

# HIDROBIOLÓGICA

VOLUMEN 30  
Número 3, 2020



Casa abierta al tiempo  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
Unidad Iztapalapa



Septiembre-Diciembre de 2020



# HIDROBIOLÓGICA

Revista del Departamento de Hidrobiología

VOLUMEN 30

Número 3

2020

---

**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. 30 Año 2020, Número 3, septiembre-diciembre de 2020, 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 Av. San Rafael Atlixco, No. 186, Colonia Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09340, 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. 04-2010-072711181500-203.

ISSN para revista electrónica: 2448-7333, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización del número: Dra. Ma. del Rocío Torres Alvarado, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco, No. 186, Colonia Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09340, México, Ciudad de México.

Fecha de última modificación: 30 de diciembre de 2020. 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. Francisco F. Pedroche**

Área de Ciencias Ambientales

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma (UAML)

Estado de México, México

**Dr. Luis Manuel Guevara Chumacero**

Área de Zoología. Depto. de Biología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

### **ÁREA DE MANEJO DE RECURSOS ACUÁTICOS**

**Dra. Ana Laura Ibañez Aguirre**

Área de Producción Acuática. Depto. de Hidrobiología

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 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

**Dr. Francisco José Gutiérrez Mendieta**

Área de Ecosistemas Costeros. 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. Ramón Andrés López Pérez**

Área de Ecosistemas Costeros. Depto. de Hidrobiología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX, México

**Dr. Enrique A. Cantoral Uriza**

Área de Ecología Acuática y Algas. Facultad de Ciencias

Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad

Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UNAM)

Querétaro, México



## CONSEJO EDITORIAL

**Dr. Saúl Álvarez Borrego**  
Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada (CICESE)  
Ensenada, México.

**Dr. Luis S. Álvarez-Lajonchère**  
Grupo Picimar,  
La Habana, Cuba.

**Dra. Guadalupe Judith De la Lanza Espino**  
Instituto de Biología, UNAM  
CDMX, México.

**Dr. Alfonso Vázquez Botello**  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM  
CDMX, México.

**Dr. Gerald J. Bakus**  
Allan Hancock Foundation  
University of Southern California  
California, USA.

**Dr. Luis Fernando Bückle Ramírez**  
Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada (CICESE)  
Ensenada, México.

**Dr. Carlos Cáceres Martínez**  
Universidad Autónoma de Baja California Sur  
La Paz, México.

**Dr. Roberto Civera Cerecedo**  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste  
La Paz, México.

**Dra. Laura Dávalos Lind**  
Baylor University, Texas  
Texas, USA.

**Dr. Enrique Reyes**  
East Carolina University  
North Carolina, USA.

**Dr. Fernando Díaz Herrera**  
Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada (CICESE)  
Ensenada, México.

**Dra. Martha E. Ferrario**  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo La Plata  
La Plata, Argentina.

**Dr. Francisco J. García de León**  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste  
La Paz, México.

**Dr. Efraín Abraham Gutiérrez Galindo**  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Ensenada, México.

**Dr. Jordi Leonart Aliberas**  
Institut de Ciències del Mar  
Barcelona, España.

**Dr. Fabio Massa**  
Experto FAO  
Roma, Italia.

**Dr. Alejandro Toledo Ocampo**  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
CDMX, México.

**Dr. José Vinicio Macías Zamora**  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Ensenada, México.

**Dra. Marisa Mazari Hiriart**  
Instituto de Ecología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
CDMX, México.

**Dr. Juan José Morrone Lupi**  
Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
CDMX, México.

**Dr. Federico Páez Osuna**  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
Mazatlán, México.

**Dra. Gabriela Parra Olea**  
Instituto de Biología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
CDMX, México.

**Dra. Dolores Planas**  
Département des Sciences Biologiques  
Université du Québec à Montréal  
Québec, Canadá.

**Dr. Víctor H. Rivera Monroy**  
Department of Oceanography and Coastal Sciences  
Louisiana State University  
Louisiana, USA.

**Dr. Gilbert T. Rowe**  
Texas A&M University  
Texas, USA.

**Dr. Michael J. Smith**  
Simon Fraser University  
Vancouver, Canadá.

**Dra. Mutue Toyota Fujii**  
Instituto de Botânica São Paulo  
São Paulo, Brasil.

**Dr. Martin F. Wojciechowski**  
Arizona State University  
Arizona, USA.

**Dr. Giuseppe C. Zuccarello**  
Victoria University of Wellington  
Wellington, Nueva Zelanda.

# HIDROBIOLÓGICA

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

ÍNDICE AL VOLUMEN 30, NÚMERO 3 • 2020

---

**Vargas-Porras, L., G. Ramírez-Moreno, E. Hernández-Atilano y J. O. Rangel-Ch**

Algas perifíticas en cuatro fuentes hídricas con diferente temporalidad post aprovechamiento minero a cielo abierto en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia ..... 189-202

**Hurtado-Borrero, Y., G. Pinilla-A y C. E. Tamaris-Turizo**

Relaciones talla-peso seco de ninfas de *Anacroneuria caraca* Stark, 1995 y *A. marta* Zúñiga & Stark, 2002 (Plecoptera: Perlidae) de un río neotropical de montaña... 203-209

**Herrera-Barrientos, J., H. J. Peinado-Guevara, J. de J. Campos-Gaxiola, A. Cruz-Enriquez, V. M. Peinado-Guevara, M. de los Á. Ladrón de Guevara-Torres, S. I. Belmonte-Jiménez y L. E. Herrera**

Determinación de la transmisibilidad hidráulica en un acuífero costero mediante estimación óptima de la relación Qe-T usando el filtro de Kalman ..... 211-219

**Ahuatzin-Hernández, J. M., J. A. Canul-Cabrera, C. M. Eúan-Canul y L. V. León-Deniz**

Hidromedusas (Cnidaria: Hydrozoa) de la laguna costera de Bocas de Dzilam, Yucatán ..... 221-231

**Cházaro-Olvera, S., Á. Morán-Silva, R. Chávez-López, H. Vázquez-López y A. del C. Rodríguez-Varela**

Densidad de mysis de *Penaeus aztecus* Ives, 1891 en un arrecife del suroeste del Golfo de México..... 233-242

**Lozano-Guzmán, R. I., J. H. Rodríguez-Castro, L. Barrientos-Lozano, C. S. Venegas-Barrera, A. Correa-Gutiérrez y A. Correa-Sandoval**

Nuevos registros de moluscos (Gastropoda, Bivalvia) de la isla de Cozumel, Quintana Roo, México ..... 243-250

**Mazón-Paredes, E., M. Herrera-Rodríguez, M. Mazón-Paredes, A. García-Martínez, C. Mazón-Paredes y J. L. Guzmán-Guerrero**

Rendimiento productivo de la vieja colorada (*Mesoheros festae*) alimentada con dietas basadas en torta de palmiste durante la etapa juvenil..... 251-258

**Jiménez-Reyes, S., E. Pacheco-Almánzar y A. L. Ibáñez**

La utilidad de la forma del hueso urohial en la discriminación de especies congéneres  
y poblaciones locales de Peces: Mugilidae .....259-267

**Hernández-Aguilar, S. B., L. A. Abitia-Cárdenas, X. G. Moreno-Sánchez, V. H. Cruz-Escalona,  
M. Villalejo-Fuerte, M. Arellano-Martínez y B. P. Ceballos-Vázquez**

Biología reproductiva del pez vela *Istiophorus platypterus* en la Bahía de Acapulco, México .....269-280

**Bravo-Muñoz, R. A., R. Pliego-Cárdenas y M. Sánchez-Ramírez**

Catálogo de calamares de la Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos de la Escuela Nacional  
de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB) .....281-290

**Índice del volumen 30**.....291-292

**Índice de autores** .....293-294

# HIDROBIOLÓGICA

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

VOLUME INDEX 30, NUMBER 3 • 2020

---

**Vargas-Porras, L., G. Ramírez-Moreno, E. Hernández-Atilano and J. O. Rangel-Ch**

Periphytic algae in four water source with different temporality post use to open pit mining in Jigualito,  
Condoto, Chocó, Colombia ..... 189-202

**Hurtado-Borrero, Y., G. Pinilla-A and C. E. Tamaris-Turizo**

Relations length-dry weight of nymphs *Anacroneuria caraca* Stark, 1995 and *A. marta* Zúñiga & Stark, 2002  
(Plecoptera:Perlidae) from a neotropical mountain river.....203-209

**Herrera-Barrientos, J., H. J. Peinado-Guevara, J. de J. Campos-Gaxiola, A. Cruz-Enriquez,  
V. M. Peinado-Guevara, M. de los Á. Ladrón de Guevara-Torres, S. I. Belmonte-Jiménez  
and L. E. Herrera**

Determination of hydraulic transmissivity in coastal aquifer by optimal estimation of the Qe-T relationship  
using Kalman filter .....211-219

**Ahuatzin-Hernández, J. M., J. A. Canul-Cabrera, C. M. Eúan-Canul and L. V. León-Deniz**

Hydromedusae (Cnidaria: Hydrozoa) from the coastal lagoon of Bocas de Dzilam, Yucatán .....221-231

**Cházaro-Olvera, S., Á. Morán-Silva, R. Chávez-López, H. Vázquez-López  
and A. del C. Rodríguez-Varela**

Density of mysis of *Penaeus aztecus* Ives, 1891 on a reef in the Southwest of the Gulf of Mexico .....233-242

**Lozano-Guzmán, R. I., J. H. Rodríguez-Castro, L. Barrientos-Lozano, C. S. Venegas-Barrera,  
A. Correa-Gutiérrez and A. Correa-Sandoval**

New records of mollusks (Gastropoda, Bivalvia) from the island of Cozumel, Quintana Roo, Mexico.....243-250

**Mazón-Paredes, E., M. Herrera-Rodríguez, M. Mazón-Paredes, A. García-Martínez,  
C. Mazón-Paredes and J. L. Guzmán-Guerrero**

Productive performance of the Guayas cichlid (*Mesoheros festae*) fed palm meal based diets during  
the juvenile stage .....251-258

**Jiménez-Reyes, S., E. Pacheco-Almánzar and A. L. Ibáñez**

The utility of urohial shape in the discrimination of Pisces: Mugilidae species and local populations .....259-267

**Hernández-Aguilar, S. B., L. A. Abitia-Cárdenas, X. G. Moreno-Sánchez, V. H. Cruz-Escalona,  
M. Villalejo-Fuerte, M. Arellano-Martínez and B. P. Ceballos-Vázquez**

Reproductive biology of the sailfish *Istiophorus platypterus* in the Acapulco Bay, Mexico .....269-280

**Bravo-Muñoz, R. A., R. Pliego-Cárdenas and M. Sánchez-Ramírez**

An annotated catalogue of squids of the Coleccion de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos  
of the Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB) .....281-290

**Volume 30 index**.....291-292

**Authors index** .....293-294

## Algas perifíticas en cuatro fuentes hídricas con diferente temporalidad post aprovechamiento minero a cielo abierto en Jigalito, Condoto, Chocó, Colombia

### Periphytic algae in four water source with different temporality post use to open pit mining in Jigalito, Condoto, Chocó, Colombia

Lady Vargas-Porras<sup>1\*</sup>, Giovanni Ramírez-Moreno<sup>2</sup>, Esnedý Hernández-Atilano<sup>3</sup> y J. Orlando Rangel-Ch<sup>4</sup>

Recibido: 25 de mayo de 2018.

Aceptado: 25 de octubre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** La minería ilegal a cielo abierto es una de las actividades que más afecta los ecosistemas hídricos en Colombia y específicamente en Chocó (Jigalito, Condoto), generando cambios fisicoquímicos y biológicos aún desconocidos. **Objetivos:** Evaluar el comportamiento fisicoquímico del disturbio y la respuesta de la fracción perifítica en fuentes hídricas afectadas por minería. **Métodos:** Se realizaron mediciones *in situ* de variables fisicoquímicas y determinación de riqueza, diversidad y densidad de algas perifíticas en tres fuentes hídricas con diferente temporalidad de cese minero (minería actual, 5-10 y 30 años) y una fuente de referencia. **Resultados:** La minería tiene un efecto marcado en la concentración de nutrientes, material sólido suspendido y la temperatura, presentando un patrón de reducción desde estaciones con intervención actual hasta con 30 años de abandono. Se registraron 120 especies, 80 géneros, 51 familias, 34 órdenes y 13 divisiones, predominando *Frustulia romboides*, *Eunotia aff. minor*, *Ulothrix* sp. y *Frustulia* sp1. La minería reduce más del 50% de la riqueza (35) y la diversidad (1.5) de algas perifíticas con relación a estaciones sin intervención (72 y 3.3, respectivamente) y aunque durante los primeros 5 a 10 años de abandono, se inicia un proceso de restablecimiento (riqueza 49, diversidad 2.0), los efectos del disturbio se perciben aún a los 30 años de cese minero, donde a pesar del aumento en la riqueza (78), la diversidad no alcanzó el nivel inicial (2.7). **Conclusiones:** La recuperación post aprovechamiento minero es de largo alcance, dada la ruptura en la estabilidad de los procesos fisicoquímicos y biológicos que produce la actividad en los sistemas hídricos naturales.

**Palabras clave:** diatomeas perifíticas, disturbio minero, diversidad de algas, minería de oro, recuperación hídrica

#### ABSTRACT

**Background:** Illegal open pit mining is one of the activities that most affects water ecosystems in Colombia and the Chocó (Jigalito, Condoto), generating physical and chemical changes that are still unknown. **Goals:** To evaluate the physicochemical behavior of the disturbance and the response of the peripheral fraction in water sources affected by mining. **Methods:** *In situ* measurements of physicochemical variables and determination of the richness, diversity and density of periphytic algae were made in three water sources with different temporality of mining cessation (current mining, 5-10 and 30 years) and a reference source. **Results:** Mining has a marked effect on the concentration of nutrients, suspended solid material and temperature, presenting a reduction pattern from current intervention scenarios to 30 years of abandonment. There were registered 120 species, 80 genera, 51 families, 34 orders and 13 divisions, predominating *Frustulia romboides*, *Eunotia aff. minor*, *Ulothrix* sp. and *Frustulia* sp1. Mining reduces more than 50% of the wealth (35) and diversity (1.5) of periphytic algae in relation to non-intervention scenarios (72, and 3.3, respectively) and although during the first 5 to 10 years of abandonment, a process of restoration (wealth 49, diversity 2.0), the effects of the disturbance are perceived after 30 years of mining cessation, where despite the increase in wealth (78), diversity does not reach the initial level (2.7). **Conclusions:** The recovery after mining exploitation is far-reaching, given the break in the stability of physical and chemical processes that produces activity in natural water systems.

