 1'''' and 2'''' – antapicals; c1-c5 – cingulars; Po – the pore plate; S.p. – the sulcal posterior plate; x – the canal plate. Scale bar: 10  $\mu\text{m}$  in A, 1  $\mu\text{m}$  in B-F.

Genetic variability and differentiation between populations of the same species with a wide geographical distribution is the principal tendency in speciation of the oceanic holoplanktonic taxa (Pierrot-Bults & Van der Spoel, 1976). It is considered that in the ocean the processes of speciation are slow and, in general, incomplete. Formation of many cryptic species inhabiting marine environments is common (Medlin, 1995). For example, recent studies on some common benthic dinoflagellate species, such as *Prorocentrum lima* (Ehrenberg) F. Stein and *P. hoffmannianum* M.A. Faust, proved the existence of species complexes (integrated by several or many cryptic species) rather than individual species under a given Latin species name (Zhang *et al.*, 2015; Cembella *et al.*, 2021). As an object of numerous genetic and biotechnological studies, the brackish-water-marine dinoflagellate *Cryptocodinium cohnii* (Seligo) Chatton, found associated with decaying macroalgae from the North Sea to Caribbean, by the mid-1990s had contained 52 reported sibling species (Steidinger & Tangen, 1996). Therefore, we consider that *Blixaea quinquecornis*, a neritic tropical-boreal dinoflagellate with a wide geographical distribution in both marine and brackish waters, including the water column, seagrasses, macroalgae, floating detritus, tropical tidal pools and sediments, tolerating temperatures up to 42°C (Faust *et al.*, 2005), may represent a species complex that should be evaluated in detail through future molecular evidence.

## ACKNOWLEDGMENTS

We thank Natalia A. Okolodkova (Mexico City, Mexico) for technical help with the illustrations, Francisco F. Pedroche (Universidad Autónoma Metropolitana – Lerma, Mexico City, Mexico) for giving us advice, and Marcia M. Gowing (Seattle, WA, USA) for improving the English style. We are also grateful to anonymous reviewers for their critical comments that improved the manuscript. The project was partially funded by Instituto Politécnico Nacional, Mexico (grants SIP-20230492 and SIP- 20240611): IGL is a COFAA fellow.