**Keywords:** diatomaceous periphyton, gold mining, mining disturbance, river restoration, diversity in algae species

<sup>1</sup> Componente Ambiental, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico. Carrera 6 37-39 Huapango, Quibdó, 270001. Colombia

<sup>2</sup> Subdirección de Investigaciones, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, Colombia, Componente Ambiental. Carrera 6 37-39 Huapango, Quibdó, 270001. Colombia

<sup>3</sup> Grupo de Ecología Aplicada, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. Calle 67 53-108, Medellín, 050001. Colombia

<sup>4</sup> Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Carrera 45 26-85. Apartado 7495, Bogotá D. C., 110111. Colombia

#### \*Corresponding author:

Lady Vargas-Porras: e-mail: lvargas@iiaip.org.co

#### To quote as:

Vargas-Porras, L., G. Ramírez-Moreno, E. Hernández-Atilano & J. O. Rangel-Ch. 2020. Algas perifíticas en cuatro fuentes hídricas con diferente temporalidad post aprovechamiento minero a cielo abierto en Jigalito, Condoto, Chocó, Colombia. *Hidrobiológica* 30 (3): 189-202.



## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas hídricos son dinámicos y soportan una gran diversidad biológica que se articula en una estructura trófica y en ella los productores primarios son los vértices iniciales, que involucran la incorporación de carbono en la transformación de energía. En consecuencia, el estado, distribución y comportamiento de dichos productores primarios, entre los que se encuentran las algas perifíticas, resulta importante para analizar las condiciones ambientales y ecológicas del entorno acuático, ya que pueden aportar información que permita inferir sobre el estado de las dinámicas biológicas, la ecología, la productividad y el nivel de intervención de un cuerpo de agua entre otros aspectos. De otro lado, la actividad minera desarrollada en Condoto-Chocó, Colombia, constituye uno de los principales agentes de afectación de los ecosistemas hídricos, teniendo en cuenta que dicha actividad es realizada a cielo abierto empleando maquinaria para remover el material del suelo, desviar cauces hídricos y utilizarlos como fuente de abastecimiento de agua y sitio de disposición final de los residuos del proceso, los cuales incluyen grandes cantidades de sedimentos, contaminantes químicos, metales, grasas y aceites; que son vertidos directamente, ocasionando la alteración de las características fisicoquímicas del agua y la degradación del ambiente, lo cual tiene un efecto en las algas perifíticas como lo han afirmado algunos autores como Martínez & Donato (2003), Díaz & Rivera (2004), Hernández *et al.* (2011), Zapata-Anzola & Donato-Rondon (2005), Ramírez & Plata-Díaz (2008), Rivera-Rondón & Donato (2008) y Montoya-Moreno & Aguirre-Ramírez (2008) entre otros, que han utilizado este grupo biológico para evaluar el nivel de afectación y la respuesta de los ecosistemas hídricos frente a distintos disturbios antrópicos.

Sin embargo, a pesar de los numerosos registros de estudios del uso de grupos específicos de algas como indicadores del estado de ecosistemas hídricos intervenidos por el hombre, es escasa la información en la cual se utiliza la comunidad algal y su estructura comunitaria para evaluar las alteraciones ocasionadas por la minería de oro a cielo abierto en el departamento del Chocó, donde las fuentes hídricas tienen una importancia que va más allá de la disponibilidad de agua únicamente para consumo, dado que brindan múltiples servicios ecosistémicos que incluyen el hábitat de una gran diversidad de especies que garantizan su seguridad alimentaria y la conexión biológica entre distintos ambientes, funcionalidad que se ha perdido como resultado de su transformación en ríos de lodo por acción de la minería. Esta situación se agrava no solo con la importancia ambiental que tiene el territorio que ha sido considerado como uno de los sitios con mayor biodiversidad a nivel mundial y neotropical (Rangel-Ch, 2004), donde la diversidad biológica está aún inexplorada y más en grupos como las algas perifíticas, sino que a esto se suman las dificultades de control por parte de las autoridades ambientales debido a la cultura de ilegalidad de esta actividad y la importancia de la minería como motor de desarrollo económico a nivel nacional y regional, lo que genera además su permanencia y la de sus impactos, los cuales actualmente presentan una problemática ambiental, social y de salud crítica en torno al recurso hídrico.

Teniendo en cuenta esta problemática y el vacío de información sobre los efectos del disturbio minero en el medio y la comunidad de algas perifíticas, su comportamiento en el tiempo, espacio y la información que aportan acerca del proceso de resiliencia de los ecosistemas hídricos, que son de gran importancia para el desarrollo de la región, la presente investigación busca responder a la pregunta ¿cómo cambia

la riqueza, densidad y diversidad de las algas perifíticas en fuentes hídricas afectadas por minería a cielo abierto con diferentes tiempos de abandono en Jigualito, Condoto, Chocó?, con lo cual se se espera generar información que dé cuenta del grado de afectación de las fuentes hídricas ante el impacto, así como el comportamiento de la fracción perifítica a estas intervenciones, permitiendo evaluar de manera dinámica la perturbación minera a nivel ecológico y la potencial recuperación en el tiempo de los cuerpos de agua intervenidos, información que servirá como base para la toma de decisiones encaminadas a restauración y bioindicación en áreas que presenten este tipo de disturbio, considerando la relevancia del tipo de ecosistemas para el desarrollo económico y sociocultural de las comunidades del departamento del Chocó y la predominancia de la minería a cielo abierto e ilegal como una de las principales actividades productivas en el territorio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El estudio se realizó en el Distrito Minero del San Juan, puntualmente en el corregimiento de Jigualito (74 msnm), perteneciente al municipio de Condoto, Chocó y en la cabecera municipal de Cértegui, Chocó, Colombia (Fig. 1). Ambos se ubican en una zona que se caracteriza por representar un bosque pluvial tropical, donde la precipitación anual oscila entre 4,000 y 10,000 mm, la temperatura promedio es de 26°C y la humedad relativa supera el 80% (Poveda-M *et al.*, 2004). El territorio se encuentra en la zona de calmas ecuatoriales, así mismo está sometido a un régimen de lluvias muy intenso, por su ubicación, se le cataloga como “selva umbrófila-siempre verde”, con predominancia de baja altitud y bosque aluvial (IGAC & MMA, 2000) y con relativa intervención “mosaico antrópico”. El paisaje de la zona se ubica en el nivel de llanura aluvial meándrica (aluvial y fluvio-volcánica). Las principales actividades económicas de esta zona del departamento son la minería, la pesca, la agricultura a baja escala de maíz, arroz, yuca y frutales y el comercio.

**Métodos.** Se seleccionaron cuatro fuentes hídricas que permitieron la identificación de diferentes estaciones de muestreo con distintos tiempos de cese del disturbio. La primera correspondió a una fuente hídrica sin intervención minera, la segunda presentó entre 5 y 10 años de haber cesado la actividad, la tercera contó con más de 30 años de abandono de la actividad y la última presentó recepción actual de vertimientos mineros.

**Estaciones de muestreo.** Estación 0. Quebrada Pichirí: fuente hídrica sin intervención minera, localizada entre las coordenadas 5°1'N - 76°41' O y 5°01'N - 76°41' O, constituye la única fuente de la zona que no ha sido utilizada para la extracción de metales, presenta aguas corrientes y limpias con abundante vegetación ribereña. La cuenca tiene un área de 111.95 Ha (5.01 km<sup>2</sup>), una longitud de 1.97 km, ancho promedio de 0.57 km y se encuentra a 66-89 msnm.

Estación 1. Quebrada Sabaleta: fuente hídrica que presenta entre 5 y 10 años de haber cesado la actividad minera, ubicada entre 5°1'50 N - 76°41' O y 5°1'N - 76°41' O. Cuenta con cauce desviado e interrumpido en varios tramos que han sido convertidos en lagunas conectadas o desconectadas del cauce principal. Los distintos sectores presentan diferentes temporalidades de cese de intervención y variabilidad de condiciones físicas. Vegetación interrumpida en riberas que presentan procesos de sucesión temprana con predominio de Gramíneas y Cipe-

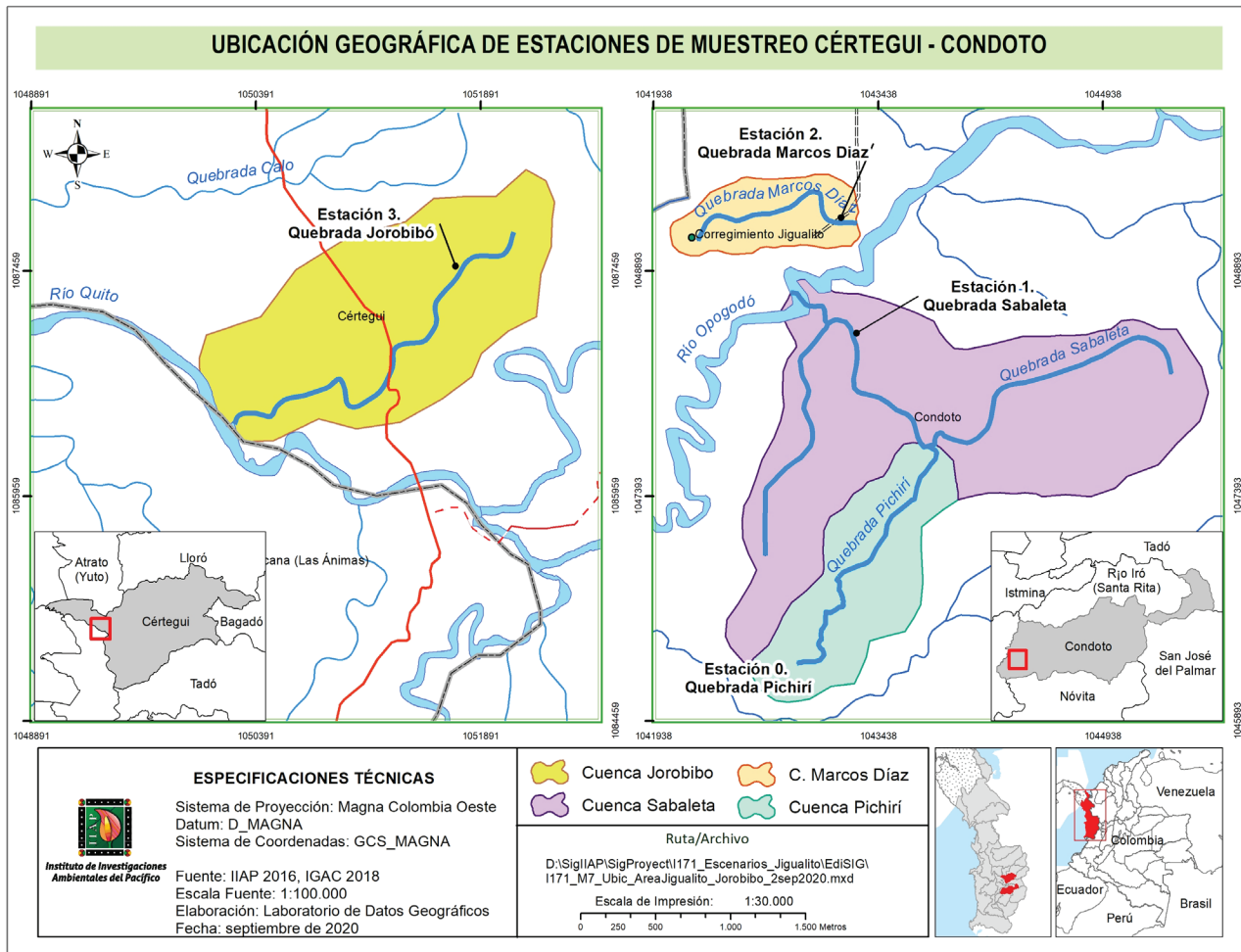


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en el Distrito Minero del San Juan, Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia

ráceas. La cuenca cuenta con un área de 457.11 Ha (10.48 km<sup>2</sup>), una longitud de 2.73 km, un ancho promedio de 1.26 km y 48-63 msnm.

Estación 2. Quebrada Marcos Díaz: fuente hídrica con más de 30 años de cese de la actividad minera, localizada en 5°2' N - 76°41'0" y 5°2' N - 76°41'0". Presenta cauce modificado e integrado por sectores naturales conectados con un canal artificial. Los sectores naturales presentan características lóxicas y el canal constituye un tramo con flujos muy lentos e inundables. Las riberas presentan vegetación interrumpida en estado de sucesión avanzada con predominio de diferentes especies de Gramíneas y Ciperáceas. La cuenca cuenta con un área de de 52.04 Ha (3.15 km<sup>2</sup>), una longitud de 1.24 km, un ancho promedio de 0.42 km y 56-59 msnm.

Estación 3. Quebrada Jorobibó: fuente hídrica con recepción actual de vertimientos de minería mecanizada con retroexcavadora en combinación con minería artesanal en algunos tramos, se localiza entre los 5° 22' N - 76° 36' 0" y 5° 22' N - 76° 36' 0", presenta desviación del cauce y vegetación interrumpida en las riberas con predominio de algunas Gramíneas Ciperáceas y Aráceas. La cuenca cuenta con un área de de

246.27 Ha (2.6 km<sup>2</sup>), una longitud de 2.58 km, un ancho promedio de 0.95 km y 90-99 msnm.

En cada estación se establecieron dos puntos de muestreo ubicados aguas arriba y aguas debajo de la fuente los cuales corresponden al factor de análisis Sitio. Se realizaron cuatro muestreos, tres durante la época de altas lluvias (mayo y agosto) y un muestreo en época de bajas lluvias (octubre) (Guzmán *et al.*, 2014). Por campaña de muestreo se tomaron dos muestras por estación para los análisis biológicos, para un total de 16 por muestreo. En cada estación se determinó el ancho y la profundidad media con una cinta métrica, el caudal y la velocidad utilizando un caudalímetro y se midió temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad, sólidos disueltos (TDS) y turbiedad en el agua, mediante el uso de una sonda multiparamétrica YSI Profesional Plus Quick 1700/1725. Así mismo, se determinaron las concentraciones de nutrientes (nitratos, nitritos y fosfatos) y sólidos suspendidos (SS) utilizando un Colorímetro portátil HACH DR 900. Para efectuar la toma de muestras ficoperifíticas en cada uno de los puntos de muestreo, se utilizaron cepillos plásticos para realizar la remoción del material

adherido a sustratos (piedras, troncos, hojarasca) inmersos en el lecho de la corriente; como unidad de área se utilizó un cuadrante de 8 cm<sup>2</sup>, el cual se utilizó 30 veces al azar en cada punto de muestreo, obteniendo un área total de 240 cm<sup>2</sup> de raspado por estación. Posteriormente la muestra colectada fue fijada con una solución de lugol al 10% (0.5 ml por cada 100 ml de muestra) y fue transportada al laboratorio en envases plásticos opacos debidamente rotulados. Para la observación de las muestras ficoperifíticas se utilizó un microscopio invertido, provisto de una reglilla ocular y para el montaje de la muestra se utilizó la cámara de conteo Sedgwick-Rafter de 1 ml de capacidad, la cual es necesaria para efectuar comparaciones entre análisis cuantitativos (Wetzel & Likens, 1991). Para efectuar el conteo de algas perifíticas en la cámara se seleccionaron 30 campos de observación siguiendo un sistema de muestreo al azar (Uehlinger, 1964). El conteo se realizó con una magnificación total de 400X y la determinación taxonómica de las algas perifíticas se realizó como mínimo hasta la categoría taxonómica de género. La relación de la densidad de algas por unidad de área (cm<sup>2</sup>) fue obtenida por medio de una división entre el número de individuos totales cuantificados en la muestra sobre el área de muestreo considerada en cada sitio y momento de muestreo. Para el análisis de la información se realizó una exploración de los datos mediante estadística descriptiva, determinando las medidas de tendencia central (media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación) para cada variable fisicoquímica, para lo cual se utilizó el programa R 4.0.2. La dispersión de las variables fue analizada en histogramas usando como factores de análisis las estaciones y muestreos. Para determinar si los datos presentaban diferencias significativas entre factores de análisis (Estación, Sitio y Muestreo) y después de verificar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis. A partir de la estimación de la densidad de organismos/cm<sup>2</sup> se aplicaron los índices de diversidad (Shannon & Weaver, 1949) y el grado de dominancia de Simpson (Simpson, 1949). Se realizaron curvas comparando las especies observadas con las esperadas, utilizando el estimador de riqueza Chao 1 (Colwell, 2004). Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) para establecer la disposición de las estaciones en relación con la Riqueza, Diversidad, Abundancia y el estimador Chao1.

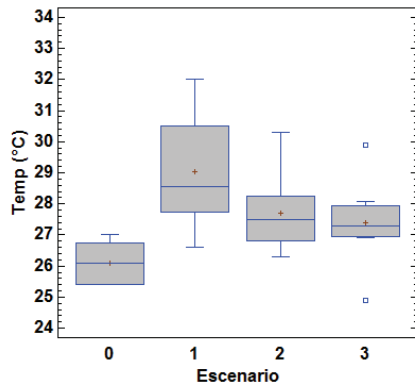
## RESULTADOS

**Características fisicoquímicas de las estaciones.** La caracterización fisicoquímica mostró que la estación E0 presenta condiciones típicas de ecosistemas hídricos naturales con bajo o nulo nivel de intervención antrópica, este comportamiento fue determinado por bajas concentraciones de material suspendido y disuelto (promedios de 1.2 FAU y 7.1 µs/cm), buenas condiciones de oxigenación (>4mg/l según Decreto 1594 de 1984), temperatura promedio de 26°C, pH ligeramente ácido a neutro y pocas variaciones en la concentración de nutrientes entre puntos y muestreos, evidenciando condiciones de estabilidad en el agua que favorecen el desarrollo de grupos biológicos. En contraste, la estación E1 (5 a 10 años de cese minero) presentó un incremento en las concentraciones de material disuelto y suspendido con relación a E0, lo cual tuvo un efecto directo en la turbiedad y conductividad del agua (hasta 83 FAU y 24 µs/cm). Aunque se registraron niveles de oxígeno y pH similares, así como baja concentración de nutrientes, esta estación se caracterizó por presentar temperaturas más altas (entre 26.6 - 32°C), debido a una mayor exposición a la radiación solar por la falta de cobertura vegetal como resultado del disturbio minero. Por su parte

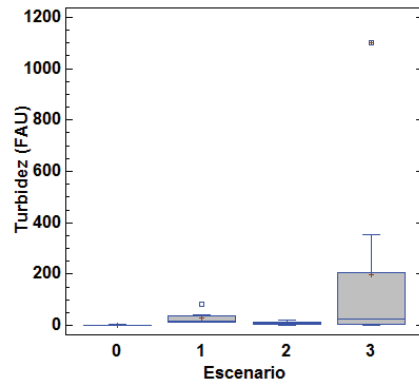
la estación E2 (30 años de cese minero) mostró bajas concentraciones de sólidos disueltos y suspendidos, correspondientes a aguas con poca turbidez y conductividad (promedios de 8,8 FAU y 23 µs/cm). Presentó una temperatura promedio de 27.7°C, además de una tendencia a la acidez (promedio pH 6.1), relacionadas con concentraciones considerables de nitratos y fosfatos, bajos niveles de oxígeno disuelto (<4mg/l en el 60% de los muestreos) y poca velocidad de flujo (0.17m/s en promedio) en zonas de cauce aplanadas por la maquinaria minera. Para el caso de la estación E3 (minería actual), se registraron condiciones de alteración evidenciadas en una alta concentración de sólidos suspendidos (hasta 1,067 mg/l), que se reflejaron en niveles de turbidez hasta de 1,100 FAU. Aunque se presentó una buena oxigenación y los sólidos disueltos mantuvieron concentraciones entre 3 y 7.8 mg/l, consecuentes con niveles de conductividad casi constantes entre 11 y 12 µs/cm, los nitratos presentaron su nivel máximo (35 mg/l) en esta estación, mostrando una marcada diferencia con el resto de las estaciones e indicando la existencia de aportes de origen antrópico (Fig.2).

**Composición taxonómica.** Las cuatro estaciones del estudio presentaron 120 especies pertenecientes a 80 géneros, 51 familias, 34 órdenes y 13 divisiones (Tabla 1). En las estaciones E2 (78 especies y 2,987 individuos) y E0 (73 especies y 3,962 individuos) se observaron las mayores riquezas y abundancias registradas para el estudio con un 65% y 54% del total de las especies e individuos de la comunidad de algas perifíticas. Las especies más representativas por sus abundancias fueron las diatomeas *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni, 1891, con 4,823 individuos y *Eunotia aff. minor* (Kützing) Grunow in Van Heurck, 1881, con 1,296 individuos, siendo estas dos especies las más dominantes, con el 48% de los individuos de la comunidad y una ocurrencia en el 100% de las estaciones. Los diferentes muestreos indican que los géneros mejor representados fueron las diatomeas *Eunotia* sp. y *Gomphonema* sp. con 18 y 6 especies, respectivamente, lo que corresponde al 20% de la riqueza del estudio. El 80% se encuentra distribuido en los 78 géneros restantes. El 55% de las especies pertenece a la división Bacillariophyta, el 22% a Chlorophyta, el 11% a Cyanophyta, mientras que divisiones como Ochrophyta, Euglenophyta, Rodophyta, Charophyta y Crysophyta presentaron menos del 3%. A nivel específico de las estaciones se observa una disminución de la composición taxonómica, a medida que disminuye el tiempo de abandono minero; siendo la estación E3 con minería actual el que registra la menor riqueza y abundancia en el estudio con 35 especies y 2,832 individuos; seguido de la estación E1 con 48 especies y 3,962 individuos.

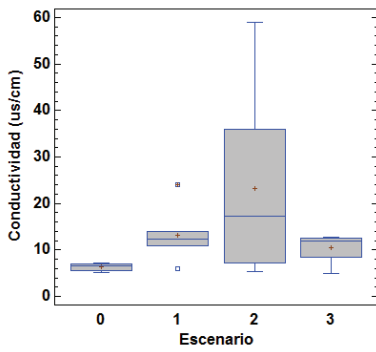
**Importancia ecológica de las especies.** Los valores de importancia ecológica de las algas perifíticas en las diferentes estaciones temporales de afectación minera, muestran que el 57% de la densidad de algas estuvo concentrada en sólo cuatro especies *Frustulia rhomboides* (37.5), *Eunotia aff. minor* (10.1), *Frustulia* sp.1 (4.98) y *Ulothrix* sp.(4.02). La frecuencia de especies de la comunidad de algas por estación fue alta, encontrando 35 especies (29%) de las 120, ocurriendo en la mitad de las estaciones; 17 (14%) especies en tres estaciones, 14 especies (12%) en todas las estaciones y 54 (45%) especies raras con presencia en una sola estación. Las especies con mayor valor del índice de valor de importancia para las cuatro estaciones, fueron *Frustulia rhomboides* (43.2), *Eunotia aff. minor* (12.8), *Ulothrix* sp. (8.99) y *Frustulia* sp.1 (7.01); estas cuatro especies no solo estuvieron entre las más frecuentes, apareciendo en todas las estaciones, sino que también fueron relevantes por sus altas densidades; concentrándose en éstas el



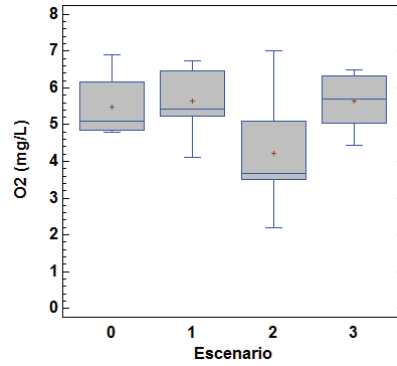
a)  
 Esc: K-W = 13,61 Valor- $p$ = 0.003  
 Mto: K-W = 5,47 Valor- $p$ = 0.140  
 Sitio: K-W = 0,99 Valor- $p$  = 0.317



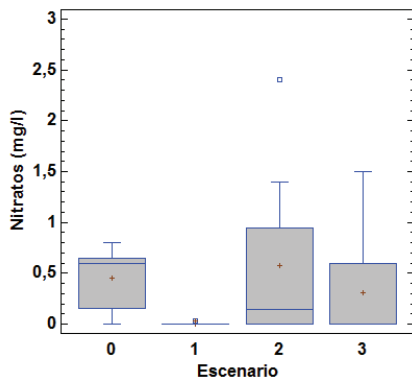
b)  
 Esc: K-W = 14,44 Valor- $p$  = 0.002  
 Mto: K-W = 2,42 Valor- $p$ = 0.490  
 Sitio: K-W = 0,93 Valor- $p$  = 0.335



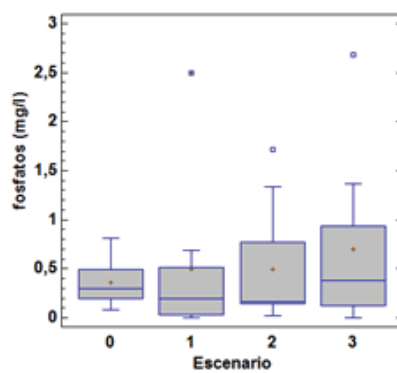
c)  
 Esc: K-W = 9,96 Valor- $p$ = 0.018  
 Mto: K-W = 0,47 Valor- $p$  = 0.924  
 Sitio: K-W = 2,22 Valor- $p$ = 0.136



d)  
 Esc: K-W = 6,15173 Valor- $p$ = 0.051  
 Mto: K-W = 3,84581 Valor- $p$  = 0.278  
 Sitio: K-W = 0,17228 Valor- $p$  = 0.678



e)  
 Esc: K-W = 8,36 Valor- $p$ = 0.038  
 Mto: K-W = 0,84 Valor- $p$ = 0.838  
 Sitio: K-W = 0,15 Valor- $p$  = 0.701



f)  
 Esc: K-W = 1,35 Valor- $P$  = 0.717  
 Mto: K-W = 3,35 Valor- $P$  = 0.340  
 Sitio: K-W = 1,46 Valor- $P$  = 0.227

Figura 2a-f. Esquemas de tendencia central y de dispersión de las variables hidráulicas y fisicoquímicas por estación o escenario; valores  $p$  de Kruskal-Wallis con un nivel de confianza del 95% teniendo en cuenta como factores de discriminación las estaciones (ESC), muestreos (MTO) y Sitios. Se muestra en cada caja el rango, la media, la mediana y los puntos atípicos. a) Temperatura del agua; b) Turbidez del agua; c) Conductividad; d) Oxígeno disuelto; e) Nitratos; f) Fosfatos.



72% del total, indicando que existe en estos ambientes un predominio de especies probablemente tolerantes a fluctuaciones ambientales.

**Distribución de densidades y riqueza numérica.** La densidad de algas perifíticas entre las estaciones y muestreos osciló entre 4.54 y 1,774.3 org/cm<sup>2</sup>. Los valores más bajos se presentaron en los muestreos realizados después del vertimiento minero en la estación E3 (minería actual) y los más altos se ubicaron en E1 (5 a 10 años de cese minero). La estación sin minería (E0) presentó una mayor estabilidad en los valores de densidad entre los 4 muestreos (472.7 y 880.9 org/cm<sup>2</sup>), mientras en E2 (30 años de cese minero) se obtuvo un rango más amplio de variación (70 y 570.3 org/cm<sup>2</sup>). Aunque la densidad tuvo su máximo pico (1,565 org/cm<sup>2</sup>) en el muestreo 3 de la estación con minería actual (E3), correspondiente al punto antes del vertimiento minero, la riqueza de especies registrada no presentó un incremento. En cuanto al número de especies por estación, se encontró que en las estaciones E0 y E2 se presentaron el mayor número de especies por muestreo con valores por encima de 20, seguido de E1 cuyo máximo valor alcanzó las 16 especies en dos de los muestreos, mientras que los valores más bajos correspondieron a la estación con minería actual donde el número de especies fue inferior a 11 en el 87% de los muestreos realizados (Fig. 3). Los resultados obtenidos muestran que la densidad de algas y el número de especies registradas se ve afectado por el disturbio y presenta cambios con relación a la temporalidad de cese minero, dado que las mayores densidades se presentan en la estación E1 (5 a 10 años de cese minero) y las menores corresponden a la estación con minería actual (E3). Las estaciones E0 (sin minería) y E2 (30 años de cese minero) presentaron densidades similares entre sí. En este mismo sentido, el aumento del número de especies encontradas tuvo relación directa con la temporalidad de operación minera, teniendo en cuenta que entre más reciente es el disturbio menor cantidad de especies se registraron. De este modo la estación con mayor número de especies encontradas correspondió a una estación con 30 años de cese minero E2 (78 especies), seguida de la estación E0 (sin minería) con 72 especies, la estación E1 (5 a 10 años de cese minero) con 48 especies y la estación de intervención actual E3 con 35 especies. A pesar de que las densidades en las estaciones intervenidas por minería presentan valores cercanos o por encima de la estación sin minería, el número de especies registrado para esta estación supera notablemente a aquellas con disturbio reciente.