## REFERENCES

- ABÉ, T. H. 1927. Report of the biological survey of Mutsu Bay. 3. Notes on the protozoan fauna of Mutsu Bay. I. Peridinales. *Reports of the Tôhoku Imperial University, Series 4, Biology, Sendai, Japan* 2 (4): 383-438.
- ABÉ, T. H. 1981. Studies on the family Peridiniidae. Unfinished monograph on the armoured Dinoflagellata. Academia Scientific Book Inc. Tokyo, Japan. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory, Special Publication Series* 6: 1-409.
- ADACHI, R. 1972. A taxonomical study of the red organisms. *Journal of the Faculty of Fisheries, Prefectural University of Mie* 9 (1): 9-145. (Cited after Horstmann, 1980).
- AKÉ-CASTILLO, J.A. & VÁZQUEZ, G. 2011. *Peridinium quinquecorne* var. *trispiniferum* var. nov. (Dinophyceae) from a brackish environment. *Acta Botanica Mexicana*, 94:125-140. DOI:10.21829/abm94.2011.273
- AKÉ-CASTILLO, J. A., Y. B. OKOLODKOV, C. F. RODRÍGUEZ-GÓMEZ & G. CAMPOS-BAUTISTA. 2014. Florecimientos algales nocivos y contaminación en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012). In: Botello, A.V., J. Rendón von Osten, J. A. Benítez & G. Gold-Bouchot (Eds.). Golfo de México. Contaminación, impacto ambiental, diagnóstico y tendencias. 3a ed. UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida, México, pp. 133-146.
- BALECH, E. 1974. El género *Protoperidinium* Bergh, 1881 (*Peridinium* Ehr., 1831, partim). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Hidrobiología* 4 (1): 1-78.
- BARÓN-CAMPIS, S.A., D.U. HERNÁNDEZ-BECERRIL, O. JUÁREZ-RUIZ & C. RAMÍREZ-CAMARENA. 2005. Marea roja producida por el dinoflagelado *Peridinium quinquecorne* en Veracruz, México (oct-nov, 2002). *Hidrobiológica* 15 (1): 73-78.
- CSEMBELLA A.D., L. M. DURÁN-RIVEROLL, U. I. TARAZONA-JANAMPA, Y. B. OKOLODKOV, R. GARCÍA-SANDOVAL, B. KROCK, C. HÖRSTMANN & U. JOHN. 2021. Phylogeography and diversity among populations of the toxigenic benthic dinoflagellate *Prorocentrum* from coastal Reef systems in Mexico. *Frontiers in Marine Science* 8: Article 716669. DOI:10.3389/fmars.2021.716669
- FAUST, M.A., R.W. LITAKER, M.W. VANDERSEA, S.R. KIBLER & A.P. TESTER. 2005. Dinoflagellate diversity and abundance in two Belizean coral-reef mangrove lagoons: a test of Margalef's mandala. *Atoll Research Bulletin* 534: 103-131.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I. & M.S. MUÑETÓN-GÓMEZ. 2008. Bloom of *Peridinium quinquecorne* Abé in la Ensenada de La Paz, Gulf of California (July 2003). *Acta Botanica Mexicana* 83: 33-47. DOI: 10.21829/abm83.2008.1059
- GOTTSCHLING, M., A. Ž. ČALASAN, J. KRETSCHMANN & H. GU. 2017. Two new generic names for dinophytes harbouring a diatom as an endosymbiont, *Blixaea* and *Unruhadinium* (Kryptoperidiniaceae, Peridinales). *Phytotaxa* 306 (4): 296-300. DOI:10.11646/phytotaxa.306.4.6
- HANSEN, G. 1995. Analysis of the thecal plate pattern in the dinoflagellate *Heterocapsa rotundata* (Lohmann) comb. nov. (= *Katodinium rotundatum* (Lohmann) Loeblich). *Phycologia* 34(2): 166-170. DOI:10.2216/10031-8884-34-2-166.1
- HOPPENRATH, M., N. CHOMÉRAT, T. HORIGUCHI, S. A. MURRAY & L. RHODES. 2023. Marine benthic dinoflagellates – their relevance for science and society. 2nd ed. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) and Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, Germany. 376 p.
- Horiguchi, T. 1990. *Peridinium quinquecorne* Abé. In: Fukuyo, Y., H. Takano, M. Chihara & K. Matsuoka (Eds.). *Red tide organisms in Japan - An Illustrated taxonomic guide*. Uchida Rokakuho. Tokyo, Japan, pp. 138-139.
- HORIGUCHI, T. & R. N. PIENAAR. 1991. Ultrastructure of a marine dinoflagellate, *Peridinium quinquecorne* Abé (Peridinales) from South Africa with particular reference to its chrysophyte endosymbiont. *Botanica Marina* 34: 123-131. DOI:10.1515/botm.1991.34.2.123
- HORIGUCHI, T. & F. B. SOTO. 1994. On the identity of a red-tide dinoflagellate in Maribago Bay, Philippines. *Bulletin of the Plankton Society of Japan* 41 (82): 166-169.
- HORIGUCHI, T. & Y. TAKANO. 2006. Serial replacement of a diatom endosymbiont in the marine dinoflagellate *Peridinium quinquecorne* (Peridinales, Dinophyceae). *Phycological Research*, 54 (3): 193-200. DOI:10.1111/j.1440-1835.2006.00426.x