**Componentes de diversidad.** La riqueza específica estuvo estrechamente relacionada con la temporalidad del disturbio minero, siendo la estación E2 (30 años post minería) quien reportó la riqueza específica más alta con 78 especies y un porcentaje del 91% de lo esperado según el estimador Chao 1 (Tabla 1). La estación sin minería registró

72 especies y un porcentaje de 97% según Chao 1; la diferencia entre estas estaciones puede estar dada por la permanencia de especies transitorias en la estación de 30 años, estas especies frecuentemente aprovechan las condiciones de modificación para prolongar sus estadios sucesionales. Para las dos estaciones restantes E1 y E3 (5 a 10 años post minería y actual), se presentaron las riquezas específicas más bajas del estudio con 49 especies (95% según Chao 1) y 35 especies (96% según Chao1), respectivamente (Tabla 1); esto pudo estar relacionado con los eventos sucesionales tempranos influenciados por el comportamiento cronológico del disturbio.

Los índices ecológicos para la comunidad de algas de las diferentes estaciones disturbadas por minería se relacionan en la Tabla 1. La diversidad estuvo representada mediante el índice de Shannon, que permitió establecer dos grupos marcados por valores altos y bajos de este indicador ecológico. Siendo las estaciones E0 y E2 con valores de 3.25 y 2.5 respectivamente los de mayor valor de diversidad; mientras que las estaciones E1 y E3 presentaron valores bajos de diversidad con 1.99 y 1.54, respectivamente. Este comportamiento general de la diversidad se vio influenciado de manera directa por el alto número de especies (120) e individuos (12,848), su relación con los diferentes procesos cronológicos sucesionales y de restauración pasiva que se desarrollan al interior de las fuentes hídricas disturbadas; al mismo tiempo, por la alta representatividad de especies como *Frustulia rhomboides*, *Eunotia aff. minor*, *Frustulia* sp.1 y *Ulothrix* sp, las cuales representaron más del 57% del total de los individuos encontrados. En términos de la dominancia de Simpson, la comunidad de algas perifíticas de las cuatro estaciones mostró un comportamiento similar (E0= 0.06, E2= 0.05, E3= 0.05), influenciado por el equilibrio de valores muy altos de pocas especies y valores muy bajos de abundancia de muchas especies, esta situación fue general para las estaciones, con una pequeña diferencia para la estación de cinco a diez años (E1= 0.1).

El estimador Chao 1 mostró que la riqueza observada fue muy alta para las cuatro estaciones, con un promedio de 95% del total de las especies esperadas por sitio. La estación con mayor número de especies encontradas según el estimador Chao 1 fue E0 (sin minería) con 72 especies de las 75 estimadas para un porcentaje de ocurrencia de 96%; seguido de la estación E3 (minería actual), que registró 35 especies observadas, de las 37 estimadas por Chao 1 para un porcentaje del 95%; la estación E1 presenta 49 especies y un 94% de presencia de las 52 especies estimadas por Chao 1 y por último el E2 que presentó 78 especies, el 91% de las 86 especies estimadas por Chao 1.

**Análisis de Componentes Principales.** El análisis agrupó las estaciones según los atributos de diversidad, abundancia, riqueza y el estima-

Tabla 1. Riqueza, estimador Chao1, porcentaje de especies de algas perifíticas encontradas, abundancia, índices de diversidad y dominancia por Estación, en la región de Jigalito, Condoto, Chocó.

Estaciones	Riqueza	Chao1	%	Abundancia	Diversidad (Shannon)	Dominancia (Simpson)
E0 (sin minería)	72	75	96	3.2	3.3	0.06
E1 (5 a 10 años post minería)	49	52	94	4.1	2	0.1
E2 (30 años post minería)	78	86	91	3.1	2.7	0.05
E3 (minería actual)	35	37	95	3	1.5	0.05

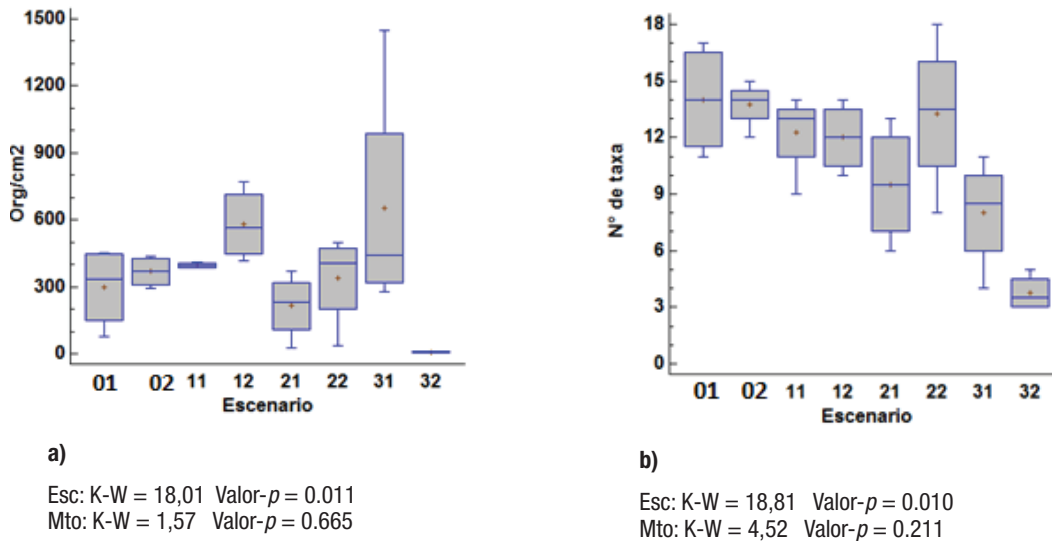


Figura 3a-b. Distribución de la densidad (a) y la riqueza (b) de algas perifíticas en cada sitio del escenario (aguas arriba y aguas abajo: número 1 y 2 al final de cada pareja numérica); valores  $p$  de Kruskal-Wallis con un nivel de confianza del 95% teniendo en cuenta como factores de discriminación los escenarios.

por Chao 1 en un componente que explicó el 99.8% de la relación entre estas variables (Fig. 4). Las estaciones E1 y E3 con disturbio minero más reciente (actual y 5 a 10 años de post minería) se agruparon junto con la abundancia de especies, mientras que las estaciones sin intervención o con mayor tiempo de cese minero (E0 y E2) se relacionaron con la diversidad, la riqueza y el estimador Chao 1, debido a que en ellas se presentaron los mayores valores para estos parámetros, sugiriendo que la temporalidad tiene un efecto en la resiliencia de los cuerpos de agua disturbados por la actividad minera y que estaciones con más de 30 años de restauración pasiva son más parecidas a ambientes naturales en cuanto a la riqueza de especies y a la distribución de las mismas en el ambiente. En contraste, aunque las estaciones de afectación reciente mantienen abundancias cercanas a los anteriores, presentan marcadas diferencias en la diversidad de algas perifíticas, evidenciando el impacto notable de la actividad minera sobre este atributo del ecosistema y los requerimientos y los considerables requerimientos temporales para su restablecimiento.

## DISCUSIÓN

La minería a cielo abierto realizada en Jigalito (Condoto) genera alteraciones en la calidad ambiental de las fuentes hídricas intervenidas y en el ensamblaje de las algas perifíticas que se desarrollan en su interior y que dependen de las condiciones del medio. Estas alteraciones se evidencian de manera específica en las características fisicoquímicas e hidráulicas de las fuentes y a nivel biológico en la riqueza y diversidad de las poblaciones. Aunque parte de estas condiciones presentan una dinámica temporal que tiende al restablecimiento, dado por la capacidad de resiliencia de estos ambientes luego del disturbio, lo cual se evidenció por la agrupación fisicoquímica y biológica de las estaciones sin minería y con 30 años post disturbio, los resultados sugieren que aún con dicha temporalidad este tipo de ambientes todavía se encuentran en proceso de recuperación y no han alcanzado la estabilidad de aquellos que no han sido intervenidos.

El análisis de las condiciones ambientales de las estaciones temporales de disturbio minero en las diferentes fuentes hídricas evaluadas, mostró que esta actividad tiene un efecto marcado en las variables fisicoquímicas relacionadas con la concentración de nitrógeno ( $\text{NO}_3$ ), la presencia de materiales suspendidos (SS, turbidez) y la temperatura del agua. De ahí que dichas variables presentaran las concentraciones más altas en las quebradas Jorobibó (E3) y Sabaleta (E1) que corresponden a fuentes hídricas con recepción actual de vertidos mineros y con cese reciente de la actividad, lo que está asociado con las técnicas de explotación minera empleadas en la zona, que según la UPME (2007) son realizadas sin prospección y con el uso de monitores y retroexcavadoras que además de talar los bosques, remueven y lavan las capas del suelo para extraer los metales, vierten los residuos del proceso de manera directa a las fuentes hídricas aportando con ello gran cantidad de sedimentos y materia orgánica que queda en suspensión incrementando la turbidez del agua.

Estos cambios tienen un efecto en la estructura de la comunidad de algas perifíticas, de ahí que a nivel biológico se pudo establecer que los escenarios temporales evaluados están dominados por diatomeas y algas verdes y que la composición mostró variaciones en función de la temporalidad de abandono minero y por ende una relación con el nivel de disturbio y el estado del hábitat. Aunque entre las cuatro estaciones se compartieron 14 especies, 17 estuvieron en tres estaciones y 35 en dos de ellas, el mayor número de especies (54) correspondieron a organismos particulares de una estación, evidenciando los cambios en la composición taxonómica de las algas con relación a la presencia de minería y al tiempo de su abandono. En este sentido, la mayor riqueza se concentró en la estación con 30 años post minería (78), seguido de la estación sin intervención (72) y la estación con 5 a 10 años de cese de la actividad (49), mientras que la riqueza más baja coincidió con el ecosistema actualmente intervenido con minería (35), lo que permite deducir que inmediatamente ocurre el disturbio hay una pérdida sustancial en la riqueza de algas perifíticas, lo que está relacionado con la degradación del hábitat en respuesta a la modificación de la



estructura del cauce que altera los sustratos y la velocidad del flujo y a la recepción de vertimientos que cambia las condiciones fisicoquímicas del recurso, incrementando principalmente la cantidad de sólidos suspendidos, la turbidez, los nutrientes y la temperatura como se evidenció en las estaciones de disturbio reciente (E1 y E3), lo cual concuerda con lo expresado por Stevenson *et al.* (1996), quienes explican que en los cuerpos de agua con perturbaciones físicas y químicas como el incremento de arrastre de sedimentos y de la velocidad del agua, las algas perifíticas reducen su desarrollo.

Con relación a lo anterior, se puede analizar que los vertimientos mineros están cargados de material litológico que es lavado con grandes cantidades de agua a presión para obtener los metales, lo que hace que sean muy abrasivos y que favorezcan el desprendimiento de las algas perifíticas menos resistentes e incluso de aquellas que están fuertemente adheridas al hábitat, de ahí que este tipo de disturbio pueda ocasionar un cambio en la composición taxonómica y la riqueza de las estaciones (Francoeur & Biggs-F, 2006; Bilotta & Brazier, 2008; Luce *et al.*, 2010). De igual manera, estos sedimentos pueden afectar la disponibilidad de luz, causando cambios en la temperatura, aumento en la turbidez y la disponibilidad de nutrientes, factores que también tienen una influencia en la comunidad (Henley *et al.*, 2000).

El comportamiento de la riqueza de especies en las estaciones muestra un patrón temporal que da cuenta de una aparente recuperación de la comunidad de algas perifíticas a medida que aumenta el tiempo de resiliencia de las estaciones, sin embargo el hecho asociado a que la estación con 30 años de cese minero supere la riqueza de la estación sin intervenir, podría indicar que dicho proceso se encuentra en desarrollo y que la diferencia puede estar dada por la permanencia de especies transitorias que frecuentemente aprovechan las condiciones de modificación para prolongar sus estadios sucesionales en la estación de 30 años. En cuanto a la importancia ecológica de las especies se encontró un predominio de la especie *Frustulia rhomboides* en todas las estaciones y muestreos, probablemente por su carácter cos-

mopolita y su tolerancia a fluctuaciones de conductividad, temperatura y concentración de nutrientes (Giorgio *et al.*, 2001; Trobajo *et al.*, 2002). También predominaron *Eunotia aff. minor*, *Ulothrix* sp. y *Frustulia* sp1.

La densidad y la abundancia no mostraron divergencias considerables entre las estaciones, sus valores fueron similares con una diferencia en la estación con 5 a 10 años de cese minero, en el cual se presentó los niveles más altos, situación que evidencia que la densidad y abundancia de algas permaneció casi constante entre las 4 estaciones pese a las marcadas diferencias en la riqueza, lo que puede ser explicado con los reportes de Lobo (1993) y Margalef (1983), quienes afirman que los ambientes intervenidos se caracterizan por presentar pocas especies con alta abundancia. Esto obedece a que sus condiciones extremas permiten el desarrollo de unas pocas especies que dominan debido a su capacidad de tolerancia a dichas condiciones. Lo que corrobora que el disturbio minero afecta la estructura del ensamblaje de algas perifíticas.

El valor del índice de diversidad de Shannon-Weaver mostró un patrón de incremento con el tiempo de cese de la minería y obtuvo su mayor valor en la estación donde no ha existido disturbio (E0), mostrando que al igual que la riqueza de especies se encuentra influenciado por las afectaciones ocasionadas por la minería y se ve favorecido con los procesos de resiliencia que probablemente inician cuando se detiene la intervención. Estos resultados pueden estar relacionados con el hecho de que a medida que pasa el tiempo, comienza el proceso de sucesión vegetal asociado a los cuerpos de agua disturbados, se sedimentan las partículas vertidas, se reconforma el nuevo cauce y sus sustratos, situaciones que en conjunto mejoran el flujo de agua y la entrada de nutrientes al sistema, lo que tiene un efecto en las condiciones del medio y en la estructura de la comunidad de algas perifíticas. Esto es corroborado por Reynolds (1984) y Donato (2002), quienes han indicado que la entrada de agua y de nutrientes, induce a una colonización de nuevas especies creándose espacios para el ingreso, crecimiento y desarrollo de la comunidad con especies pioneras, de vida corta y tasas

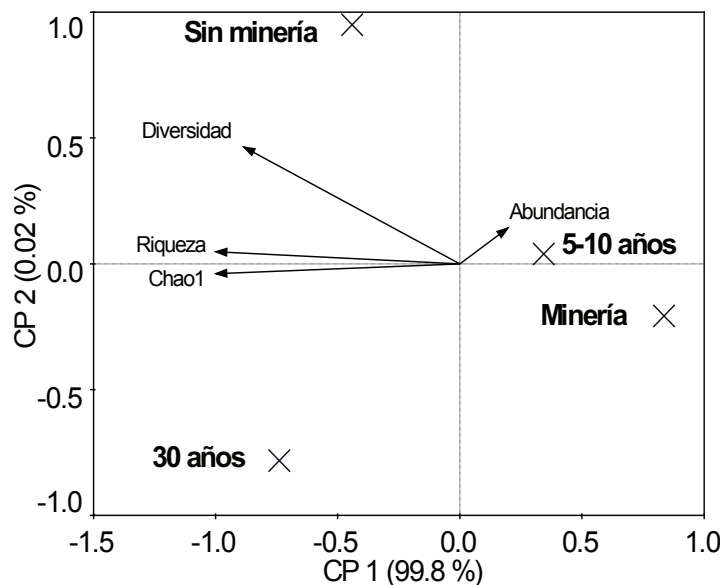


Figura 4. Análisis de componentes principales sobre disposición de los escenarios en relación con la Riqueza, Diversidad, Abundancia de algas perifíticas y el estimador Chao1.

Tabla 2. Composición taxonómica de algas perfiticas registradas en los 4 escenarios temporales de intervención minera en Jigualto (A: Abundancia, D: Densidad, DR: densidad relativa)

División	Clase	Orden	Familia	Género/Especie	A	D	DR
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Mitzschia</i>	33	37	0,26
				<i>Mitzschia sp1</i>			
				<i>Mitzschia sp2</i>	28	32	0,22
				<i>Achanthes sp</i>	97	110	0,75
				<i>Nupela sp</i>	14	16	0,11
				<i>Planothidium sp</i>	1	1	0,01
				<i>Achanthidium minutissimum</i>	9	10	0,07
				<i>Achanthidium sp</i>	62	70	0,48
				<i>Cymbella sp</i>	2	2	0,02
				<i>Encyonema sp</i>	78	88	0,61
				<i>Encyonema cf. lunatum</i>	9	10	0,07
				<i>Eunotia sp</i>	20	23	0,16
				<i>Eunotia aff. monodon</i>	2	2	0,02
				<i>Eunotia monodom</i>	1	1	0,01
				<i>Eunotia aff. serra 1</i>	2	2	0,02
				<i>Eunotia aff. serra 2</i>	12	14	0,09
				<i>Eunotia serra</i>	307	348	2,39
				<i>Eunotia bilunaris1</i>	112	127	0,87
				<i>Eunotia bilunaris 2</i>	43	49	0,33
<i>Eunotia cf. minor</i>	279	316	2,17				
<i>Eunotia aff. minor</i>	1296	1469	10,1				
<i>Eunotia alargada</i>	41	46	0,32				
<i>Eunotia brasiliensis</i>	30	34	0,23				
<i>Eunotia cf. glacialis</i>	23	26	0,18				
<i>Eunotia cf. pseudoserra</i>	7	8	0,05				
<i>Eunotia flexuosa</i>	5	6	0,04				
<i>Eunotia grande</i>	5	6	0,04				
<i>Eunotia naegueli</i>	3	3	0,02				
<i>Eunotia aff. camelus</i>	20	23	0,16				
<i>Actinella sp 1</i>	291	330	2,26				
<i>Actinella sp 2</i>	1	1	0,01				
<i>Actinella punctata</i>	5	6	0,04				

Tabla 2. Continúa.

División	Clase	Orden	Familia	Género/Especie	Género/Especie	A	D	DR
				<i>Frustulia</i>	<i>Frustulia rhomboides</i>	4823	5468	37,5
					<i>Frustulia</i> sp1	640	726	4,98
					<i>Frustulia</i> sp2	216	245	1,68
					<i>Gomphonema affine</i>	36	41	0,28
					<i>Gomphonema</i> aff. <i>archaebrio</i>	17	19	0,13
					<i>Gomphonema augur</i>	45	51	0,35
					<i>Gomphonema lagenula</i>	199	226	1,55
					<i>Gomphonema parvulum</i>	367	416	2,86
					<i>Gomphonema</i> sp	39	44	0,30
					<i>Navicula</i> sp1	69	78	0,54
					<i>Navicula</i> sp2	6	7	0,05
		Naviculales			<i>Navicula</i> sp3	1	1	0,01
					<i>Caloneis</i> sp	8	9	0,06
					<i>Pinnularia cf. viridis</i>	32	36	0,25
			Pinnulariaceae		<i>Pinnularia</i> sp	25	28	0,19
					<i>Stauroneis</i> sp 1	31	35	0,24
					<i>Stauroneis</i> sp 2	3	3	0,02
			Stauroneidaceae		<i>Capartograma crucicola</i>	15	17	0,12
					<i>Amphipleura</i> sp 1	162	184	1,26
					<i>Amphipleura</i> sp 2	7	8	0,05
					<i>Brachysira</i>	86	98	0,67
			Brachysiraceae		<i>Diadsmis</i> sp	2	2	0,02
			Diadsmiaceae		<i>Sellaphora</i>	20	23	0,16
			Sphaerososma		<i>Fragillaria</i> sp	204	231	1,59
					<i>Fragillaria</i> sp	20	23	0,16
					<i>Pseudestausira</i> sp	9	10	0,07
			Fragillariaceae		<i>Stausira</i> sp	2	2	0,02
		Fragilariales			<i>Ulnaria</i> sp	20	23	0,16
					<i>Tabellaria</i> sp	30	34	0,23
					<i>Surirella</i> sp	37	42	0,29
			Surirellaceae		<i>Stenopterothia</i> sp	3	3	0,02
					<i>Stenopterothia</i> sp	12	14	0,09
					<i>Rhopalodia</i> sp	6	7	0,05
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae		<i>Cyclotella</i> sp	21	24	0,16
			Stephanodiscaceae		<i>Aulacoseira</i> sp	10	11	0,08
			Aulacoseirales					

Tabla 2. Continúa.

División	Clase	Orden	Familia	Género/Especie	Género/Especie	A	D	DR
Cyanophyta	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i>	<i>Lyngbya</i>	2	2	0,02
				<i>Oscillatoria</i> sp1	<i>Oscillatoria</i>	183	207	1,42
				<i>Oscillatoria</i> sp2	<i>Oscillatoria</i>	18	20	0,14
				<i>Phormidium</i> sp	<i>Phormidium</i>	22	25	0,17
				<i>Plenctonema</i> sp	<i>Plenctonema</i>	7	8	0,05
				<i>Pseudoanabaena</i> sp	<i>Pseudoanabaenaceae</i>	8	9	0,06
				<i>Borzia</i>	<i>Borziaceae</i>	12	14	0,09
				<i>Borzia</i> sp	<i>Borziaceae</i>	2	2	0,02
				<i>Anabaena</i> sp	<i>Nostocaceae</i>	9	10	0,07
				<i>Tolyprotrix</i>	<i>Tolyprotrichaceae</i>	15	17	0,12
				<i>Calothrix</i> sp	<i>Rivulariaceae</i>	2	2	0,02
				<i>Stigonema</i> sp	<i>Stigonemataceae</i>	235	266	1,83
				<i>Synechococcus</i> sp	<i>Synechococcaceae</i>	1	1	0,01
				<i>Closterium</i> sp	<i>Synechococcaceae</i>	83	94	0,65
				<i>Closterium</i> alargado	<i>Closterium</i>	8	9	0,06
				<i>Closterium</i> setaceum	<i>Closterium</i>	7	8	0,05
				<i>Cosmarium</i> sp	<i>Cosmarium</i>	78	88	0,61
				<i>Euastrum</i> sp	<i>Euastrum</i>	8	9	0,06
				<i>Desmidiium</i> sp	<i>Desmidiaceae</i>	20	23	0,16
<i>Cylindrocystis</i> sp	<i>Desmidiaceae</i>	9	10	0,07				
<i>Netrium</i> sp	<i>Desmidiaceae</i>	3	3	0,02				
<i>Actinotaenium</i>	<i>Actinotaenium</i>	18	20	0,14				
<i>Sphaeroszoma</i> sp	<i>Sphaeroszoma</i>	8	9	0,06				
<i>Tetmemorus</i>	<i>Tetmemorus</i>	3	3	0,02				
<i>Mougeotia</i> sp	<i>Mougeotia</i>	356	404	2,77				
<i>Spirogyra</i> sp	<i>Zygnemataceae</i>	11	12	0,09				
<i>Zygnema</i> sp	<i>Zygnemataceae</i>	70	79	0,54				
<i>Bambusina</i> sp	<i>Zygnemataceae</i>	2	2	0,02				
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	<i>Mesotaeniaceae</i>	6	7	0,05				
<i>Crucigenia</i> sp	<i>Botryococcaceae</i>	9	10	0,07				
<i>Chlorococcal</i>	<i>Scenedesmaeaceae</i>	15	17	0,12				
<i>Tetraedrom</i> sp	<i>Chlorococcaceae</i>	1	1	0,01				
<i>Oocystis</i> sp	<i>Oocystaceae</i>	23	26	0,18				
<i>Eremosphaera</i> sp	<i>Oocystaceae</i>	2	2	0,02				
<i>Oedogonium</i>	<i>Oedogoniaceae</i>	209	237	1,63				
<i>Microspora</i> sp	<i>Microsporiaceae</i>	15	17	0,12				
<i>Ulothrix</i> sp	<i>Ulothricaceae</i>	517	586	4,02				
<i>Stigeoclonium</i> sp	<i>Chaetophoraceae</i>	13	15	0,10				
<i>Chlorella</i> sp	<i>Chlorellaceae</i>	380	431	2,96				

Tabla 2. Continúa.

División	Clase	Orden	Familia	Género/Especie	A	D	DR
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i>	3	3	0,02
				Trachelomonas	5	6	0,04
Rodophyta	Rodophyceae	Bangiales Acrochaetales	Bangiaceae Acrochaetiaceae	<i>Bangia</i> <i>Audouinella</i>	12	14	0,09
			Heteropediaceae	<i>Heteropedia</i>	6	7	0,05
Ochrophyta	Xanthophyceae	Tribonematales	Tribonemataceae	<i>Tribonema</i>	37	42	0,29
				<i>Tribonema</i> sp 1	49	56	0,38
				<i>Tribonema</i> sp 2	1	1	0,01
Charophyta	Coleochaetophyceae	Mischococcales	Ophycitaceae	<i>Ophycitium</i>	1	1	0,01
Cryophyta	Cryophyceae	Coleochaetales	Coleochaetaceae	<i>Coleochaete</i>	35	40	0,27
Filamento	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada1	4	5	0,03
Indeterminado	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada2	3	3	0,02
Filamento	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada3	144	163	1,12
Indeterminado	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada4	16	18	0,12
Filamento	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada5	70	79	0,54
Indeterminado	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada6	11	12	0,09
Filamento	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada		12.848	14567	100

reproductivas altas, que preparan el ambiente para la llegada de especies intermedias y termina con la entrada de especies tardías de ciclos de vida más complejos con tasas reproductivas más lentas.

Lo anterior puede explicar que la diversidad y la riqueza hayan ido en aumento en las estaciones con afectación minera evaluados y que las estaciones con 30 años de abandono y sin minería se hayan relacionado en el PCA con estos dos atributos de la estructura de la comunidad. Asimismo permite justificar que las estaciones con minería actual o con 5 a 10 años de abandono donde estos procesos de recuperación no han iniciado o son incipientes, se hayan relacionado con la dominancia de individuos, que es la característica determinante de estos ambientes donde la diversidad es menor.

En este estudio se pudo establecer que las fuentes hídricas inmediatamente disturbadas por la minería presentan altas turbiedades, elevadas concentraciones de sólidos suspendidos y nutrientes, incrementos en la temperatura y como consecuencia se reducen más del 50% la riqueza (35) y la diversidad (1.5) de algas perifíticas con relación a cuerpos de agua que no han sido intervenidos. Es decir, la minería degrada el medio acuático y genera un estrés en este grupo biológico que constituye una importante base en la estructura trófica de los ecosistemas hídricos, haciendo que disminuyan su capacidad de ser productivos y ofertar servicios ambientales. A este respecto autores como Luttenton & Baisden (2006), Cushing & Allan (2001) han indicado que en los ríos donde se realizan actividades que pueden aportar sedimentos, se aumenta la cantidad de sólidos en suspensión y la disponibilidad de nutrientes y se dificulta la penetración de luz al cuerpo de agua, lo que inducen cambios en la comunidad perifítica, como la reducción de la productividad primaria y la diversidad, lo que a su vez puede alterar y modificar otras comunidades presentes en la red trófica del ecosistema.

Los resultados obtenidos, evidencian que aunque estas afectaciones se reducen con el tiempo, sus efectos son persistentes a largo plazo, ya que al comparar el estado ambiental y ecológico de los diferentes escenarios temporales evaluados, se encontró que durante los primeros 5 a 10 años de cese de la actividad minera, ocurre una reducción en la cantidad de material sólido suspendido favorecido por la sedimentación, pero se incrementan las temperaturas como resultado de una mayor exposición al sol por la falta de vegetación asociada y los bajos caudales, haciendo que en este tipo de estaciones pese a un leve incremento de la riqueza (49) y diversidad (2.0) de algas perifíticas, se hayan presentado las mayores densidades y abundancias debido al predominio de especies altamente tolerantes que logran adaptarse a las condiciones extremas que se configuran en el ecosistema.

La persistencia temporal en las alteraciones ocasionadas por la minería, también pudo evidenciarse en el estado de la estación con 30 años de cese minero, en la cual se presenta un incremento en la riqueza (78) y diversidad (2.7) con relación a las estaciones anteriores. En comparación con la estación sin intervención (riqueza 72, diversidad 3.3) muestra diferencias que pueden estar dadas a nivel fisicoquímico por los cambios en la estructura del cauce y el crecimiento de la vegetación de ribera y a nivel ecológico con la colonización y permanencia de especies transitorias, lo que podría indicar que el ecosistema aún se encuentra en un proceso de sucesión y que pese a su notable recuperación, no alcanza la estabilidad de un ecosistema sin disturbio.

## AGRADECIMIENTOS

La información presentada hace parte de los resultados de investigación de las Tesis de Maestría y Doctorado de la primera y el segundo autor, los cuales fueron desarrollados en el marco del proyecto Biochocó, en convenio entre la Universidad Tecnológica del Chocó y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico para el desarrollo de una herramienta contextualizada de recuperación ecosistémica en áreas degradadas por minería en el departamento del Chocó.