- HORSTMANN, U. 1980. Observations on the peculiar diurnal migration of a red tide Dinophyceae in tropical shallow waters. *Journal of Phycology* 16: 481-485. DOI:10.1111/j.1529-8817.1980.tb03064.x
- IMANIAN, B., J.-F. POMBERT & P. J. KEELING. 2011. The complete plastid genomes of the two 'dinotoms' *Durinskia baltica* and *Kryptoperidinium foliaceum*. *PLoS One* 5 (5): e10711. DOI:10.1371/journal.pone.0010711
- IWATAKI, M. 2008. Taxonomy and identification of the armoured dinoflagellate genus *Heterocapsa* (Peridinales, Dinophyceae). *Plankton Benthos Resources* 3: 135-142. DOI:10.3800/pbr.3.135
- MADARIAGA, I. DE, E. ORIVE & G. T. BOALCH. 1989. Primary production in the Gernika estuary during a summer bloom of the dinoflagellate *Peridinium quinquecornis* Abé. *Botanica Marina* 32: 159-165. DOI:10.1515/botm.1989.32.2.159
- MEDLIN, L. K. 1995. Genetic variability and phytoplankton species. In: Pierrot-Bults, A. C. & S. Van der Spoel (Eds.). *Pelagic Biogeography ICoPB II. Proceedings of the 2nd International Conference. Final report of SCOR/IOC Working Group 93 "Pelagic Biogeography", Noordwijkerhout, The Netherlands, 9 July - 14 July 1995, Intergovernmental Oceanographic Commission Workshop Report 142*, pp. 257-265.
- MOHAMMAD-NOOR, N., N. DAUGBJERG, Ø. MOESTRUP & A. ANTON. 2007. Marine epibenthic dinoflagellates from Malaysia – a study of live cultures and preserved samples based on light and scanning electron microscopy. *Nordic Journal of Botany* 24 (6): 629-690. DOI:10.1111/j.1756-1051.2004.tb01938.x
- OKOLODKOV, Y. B., G. CAMPOS-BAUTISTA & I. GÁRATE-LIZÁRRAGA. 2016. Circadian rhythm of a red-tide dinoflagellate *Peridinium quadridentatum* in the port of Veracruz, Gulf of Mexico, its thecal morphology, nomenclature and geographical distribution. *Marine Pollution Bulletin* 108 (1-2): 289-296. DOI:10.1016/j.marpolbul.2016.04.047
- PERTOLA, S., M. A. FAUST & H. KUOSA. 2006. Survey on germination and species composition of dinoflagellates from ballast tanks and recent sediments in ports on the South Coast of Finland, North-Eastern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 52: 900-911. DOI:10.1016/j.marpolbul.2005.11.028
- PIERROT-BULTS, A. C. & S. VAN DER SPOEL. 1976. Speciation in macrozooplankton. In: S. Van der Spoel & A. C. Pierrot-Bults (Eds.). *Zoogeography and diversity of plankton*. Bunge, Utrecht, The Netherlands, pp. 144-167.
- RODRÍGUEZ-GÓMEZ, C. F., G. VÁZQUEZ, C. A. MAYA-LASTRA, J. A. AKÉ-CASTILLO, C. J. BAND-SCHMIDT, P. MORENO-CASASOLA & O. ROJAS-SOTO. 2021. Potential distribution of the dinoflagellate *Peridinium quadridentatum* and its blooms in continental shelves globally: an environmental and geographic approach. *Marine Biology* 168: 29. DOI:10.1007/s00227-021-03825-y
- SATTA, C.T., S. ANGLÈS, E. GARCÉS, A. LUGLIÈ, B.M. PADEDDA & N. SECHI. 2010. Dinoflagellate cysts in recent sediments from two semi-enclosed areas of the Western Mediterranean Sea subject to high human impact. *Deep-Sea Research II* 57: 256-267. DOI:10.1016/j.dsr2.2009.09.013
- STEIDINGER, K. A. & K. TANGEN. 1996. Dinoflagellates. In: Tomas, C. R. (Ed.). *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press, Inc., Harcourt Brace & Company. San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto, pp. 387-598.
- STEIN, F.R., VON. 1883. *Der Organismus der Infusionsthierie nach eigenen Forschungen in systematischer Reihenfolge bearbeitet. III. Abtheilung. II. Hälfte. Die Naturgeschichte der arthrodelen Flagellaten*. Leipzig, Germany. 30 p., 25 pl.
- TRIGUEROS, J. M., A. ANSOTEGUI & E. ORIVE. 2000. Remarks on morphology and ecology of recurrent dinoflagellate species in the estuary of Urdaibai (northern Spain). *Botanica Marina* 43: 93-103. DOI:10.1515/BOT.2000.009
- ZHANG, H., Y. LI, J. CEN, H. WANG, L. CUI, Y. DONG & S. LU. 2015. Morphotypes of *Prorocentrum lima* (Dinophyceae) from Hainan Island, South China Sea: morphological and molecular characterization. *Phycologia* 54 (5): 503-516. DOI:10.2216/15-8.1