Se agradece al Convenio Biochocó (IIAP – UTCH) por la financiación del trabajo y en especial a la dirección del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico en cabeza del Ingeniero William Klinger por el apoyo y la oportunidad de llevar a cabo el trabajo, a Hamleth Valois Cuesta por su apoyo en el análisis estadístico, a Zoraida Quesada y Yirlesa Murillo por el acompañamiento en campo.

## REFERENCIAS

- BILOTTA, G. S. & R. E. BRAZIER. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research* 42(12): 2849-2861. DOI:10.1016/j.watres.2008.03.018
- COLWELL, R. K. 2004. *Estimates: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples, Version 7*. Department of Ecology & Evolutionary Biology, University of Connecticut, Storrs, CT.
- CUSHING, C. E. & J. D. ALLAN. 2001. *Streams. Their ecology and life*. London, Academic Press, California. 366 p.
- DE TONI, G.B. 1891. *Sylogeargarum omnium hucusquecognitarum. Vol. II. Sylloge Bacillariearum. Sectio I. Rhaphideae*. Patavii: Sumptibus auctoris. 490 p.
- DÍAZ, C. & C. RIVERA. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* 26(2): 381-394.
- DONATO, J. C. 2002. *Diatomeas de agua dulce: Indicadores del cambio del ecosistema*. Academia de Ciencias Naturales, Philadelphia. Academia de Ciencias San Francisco de California. 120 p.
- FRANCOEUR, S. N. & B. J. BIGGS-F. 2006. Short-term effects of elevated velocity and sediment abrasion on benthic algal communities. *Hydrobiologia* 561(1): 59-69. DOI:10.1007/s10750-005-1604-4
- GIORGIO, P., A. VINOCCUR, R. LOMBARDO & H. TELL. 2001. Progressive changes in the structure and dynamics of the phytoplankton community along a pollution gradient in a lowland river-A multivariate approach. *Hydrobiologia* 224: 129-154. DOI:10.1007/BF00008464
- GUZMÁN, D., J. F. RUIZ & M. CADENA. 2004. *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través del Análisis de Componentes Principales (ACP)*. Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático. Subdirección de Meteorología – IDEAM. 55 p.
- HENLEY, W., M. PATTERSON, R. NEVES & A. LEMLY. 2000. Effects of sedimentation and turbidity on lotic food webs: A concise review for natural resource managers. *Reviews in Fisheries Science* 8(2): 125-139. DOI:10.1080/10641260091129198
- HERNÁNDEZ-ATILANO, E., N. AGUIRRE-RAMÍREZ & J. PALACIO. 2011. Relación entre la determinación del pigmento Clorofila a y el Biovolumen geométrico algal en un lago de planicie de inundación (Ciénaga de Ayapel, Córdoba-Colombia). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* 60: 159-169.
- IGAC (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI) & MMA (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE). 2000. *Estudio de Zonificación Ecológica de la Región Pacífica Colombiana*. Bogotá. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 250 p.
- LOBO, J. M. 1993. *La base de la ecología*. Pentalon, Madrid. 192 p.
- LUCE, J., A. CATTANEO & M. F. LAPOINTE. 2010. Spatial patterns in periphyton biomass after low-magnitude flow spates: Geomorphic factors affecting patchiness across gravel-cobble riffles. *Journal of the North American Benthological Society* 29(2): 614-626.
- LUTTENTON, M. & C. BAISDEN. 2006. The Relationships Among Disturbance, Substratum Size and Periphyton Community Structure. *Hydrobiologia* 561: 111-117. DOI:10.1007/s10750-005-1608-0
- MARGALEF, M. R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, Barcelona. 1010 p.
- MARTÍNEZ, L. & J. C. DONATO. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un Río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Limnología, Caldasia* 25 (2): 337-354.
- MONTOYA-MORENO, Y. & N. AGUIRRE-RAMÍREZ. 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana. *Hidrobiológica* 18(3): 189-198.
- POVEDA-M, C., C. A. ROJAS-P, A. RUDAS-LI & J. O. RANGEL-CH. 2004. El Chocó biogeográfico: ambiente físico. In: J. O. Rangel-Ch (ed.). *Colombia diversidad biótica IV, El Chocó biogeográfico/Costa Pacífica*. Universidad Nacional de Colombia-Conservación Internacional. Bogotá, pp. 1-22.
- RAMÍREZ, A. & Y. PLATA-DÍAZ. 2008. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana* 13(1): 199-216.
- RANGEL-CH, J. O. 2004. *Colombia Diversidad Biótica IV: El Chocó Biogeográfico, Costa Pacífica*. Instituto de ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C. 985 p.
- REYNOLDS, C. S. 1984. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge University Press. 396p.
- RIVERA-RONDÓN, C. & J. C. DONATO. 2008. Influencia de las Variaciones Hidrológicas y Químicas Sobre la Diversidad de Diatomeas Bénticas. In: Donato-Rondón, J. (ed.). *Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (río Tota, Boyacá)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C., pp. 83-102.
- SHANNON, C. E. & W. WEAVER. 1949. *The mathematical theory of communication*. University Illinois, Press Urbana. 125p.
- SIMPSON, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688. DOI:10.1038/163688a0
- STEVENSON, J. R., M. BOTHWELL & R. LOWE. 1996. *Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego, California. 753 p.



- TROBAJO, R., X. QUINTANA & R. MORENO-A. 2002. Model of alternative predominance of phytoplankton-periphyton-macrophytes in lentic waters of Mediterranean coastal wetlands. *Archiv für Hydrobiologie* 154: 19-40. DOI:10.1127/archiv-hydrobiol/154/2002/19
- UPME (UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA). 2007. *Producción más limpia en la minería de oro en Colombia. Mercurio, cianuro y otras sustancias*. Bogotá. Ministerio de Minas y Energía. 62 p.
- VAN HEURCK, H. 1881. Synopsis des Diatomées de Belgique Atlas. Anvers. Ducaju et Cie 31-77.
- UEHLINGER, V. 1964. Etude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. *Arch. Science Physics Nature* 17: 121-223.
- WETZEL, R. G. & G. E. LIKENS. 1991. *Limnological analyses*. Springer Verlag, New York. 391 p.
- ZAPATA-ANZOLA, M. & J. C. DONATO-RONDÓN. 2005. Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de alta montaña (río Tota - Colombia). *Limnética* 24: 327-338.

## Relaciones talla-peso seco de ninfas de *Anacroneturia caraca* Stark, 1995 y *A. marta* Zúñiga & Stark, 2002 (Plecoptera: Perlidae) de un río neotropical de montaña

## Relations length-dry weight of nymphs *Anacroneturia caraca* Stark, 1995 and *A. marta* Zúñiga & Stark, 2002 (Plecoptera:Perlidae) from a neotropical mountain river

Yesely Hurtado-Borrero<sup>1\*</sup>, Gabriel Pinilla-A<sup>2</sup> y Cesar E. Tamaris-Turizo<sup>1</sup>

Recibido: 26 de junio de 2018.

Aceptado: 8 de noviembre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

### RESUMEN

**Antecedentes:** El estudio de la morfometría de los insectos acuáticos es importante para comprender algunos procesos ecológicos como la ganancia de la biomasa, el tiempo de desarrollo de una especie y la dinámica de las cohortes. En Colombia, no existen estudios sobre relaciones talla-peso seco a nivel de especie en ninfas de *Anacroneturia*. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo fue analizar algunas características morfológicas de ninfas de *Anacroneturia marta* y *A. caraca* para determinar la eventual existencia de funciones lineales que expliquen la relación entre algunas dimensiones del cuerpo (la longitud total y el ancho de la cabeza) versus el peso seco. **Métodos:** Los organismos se recolectaron en zonas de rápidos y pozos del río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia) entre octubre de 2014 y marzo del 2015. Las ninfas se identificaron a nivel de especie y las entidades taxonómicas se confirmaron mediante un análisis discriminante utilizando mediciones de diez variables morfológicas de las ninfas inmaduras. En algunos organismos se obtuvo el peso seco, el cual se correlacionó con medidas de longitud mediante regresiones lineales simples. **Resultados:** Las especies *A. marta* y *A. caraca* mostraron diferencias morfológicas estadísticamente significativas que permitieron confirmar estos taxones. El modelo potencial fue el que se ajustó mejor para mostrar las relaciones de la longitud total (LT) y el ancho de la cabeza (AC) con el peso seco ( $p < 0.01$ ). **Conclusiones:** Las relaciones entre las dimensiones corporales y el peso seco fueron altamente significativas, para *A. marta* el mejor ajuste fue con el AC y para *A. caraca* con la LT, con explicaciones del 86% y el 95% de la variación en la biomasa, respectivamente. Estas ecuaciones servirán como base para estudios de determinación de la biomasa en ninfas de Plecoptera.

**Palabras clave:** biomasa, Perlidae, relaciones morfométricas, regresiones longitud-masa, tamaño del cuerpo

### ABSTRACT

**Background:** The study of the morphometry in aquatic insects is very important to understand some ecological processes such as biomass gain, development time of the species and the dynamics of the cohorts. In Colombia, there are no studies on length-dry weight relations at the species level in *Anacroneturia* nymphs. **Goals:** The aim of this study was to analyze the morphological characteristic of *Anacroneturia marta* and *A. caraca* and to determine possible linear functions that explain the relations between some body dimensions (total length and head width) versus dry weight. **Methods:** Organisms were collected in areas of rapids and pools of the Gaira River (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia) between October 2014 and March 2015. Nymphs were identified to species level and taxonomic entities were confirmed by a discriminant analysis, using measurements of ten morphological variables. In some organisms dry weight was obtained, which was correlated with length measurements by simple linear regressions. **Results:** The species *A. marta* and *A. caraca* showed statistically significant morphological differences, which confirmed these taxa. The power model was the best adjusted to show the relations of the total length (TL) and the width of the head (WH) with the dry weight ( $p < 0.01$ ). **Conclusions:** The relationships between body dimensions and dry weight were highly significant, for *A. marta* the best adjust was with the WH and for *A. caraca* was with TL, with explanations of 86% and 95% of the variations in biomass, respectively. These equations will serve as a basis for studies of determination of biomass in Plecoptera nymphs.

**Keywords:** biomass, Perlidae, morphometric relations, length-mass regressions, body size

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología Aplicada, Universidad del Magdalena. Carrera 32, No 22-08, Santa Marta, 470004. Colombia.

<sup>2</sup> Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Carrera 30, No. 45-03, Bogotá, 111321. Colombia.

#### \*Corresponding author:

Yesely Hurtado-Borrero: e-mail: yeselyhurtadomb@unimagdalena.edu.co

#### To quote as:

Hurtado-Borrero, Y., G. Pinilla-A & C. E. Tamaris-Turizo. 2020. Relaciones talla-peso seco de ninfas de *Anacroneturia caraca* Stark, 1995 y *A. marta* Zúñiga & Stark, 2002 (Plecoptera:Perlidae) de un río Neotropical de montaña. *Hidrobiológica* 30 (3): 203-209.

## INTRODUCCIÓN

Los macroinvertebrados de los ecosistemas acuáticos representan una importante fuente de energía en forma de biomasa que está disponible para ser asimilada por organismos asociados directa o indirectamente a tales ecosistemas (Sabo *et al.*, 2002). La estimación de la biomasa en los insectos acuáticos permite evaluar procesos biológicos relacionados con la masa en pie, con su funcionalidad y con la dinámica poblacional; estos procesos incluyen aspectos como la producción secundaria, las tasas de crecimiento, las historias de vida y las interacciones tróficas entre grupos funcionales (Benke, 1996; Gualdoni *et al.*, 2013). Dichos atributos son una herramienta muy importante para valorar la ecología los ecosistemas fluviales.

Conocer la biomasa de los insectos acuáticos es un desafío debido a que son animales muy pequeños y abundantes, por lo que la determinación de su peso es demorada y costosa (Brito *et al.*, 2015). Idealmente, las mediciones de biomasa se deben realizar a nivel de especie y en zonas con condiciones ambientales similares (Cressa, 1986; Gualdoni *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2014). Se han desarrollado diferentes métodos para calcular la biomasa de estos organismos, de los cuales la determinación de las relaciones matemáticas entre las dimensiones corporales y el peso seco de los individuos es el más utilizado (Smock, 1980; Benke, 1996; Benke *et al.*, 1999; Burgherr & Meyer, 1997; Muñoz *et al.*, 2009), debido a que permite ahorrar tiempo, dinero y esfuerzo.

Los plecópteros son comparativamente muy abundantes dentro de los insectos acuáticos (Merritt *et al.*, 2008), hecho que ha sido confirmado en algunos ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta (Rodríguez-Barríos *et al.*, 2011; Barragán *et al.*, 2016; Granados-Martínez *et al.*, 2016). Actualmente no se dispone de una adecuada resolución taxonómica de las ninfas de este grupo (Zúñiga, 2010), lo cual contribuye el hecho de que las ninfas de diferentes especies son muy parecidas morfológicamente (Hynes, 1976; Stark *et al.*, 2009; Tierno de Figueroa & López-Rodríguez, 2015). En algunos estudios sobre plecópteros se ha visto que es posible realizar la identificación a través de la morfometría de los individuos (Gamboa & Arrivillaga, 2010); esta herramienta puede ser de gran utilidad en investigaciones ecológicas y de conservación.

En muchos trabajos realizados en el trópico se ha estimado la biomasa de los invertebrados acuáticos y algunas dimensiones tales como la longitud total o el ancho de la cápsula cefálica, así como sus relaciones con el peso seco (López *et al.*, 1996; Becker *et al.*, 2009; Gualdoni *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2014; Rivera-Usme *et al.*, 2014; Brito *et al.*, 2015). La estimación de las funciones lineales se ha valorado en organismos inmaduros de varios invertebrados acuáticos como *Phylloicus* sp., *Helobdella*, *Triplectides egleri* (Sattler, 1963), *Chaoborus* sp. y *Corydalus* spp. (López *et al.*, 1996; Cressa, 1999; Becker *et al.*, 2009; Gualdoni *et al.*, 2013; Rivera-Usme *et al.*, 2014; Brito *et al.*, 2015). Sin embargo, para las especies del género *Anacroneuria* de ríos tropicales aún no se han propuesto funciones que permitan estimar la biomasa de sus poblaciones a partir de las dimensiones corporales, hecho que facilitaría las estimaciones de los flujos de energía en las redes tróficas e identificar taxones con alta importancia ecológica. Por lo anterior, en este estudio se buscó determinar las ecuaciones que explican mejor la relación entre algunas dimensiones del cuerpo (longitud total y ancho de la cabeza) y el peso seco en ninfas de *Anacroneuria marta* Zúñiga & Stark, 2002 y *Anacroneuria caraca* Stark, 1995 en el río Gaira, en la Sierra Nevada de Santa Marta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las larvas de *A. caraca* y *A. marta* se recolectaron entre octubre de 2014 y marzo del 2015, en el río Gaira, a 900 msnm (11°07'44.2" N y 74°05'35.8" W) en el sector noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. El sitio de colecta presentó una alta variedad de microhábitats, con zonas de rápidos, remansos y pozos que facilitan el establecimiento de los macroinvertebrados acuáticos (Tamaris-Turizo *et al.*, 2007). Las ninfas de *Anacroneuria* se capturaron sobre fondos de grava con una red Surber (área de 0.09 m<sup>2</sup> y ojo de malla de 250 µm), la cual se utilizó hasta completar un área total de 0.54 m<sup>2</sup>. Los organismos se preservaron en etanol al 90%. En el laboratorio se separaron las ninfas de cada especie teniendo en cuenta las descripciones de Stark (1995) y Zúñiga *et al.* (2007).

Se seleccionaron cuarenta ejemplares de cada especie, que se categorizaron con base en sus métricas. Los individuos seleccionados se encontraban completos y sin daños en su cuerpo. A cada ninfa se le midió la longitud total del cuerpo (LT), el ancho de la cabeza (AC), el ancho del pronoto (AP), la distancia entre los ocelos (DEO), la distancia entre los ojos (DEOJ), la longitud del abdomen (LA), la longitud del fémur anterior derecho (LF) y la longitud de la tibia de la pata anterior derecha (Lt). Para identificar el orden de las tibias y fémures de los organismos, se definió como 1 a la extremidad anterior, 2 a la media y 3 a la posterior (ej. Lt1: Longitud de la tibia de la pata anterior derecha). Las mediciones se realizaron con el Software Zen Blue, a través de una cámara fotográfica AxioCam ERc5s acoplada a un estereoscopio Nikon SMZ 745T. Los insectos se colocaron individualmente en láminas de aluminio previamente pesadas, se secaron en una estufa MLW a 60°C por 24 horas hasta obtener peso seco constante y se pesaron en una balanza analítica Mettler Toledo (precisión ± 0.01 mg).

Debido a que las ninfas juveniles son difíciles de separar por los caracteres morfológicos, se realizó un análisis discriminante utilizando las métricas descritas anteriormente, para confirmar si la identificación realizada a partir de las descripciones coincidió con las relaciones entre las medidas morfométricas. Previamente, mediante el uso de percentiles, los organismos se clasificaron de acuerdo con la longitud del cuerpo en tres clases de tamaño (entre 3 y 6.9 mm, entre 7 y 9 mm y entre 9 y 14 mm) para evitar sesgos atribuibles a las tallas. Las variables morfológicas se dividieron por la LT para estandarizarlas. Las posibles diferencias entre las métricas de las dos especies se analizaron por medio de comparaciones para dos muestras independientes; en los casos en que se cumplió el requisito de distribución normal se aplicó la prueba t de Student; en el caso contrario se empleó la prueba U de Mann-Whitney (Guisande *et al.*, 2014). La relación entre la LT o el ancho de la cápsula cefálica (AC) y el peso seco de las dos especies se determinó mediante regresiones lineales simples. Los análisis se hicieron con el paquete estadístico StatR en RWizard v. Beta 1.0 (Guisande *et al.*, 2014).

## RESULTADOS

Se utilizaron en total 79 organismos cuyas medidas estuvieron entre 2.8 mm y 10.65 mm de LT y entre 0.75 y 2.63 mm de AC. El peso seco osciló entre 0.13 y 6.81 mg y fue la métrica con el mayor coeficiente de variación (Tabla 1). El análisis discriminante detectó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las métricas de las dos especies de acuerdo a los intervalos de tallas (Fig.1). De esta manera, en los organismos

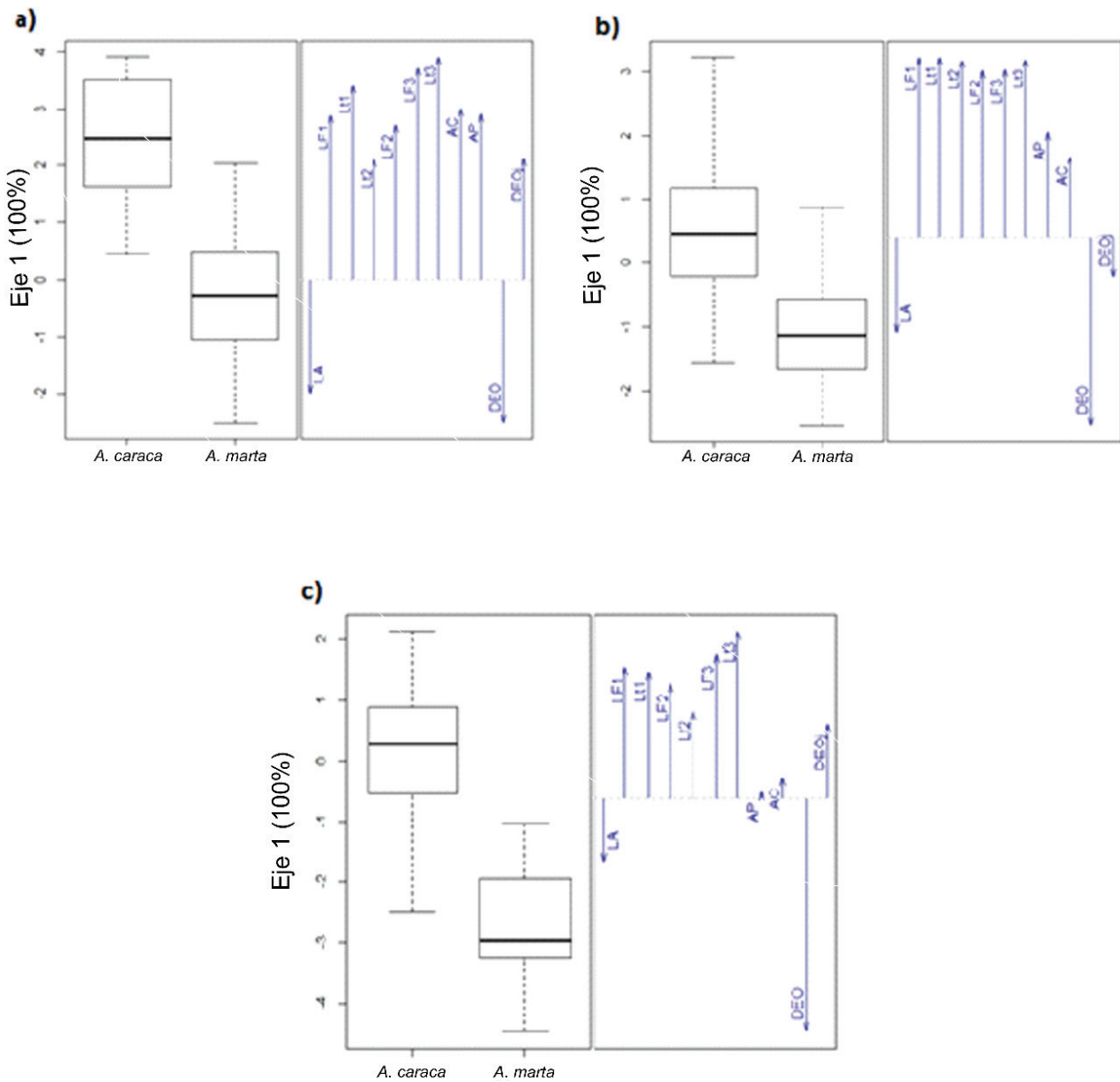
con tallas entre 3 y 6,9 mm las variables morfométricas (DEOJ, AP, AC, LA, LF1, Lt1, LF2, Lt2, LF3, Lt3) tuvieron un 91.6% de coincidencias; para las tallas entre 7 y 9 mm, hubo un 78.6% de casos correctamente identificados para las mismas variables; en las tallas entre 9 y 14 mm las concurrencias de las variables DEO y Lt3 fueron del 94.7%.

Los modelos potencial y exponencial, usados para estimar la biomasa de ambas especies de *Anacroneuria*, tuvieron alta significancia estadística ( $p < 0.001$ ). La función que mejor se ajustó a la relación entre las variables, tanto de la LT y como del AC con el peso seco,

fue la potencial (Tabla 2). Las dos variables fueron buenas predictoras para estimar la biomasa de *A. marta* y *A. caraca*. En consecuencia, la siguiente ecuación, correspondiente al modelo potencial, puede utilizarse para hallar el peso seco de estos organismos a partir de las dimensiones corporales:

$$y = e^{\ln(a)+b*\ln(x)}(1)$$

Dónde: “a” y “b” son constantes, “y” es el peso seco y “x” es la longitud total o el ancho de cabeza.



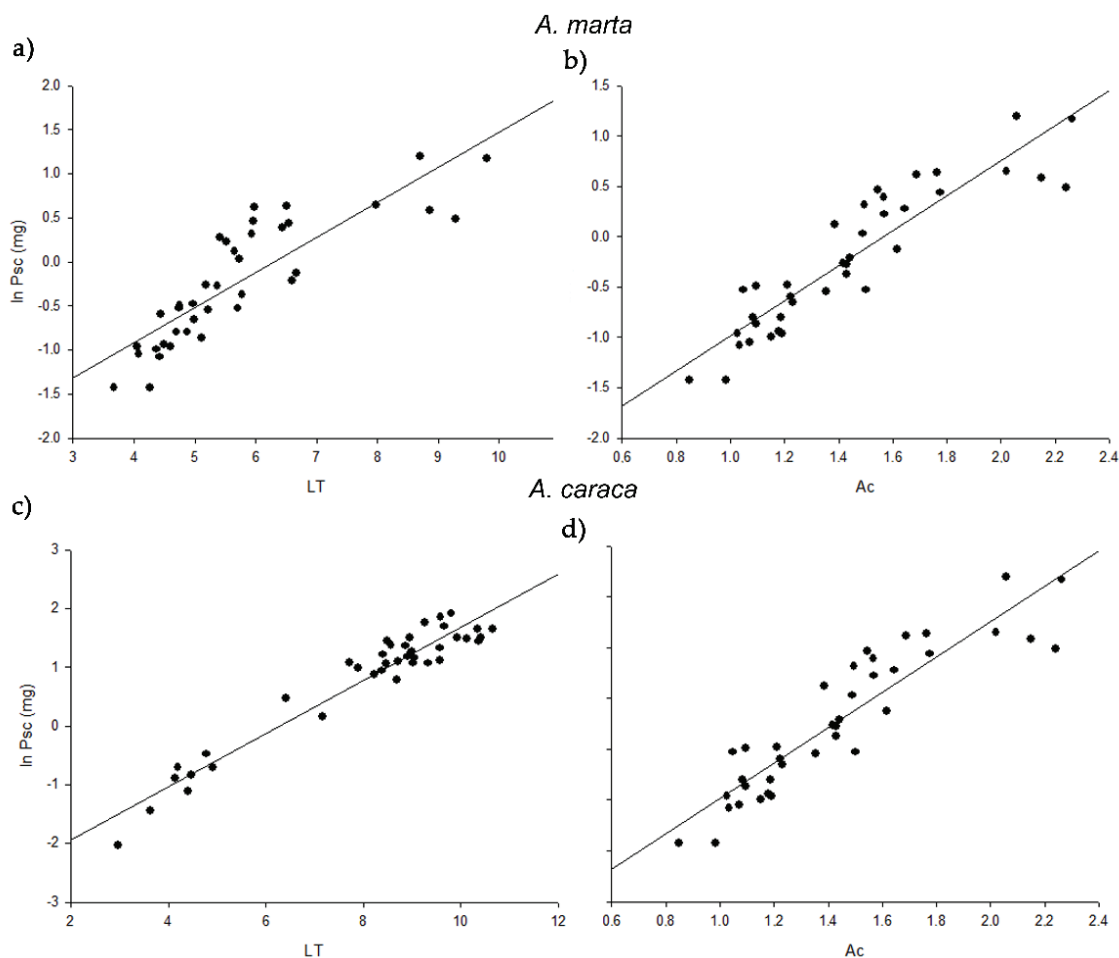
Figuras 1a-c. Análisis discriminante de *Anacroneuria marta* y *Anacroneuria caraca* en tres clases de tallas. a) Clase de talla 1 (3 a 6.9 mm), con un 91.57% de casos correctamente identificados, N= 178; b) Clase de talla 2 (7 a 9 mm), con un 78.57% de casos correctamente identificados, N= 112; c) Clase de talla 3 (9 a 14 mm), con un 93.67% de casos correctamente identificados N=79.

Tabla 1. Clases de tamaño, promedio, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación [CV en %] para las dimensiones del cuerpo de ninfas de *Anacroneuria marta* y *Anacroneuria caraca* del Río Gaira.

Atributos del cuerpo	Intervalos de Clases	Promedio	DE	% CV
<i>A. marta:</i>				
Longitud total (mm)	3,67 - 9,79	5,737	1,476	25,736
Ancho de la cabeza (mm)	0,84 - 2,41	1,432	0,360	25,168
Peso seco (mg)	0,24 - 5,09	1,113	0,989	88,829
<i>A. caraca:</i>				
Longitud total (mm)	2,8 - 10,65	8,051	1,973	3,081
Ancho de la cabeza (mm)	0,75 - 2,63	2,148	0,505	1,797
Peso seco (mg)	0,13 - 6,81	3,081	1,797	58,341

A pesar de que todas las relaciones entre las dimensiones corporales y la biomasa fueron altamente significativas, el mejor ajuste en *A. marta* fue para el AC y en *A. caraca* fue para la LT. Estas funciones explicaron el 86% y el 95% de la variación en la biomasa de cada especie, respectivamente (Tabla 2). El coeficiente de variación (CV) del

peso seco para ambas especies fue alto (*A. marta*: 88.82%; *A. caraca*: 58.34%). Los CV de la LT y del AC fueron menores para *A. caraca* (Tabla 1). La Figura 2 muestra el ajuste de la regresión lineal entre las dimensiones corporales y el peso seco en las dos especies.



Figuras 2a-d. Regresiones entre dimensiones del cuerpo (mm) y el peso seco (mg) en escala logarítmica, de ninfas de *Anacromeuria* del río Gaira. a-b) *Anacroneuria marta*; c-d) *Anacroneuria caraca*. Longitud Total (LT). Ancho de la cabeza (AC). Peso seco (Psc).