## Hidrobiológica

## Índice del volumen 34, 2024

## Número 1

**B. Okolodkov, Y., V. A. Cervantes-Urieta, A. C. Aguilar-Trujillo, F. del C. Merino-Virgilio, G. Cruz-Trejo, D. A. Huerta-Quintanilla, K. A. Steidinger†, I. Gárate-Lizárraga, L. M. Durán-Riveroll and J. A. Herrera-Silveira**

*Durinskia yucatanensis* sp. nov. (Peridiniales: Kryptoperidiniaceae), a new planktonic dinoflagellate species, and its habitat in coastal Yucatan waters, Gulf of Mexico 1-12

**Martínez Cruz, P., A. L. Ibáñez, O. Monroy H., J. F. Aguirre G., E. Maya P. and H. Ramírez-Saad**

Effect of symbiotic administration on growth and intestinal microbiota variation of pacú (*Piaractus mesopotamicus*) in recirculating aquaculture systems 13-25

**Alejo-Plata, M. del C., R. I. Rojas-González, V. H. Martínez-Magaña y I. Martínez-Bravo**

Presencia de juveniles y adultos del calamar de "cristal" *Leachia dislocata* (Cephalopoda: Cranchiidae) en el Golfo de Tehuantepec, Pacífico tropical noreste 27-33

**Rodríguez-Estrada, J. y F. Martínez-Jerónimo**

Cladóceros en el reservorio eutrofizado de Valle de Bravo. Estudio anual sobre su diversidad, distribución, abundancia y nuevos registros 35-49

**Sierra-Gaviria, E., A. Campos-Gilón, A. Daza-Ordoñez, P. Coral, L. Gómez,**

C. Fernández Morantes y A. Arias Hoyos Evaluación de la eficiencia de un sistema de humedales construidos en la remoción de mercurio de efluentes mineros auríferos 51-59

**García-Córdova, E. A., M. T. Herrera-Dorantes, M. A. May-Kú y Pedro-Luis Ardisson**

Distribución espacial del zooplankton en el gradiente de salinidad entre el puerto Dos Bocas y la laguna Mecoacán, Tabasco 61-69

## Número 2

**López Del Castillo, P., L. M. Gómez Luna, J. G. Peters and G. M. López Iborra**

Checklist and Abundance with New Records of Mayflies (Insecta: Ephemeroptera) to Sierra Maestra Mountain Range, Cuba 71-80

**García-Ortiz, A. A., S. Lozano-Trejo, R. M. Pérez-Munguía, I. Molina-León, E. Castañeda-Hidalgo y G. O. Díaz-Zorrilla**

Calidad del agua e integridad biótica en manantiales de la Subcuenca Río Copalita, Oaxaca 81-93

**Sepúlveda, C. H., M. I. Sotelo-Gonzalez, C. C. Osuna-Martínez, M. G. Frías-Espéricueta, R. Sánchez-Cárdenas, A. M. Góngora-Gómez and M. García-Ulloa**

Shell shape, allometry, and heavy metals content of two oyster species in the southeastern Gulf of California 95-105

**Mancilla-Villa, O. R., O. Hernández-Vargas, R. D. Guevara-Gutiérrez, C. Palomera-García, H. M. Ortega-Escobar, H., Flores-Magdaleno, A. Can-Chulim, J. L. Olguín-López, I. Mendoza-Saldívar, J. A. Luna-Fletes, E. Cruz-Crespo, O. A. Barreto-García, F. Villafaña-Castillo, A. Khalil-Gardezi y J. M. Ramírez-Romero**

Aplicación de un índice de calidad del agua (ICA) en la cuenca del río Ayuquila-Armería en México 107-120

**García-Caudillo, J. M., A. Balmori-Ramírez and R. Morales-Azpeitia**

Stocks assessment and reference point estimations for the snappers fishery (Perciformes: Lutjanidae) in the Gulf of Mexico, 1980-2019 121-131

**Ibáñez, Am L., V. H. Cruz-Escalona y E. Pacheco**

Ampliación del rango de distribución de *Mugil thoburni* (Pisces: Mugilidae) en la costa occidental del Golfo de California, México 133-136

## Número 3

**Cházaro-Olvera, S., J. Montoya Mendoza, Á. Morán-Silva, R. Chávez-López and C. Ramírez-Isoba**

Caridea postlarvae (Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Jamapa River, Veracruz, SW Gulf of Mexico 145-152

**Gazca-Castro, M., A. Aguirre-León, S. Díaz-Ruiz y Sergio Álvarez-Hernández**

El ambiente como factor que estructura la comunidad de peces del sistema fluvio-lagunar Pom-Atasta, Campeche, México 153-166

**Roa-Venicio, M. y M. A. Fernández-Álamo**

Diversidad de medusas (Cnidaria: Medusozoa) en Bahía de Banderas, México y registros nuevos 167-178

**Tlahig , S., H. Dab, K. Elebdelli and H. Laouar**  
 Attempting to Optimize Nile Tilapia Growth Using Indigenous  
 Crop-Based Feeds in Cooled Geothermal Groundwater  
 Breeding Systems for Sustainable Aquaculture 179-190

**Alvarado-Arcia, A., R. Martínez-Salinas, E. Barba-Macías,  
 J. Morales-López y A. Torres-Dosal**  
 Metales pesados en músculo de *Pterygoplichthys pardalis* y especies  
 acompañantes en Pantanos de Centla, Tabasco, México 191-206

#### NOTAS CIENTÍFICAS

**Del Moral-Flores, L. F., V. Hugo Galván-Piña, T. Ruiz-Rosas  
 y E. H. Zazueta-Niebla**  
 Registro más septentrional de la Raya áspera del Pacífico, *Styracura*  
*pacifica* (Beebe & Tee-Van 1941) (Myliobatiformes: Potamotrygonidae)  
 en las costas del Pacífico mexicano 207-210

**Garita-Alvarado, C. A., M. G. Bojorge-García and  
 E. A. Cantoral Uriza**  
 Is *Blixaea quinquecornis* (Dinoflagellata: Peridinales)  
 a species complex? 211-215

**Índice de volumen 34** 217-218

**Índice de autores** 219-220

# Hidrobiológica

## Índice de autores

|                        |     |                          |        |
|------------------------|-----|--------------------------|--------|
| Aguilar-Trujillo A. C. | 1   | Flores-Magdaleno H.      | 107    |
| Aguirre G. J. F.       | 13  | Frías-Espéricueta M. G.  | 95     |
| Aguirre-León A.        | 153 | Galván-Piña V. H.        | 207    |
| Alejo-Plata M. del C.  | 27  | Gárate-Lizárraga I.      | 1      |
| Alvarado-Arcia A.      | 191 | García-Caudillo J. M.    | 121    |
| Álvarez-Hernández S.   | 153 | García-Córdova E. A.     | 61     |
| Ardisson P. L.         | 61  | García-Ortiz A. A.       | 81     |
| Balmori-Ramírez A.     | 121 | García-Ulloa M.          | 95     |
| Barreto-García O. A.   | 107 | Garita-Alvarado, C. A.   | 211    |
| Barba-Macías E.        | 191 | Gazca-Castro M.          | 153    |
| Bojorge-García M. G.   | 211 | Gómez Luna L. M.         | 71     |
| Campos-Gilón A.        | 51  | Góngora-Gómez A. M.      | 95     |
| Can-Chulim A.          | 107 | Guevara-Gutiérrez R. D.  | 107    |
| Cantoral Uriza E. A.   | 211 | Hernández-Vargas O.      | 107    |
| Castañeda-Hidalgo E.   | 81  | Herrera-Dorantes M. T.   | 61     |
| Cervantes-Urieta V. A. | 1   | Herrera-Silveira J. A.   | 1      |
| Coral, L. Gómez P.     | 51  | Huerta-Quintanilla D. A. | 1      |
| Cruz-Escalona V. H.    | 133 | Ibáñez A. L.             | 13-133 |
| Cruz-Crespo E.         | 107 | Khalil-Gardezi A.        | 107    |
| Cruz-Trejo G.          | 1   | Laaouar H.               | 179    |
| Chávez-López R.        | 145 | López Del Castillo P.    | 71     |
| Cházaro-Olvera S.      | 145 | López Iborra G. M.       | 71     |
| Dab H.                 | 179 | Lozano-Trejo S.          | 81     |
| Daza-Ordoñez A.        | 51  | Luna-Fletes J. A.        | 107    |
| Del Moral-Flores L. F. | 207 | Mancilla-Villa O. R.     | 107    |
| Díaz-Ruiz S.           | 153 | Martínez-Bravo I.        | 27     |
| Díaz-Zorrilla G. O.    | 81  | Martínez Cruz P.         | 13     |
| Durán-Riveroll L. M.   | 1   | Martínez-Jerónimo F. F.  | 35     |
| Elebdelli K.           | 179 | Martínez-Magaña V. H.    | 27     |
| Fernández-Álamo M. A.  | 167 | Martínez-Salinas R.      | 191    |

|                           |     |                       |     |
|---------------------------|-----|-----------------------|-----|
| May-Kú M. A.              | 61  | Pérez-Munguía R. M.   | 81  |
| Maya P. E.                | 13  | Ramírez-Isoba C.      | 145 |
| Mendoza-Saldívar I.       | 107 | Ramírez-Romero J. M.  | 107 |
| Merino-Virgilio F. del C. | 1   | Ramírez-Saad H.       | 13  |
| Molina-León I.            | 81  | Roa-Venicio M.        | 167 |
| Montoya Mendoza J.        | 145 | Rojas-González R. I.  | 27  |
| Monroy H. O.              | 13  | Rodríguez-Estrada J.  | 35  |
| Morales-Azpeitia R.       | 121 | Ruiz-Rosas T.         | 207 |
| Morales-López J.          | 191 | Sánchez-Cárdenas R.   | 95  |
| Morán-Silva Á.            | 145 | Sepúlveda C. H.       | 95  |
| Olguín-López J. L.        | 107 | Sierra-Gaviria E.     | 51  |
| Ortega-Escobar H. M.      | 107 | Sotelo-Gonzalez M. I. | 95  |
| Osuna-Martínez C. C.      | 95  | Steidinger† K. A.     | 1   |
| Okolodkov, Y. B.          | 1   | Tlahig S.             | 179 |
| Pacheco E.                | 133 | Torres-Dosal A.       | 191 |
| Palomera-García C.        | 107 | Villafaña-Castillo F. | 107 |
| Peters J. G.              | 71  | Zazueta-Niebla E. H.  | 207 |

# HIDROBIOLÓGICA

Revista del Departamento de Hidrobiología

VOLUMEN 34

Número 3

2024

---

**Cházaro-Olvera, S., J. Montoya Mendoza, Á. Morán-Silva, R. Chávez-López and C. Ramírez-Isoba**  
Caridea postlarvae (Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Jamapa River, Veracruz,  
SW Gulf of Mexico 145-152

---

**Gazca-Castro, M., A. Aguirre-León, S. Díaz-Ruiz y Sergio Álvarez-Hernández**  
El ambiente como factor que estructura la comunidad de peces del sistema fluvio-lagunar  
Pom-Atasta, Campeche, México 153-166

---

**Roa-Venicio, M. y M. A. Fernández-Álamo**  
Diversidad de medusas (Cnidaria: Medusozoa) en Bahía de Banderas, México  
y registros nuevos 167-178

---

**Tlahig , S., H. Dab, K. Elebdelli and H. Laouar**  
Attempting to Optimize Nile Tilapia Growth Using Indigenous Crop-Based Feeds in Cooled  
Geothermal Groundwater Breeding Systems for Sustainable Aquaculture 179-190

---

**Alvarado-Arcia, A., R. Martínez-Salinas, E. Barba-Macías, J. Morales-López y A. Torres-Dosal**  
Metales pesados en músculo de *Pterygoplichthys pardalis* y especies acompañantes  
en Pantanos de Centla, Tabasco, México 191-206

---

## NOTAS CIENTÍFICAS

**Del Moral-Flores, L. F., V. H. Galván-Piña, T. Ruiz-Rosas y E. H. Zazueta-Niebla**  
Registro más septentrional de la Raya áspera del Pacífico, *Styracura pacifica*  
(Beebe & Tee-Van 1941) (Myliobatiformes: Potamotrygonidae) en las costas  
del Pacífico mexicano 207-210

---

**Garita-Alvarado, C. A., M. G. Bojorge-García and E. A. Cantoral Uriza**  
Is *Blixaea quinquecornis* (Dinoflagellata: Peridiniales) a species complex? 211-215

---

**Índice de volumen 34** 217-218

---

**Índice de autores** 219-220

---