## DISCUSIÓN

En este trabajo se pudieron diferenciar dos especies del género *Anacroneuria* usando medidas morfométricas de varias partes del cuerpo. De ellas, *A. caraca* tuvo una talla promedio mayor que *A. marta*. Las medidas corporales estuvieron consistentemente relacionadas con los pesos secos promedio de cada especie. Además, se presentan por primera vez para Colombia ecuaciones para estimar la biomasa (en forma de pesos seco) a partir de las métricas de la LT y del AC en las dos especies de plecópteros estudiadas.

En nuestro trabajo, la constante “b” en los modelos potenciales para ambas especies fue cercana a tres, lo cual indica que para las especies de *Anacroneuria* del río Gaira, la biomasa depende más del volumen del cuerpo que del área corporal. Esto coincide con los resultados de Cressa (1999), quien encontró que en varios grupos de insectos acuáticos el valor de la constante “b” en los modelos potenciales tiende siempre al valor tres. Engelmann (1961) propuso con anterioridad la influencia del volumen en los insectos provoca valores de “b” próximos a este mismo valor. Este patrón ha sido comprobado ampliamente en estudios donde las variables morfológicas se explican perfectamente cuando la pendiente “b” en el modelo potencial tiene este valor. (Becker *et al.*, 2009; Miserendino, 2001; Stoffels *et al.*, 2003; Giustini *et al.*, 2008).

Los estudios de relación talla-peso en otros taxones de invertebrados acuáticos continentales, como los Trichoptera, han permitido definir que el modelo potencial es el que mejor predice dichas relaciones y que la LT es la mejor métrica para estimar la biomasa (Becker *et al.*, 2009; Brito *et al.*, 2015). Johnston & Cunjak (1999) argumentan que la longitud total del cuerpo en los estados larvales y ninfales de los insectos acuáticos hemimetábolos es una buena medida del crecimiento, porque el cuerpo no se ha esclerotizado y los individuos pueden seguir creciendo en cada muda. Sin embargo, en otros estudios, como el de Cressa (1999), en el que se estimó el peso seco de las especies de una comunidad bentónica en un río tropical de Venezuela, se ha optado por

estimar la masa de los individuos a través del ancho de la cabeza, debido precisamente a que, al ser una estructura esclerotizada, tiende a estar menos afectada por la manipulación de las muestras. Este último autor encontró que los ajustes de correlación basados en la LT y en el AC fueron altos en todos los taxones, incluyendo al género *Anacroneuria*. Dicho resultado concuerda con lo determinado en este estudio, en el que ambas medidas corporales (LT y AC) fueron buenos predictores del peso seco en las dos especies de *Anacroneuria*.

En el presente estudio se tuvieron en cuenta individuos de todas las tallas (pequeñas a grandes), lo cual permitió aproximarse con mayor certeza al crecimiento corporal de *A. marta* y *A. caraca*. La amplitud de tallas también otorga una alta validez a los resultados obtenidos, ya que las funciones son productos de un amplio intervalo de distribución de las tallas de dichas especies. Es importante tener en cuenta que se han documentado variaciones estacionales en las relaciones talla-peso en algunas especies de plecópteros del Japón (Genkai-Kato & Miyasaka, 2007), posiblemente porque los ríos de esa región están sometidos a cambios estacionales de temperatura muy marcados. Sin embargo, para el caso del río Gaira su condición tropical implica temperaturas menos variables entre épocas climáticas (16.7 - 19.5°C) (Tamaris-Turizo, 2009), de manera que con cualquiera de los modelos exponenciales o potenciales expuestos en nuestro estudio se puede estimar la biomasa de las especies consideradas, dado que el ajuste fue mayor al 75%. Es posible entonces utilizar una o las dos medidas del cuerpo (AC, LT); no obstante, sugerimos que la estimación de la biomasa en estas especies se haga con los modelos potenciales, que tuvieron en general un mejor ajuste. Por otra parte, utilizar el AC tiene la ventaja de que no se requiere disponer de los ejemplares completos, lo cual permite incluir en las estimaciones organismos fragmentados o maltratados (Benke *et al.*, 1999). De esta manera, las ecuaciones obtenidas permitirán hacer acercamientos más rápidos y confiables a las biomásas de estos plecópteros en ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, en comparación con las formulaciones disponibles en la literatura de otras regiones latitudinales del mundo.

Tabla 2. Parámetros de los modelos potencial y exponencial para la relación entre el ancho de la cabeza (AC), la longitud total del cuerpo (LT) y el peso seco (Psc) de *Anacroneuria marta* y *Anacroneuria caraca* del río Gaira.

Modelo	Conversión	a	b	r <sup>2</sup>
<i>A. marta:</i>				
Exponencial $y = e^{\ln(a)+bx}$	LT→Psc	-2,699	0,435	0,76
	Ac→Psc	-2,848	1,833	0,84
Potencial $y = e^{\ln(a)+b \cdot \ln(x)}$	LT→Psc	-4,956	2,767	0,81
	Ac→Psc	-1,110	2,673	0,86
<i>A. caraca:</i>				
Exponencial $y = e^{\ln(a)+bx}$	LT→Psc	-2,844	0,453	0,93
	Ac→Psc	-2,980	1,915	0,92
Potencial $y = e^{\ln(a)+b \cdot \ln(x)}$	LT→Psc	-5,195	2,939	0,95
	Ac→Psc	-1,155	3,063	0,94

a y b son constantes; N= 40 para *A. caraca* y N= 39 para *A. marta*.



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro equipo de investigación por ayudarnos en esta labor. Agradecemos también al Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología Aplicada (GIBEA), al Grupo de investigación Ecología Neotropical (GIEN) y al grupo Biodiversidad, Biotecnología y Conservación de Ecosistemas del departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, por brindarnos el espacio para el procesamiento de las muestras.

## REFERENCIAS

- BARRAGÁN, M. F., C. E. TAMARIS-TURIZO & G. A. RUA. 2016. Comunidades de insectos acuáticos de los tres flancos de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Biota Colombiana* 17 (2): 47-61. DOI:10.21068/c2016.v17n02a05
- BENKE, A. C. 1996. Secondary production of macroinvertebrates. In: Hauser, F. R. & G. A. Lamberti (eds.). *Methods in Stream Ecology*. Academic Press, New York, USA, pp. 691-710.
- BENKE, A. C., A. D. HURYN, L. A. SMOCK & J. B. WALLACE. 1999. Length-mass relationships for freshwater macroinvertebrates in North America with particular reference to the southeastern United States. *Journal of the North American Benthological Society* 18 (3): 308-343. DOI:10.2307/1468447
- BECKER, B., M. S. MORETTI & M. CALLISTO. 2009. Length-dry mass relationships for a typical shredder in Brazilian streams (Trichoptera: Calamoceratidae). *Aquatic Insects* 31 (3): 227-234. DOI:10.1080/01650420902787549
- BURGHERR, P. & E. I. MEYER. 1997. Regression analysis of linear body dimensions vs. dry mass in stream macroinvertebrates. *Archiv für Hydrobiologie* 139: 101-112.
- BRITO, J., R. MARTINS, K. M. SOARES & N. HAMADA. 2015. Biomass estimation of *Triplectide seglei* Sattler (Trichoptera, Leptoceridae) in a stream at Ducke Reserve, Central Amazonia. *Revista Brasileira de Entomologia* 59: 332-336. DOI:10.1016/j.rbe.2015.09.003
- GRESSA, C. 1986. Estimaciones de peso seco en función de la longitud cefálica y clases de tamaño en *Campsurus* sp. (Ephemeroptera, Polymitarcidae). *Acta Científica Venezolana* 37: 170-173.
- GRESSA, C. 1999. Dry mass estimates of some tropical aquatic insects. *Revista de Biología Tropical* 47: 133-141.
- ENGELMANN, M. D. 1961. The Role of Soil Arthropods in the Energetics of an Old Field Community. *Ecological Monographs* 31(3): 221-238. DOI:10.2307/1948553
- GAMBOA, M. & J. ARRIVILLAGA. 2010. Análisis morfométrico de cuatro especies simpátricas del género *Anacroneria* (Plecoptera: Perlidae). *Limnetica* 29: 247-256.
- GENKAI-KATO, M. & H. MIYASAKA. 2007. Length-weight relationship of four predatory stonefly species in Japan. *Limnology* 8: 171-174. DOI:10.1007/s10201-007-0210-8
- GIUSTINI, M., F. P. MICCOLI, G. DE LUCA & B. CICOLANI. 2008. Length-weight relationships for some Plecoptera and Ephemeroptera from a carbonate stream in central Apennine (Italy). *Hydrobiologia* 605: 183-191. DOI:10.1007/s10750-008-9353-9
- GRANADOS-MARTÍNEZ, C. E., B. ZÚÑIGA-CÉSPEDES & J. ACUÑA-VARGAS. 2016. Diets and trophic guilds of aquatic insects in Molino River, La Guajira, Colombia. *Journal of Limnology* 75 (s1): 144-150. DOI:10.4081/jlimnol.2016.1396
- GUALDONI, C., P. W. FRENCH & A. M. OBERTO. 2013. Relaciones longitud-biomasa en macroinvertebrados bentónicos de un arroyo serrano del sur de Córdoba, Argentina. *Ecología Austral* 23: 194-201.
- GUISANDE, C., A. VAAMONDE & A. BARREIRO. 2014. Programa estadístico StatR - RWizard versión Beta 1.0. Universidad de Vigo. España.
- HYNES, H. B. 1976. Biology of Plecoptera. *Annual Review of Entomology* 21:135-153. DOI:10.1146/annurev.en.21.010176.001031
- JOHNSTON, T. A. & R. A. CUNJAK. 1999. Dry mass-length relationships for benthic insects: a review with new data from Catamaran Brook, New Brunswick, Canada. *Freshwater Biology* 41: 653-674. DOI:10.1046/j.1365-2427.1999.00400.X
- LÓPEZ, C., A. CORONA, M. ARAUJO & J. E. RINCÓN. 1996. Relaciones entre parámetros biométricos y peso seco en insectos acuáticos depredadores de Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 45/46: 641-643.
- MARTINS, R. T., A. S. MELO, J. F. GONÇALVES JR & N. HAMADA. 2014. Estimation of dry mass of caddisflies *Phyllo icuselektoros* (Trichoptera: Calamoceratidae) in a Central Amazon stream. *Zoología (Curitiba)* 31(4): 337-342. DOI:10.1590/S1984-46702014000400005
- MERRITT, R. W., K. W. CUMMINS & M. B. BERG. 2008. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 3<sup>rd</sup> ed. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, USA, pp. 1158.
- MISERENDINO, M. L. 2001. Length-mass relationship for macroinvertebrates in freshwater environments of Paragonia (Argentina). *Ecología Austral* 11: 3-8.
- MUÑOZ, I., A. RODRIGUES-CAPITULO, A. CAMACHO, J. M. GONZÁLEZ, A. M. ROMANÍ & S. SABATER. 2009. Flujo de energía en el ecosistema fluvial. Producción primaria y producción secundaria. In: Elosegi A. & S. Sabater (eds.). *Conceptos y técnicas de ecología fluvial*. Fundación BBVA, Bilbao, España, pp. 323-346.
- RIVERA-USME, J., G. PINILLA-AGUDELO, D. L. CAMACHO-PINZÓN, M. I. CASTRO-REBOLLEDO & J. O. RANGEL-CHURIO. 2014. Relaciones entre el peso seco y la longitud total de los géneros de invertebrados acuáticos *Helobdella* (Hirudinea: Glossiphoniidae) y *Asellus* (Crustacea: Asellidae) de un humedal andino de Colombia. *Actualidades Biológicas* 36: 39-45. DOI:10.13140/2.1.2118.2085
- RODRÍGUEZ-BARRIOS, J., R. OSPINA-TORRES & R. TURIZO-CORREA. 2011. Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 59(4): 1537-1552. DOI:10.15517/rbt.v59i4.3418
- SABO, J. L., J. L. BASTOW & M. E. POWER. 2002. Length-mass relationship for adult aquatic and terrestrial invertebrates in a California watershed. *Journal of the North American Benthological Society* 21(1): 336-343. DOI:10.2307/1468420

- SMOCK, L. A. 1980. Relationships between body size and biomass of aquatic insects. *Freshwater Biology* 10: 375-383. DOI:10.1111/j.1365-2427.1980.tb01211.x
- STARK, B. 1995. New species and records of *Anacroneuria* (Klapálek) from Venezuela. *Spixiana* 18(3): 211-249.
- STARK, B. P., C. FROELICH & M. DEL C. ZÚÑIGA. 2009. South American Stoneflies (Plecoptera). In: JJ. Adis, R., J. R. Arias, S. Golovatch, K. M. Wantzen & G. Rueda-Delgado (eds.). *Aquatic Biodiversity of Latin American-ABLA*. Sofia-Moscow: Pensoft, pp. 154.
- STOFFELS, R. J., S. KARBE & R. A. PATERSON. 2003. Length mass models for some common New Zealand littoral benthic macroinvertebrates, with a note on within taxon variability in parameter values among published models. *Journal of Marine and Freshwater Research* 37(2): 449-460. DOI:10.1080/00288330.2003.9517179
- TAMARIS-TURIZO, C. E., R. R. TURIZO & M. DEL C. ZÚÑIGA. 2007. Distribución espacio-temporal y hábitos alimentarios de ninfas de *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en el río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). *Caldasia* 29(2): 375-385. DOI:10.15446/caldasia
- TAMARIS-TURIZO, C. E. 2009. Transporte de materia orgánica y deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo de un río tropical. Tesis de Maestría, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. 72 p.
- TIERNO DE FIGUEROA, J. M. & M. J. LÓPEZ-RODRÍGUEZ. 2015. Clase Insecta, Orden Plecoptera. *Revista Ibero Diversidad Entomológica* 43: 1-14.
- ZÚÑIGA, M. DEL C. & B. STARK. 2002. New species and records of Colombian *Anacroneuria* (Insecta, Plecoptera, Perlidae). *Spixiana* 25(3): 209-224.
- ZÚÑIGA, M. DEL C., B. P. STARK, W. CARDONA, C. TAMARIS-TURIZO & O. E. ORTEGA. 2007. Additions to the Colombian *Anacroneuria* fauna (Plecoptera: Perlidae) with descriptions of seven new species. *Illiesia* 3(13): 127-149.
- ZÚÑIGA, M. DEL C. 2010. Diversidad, distribución y ecología del Orden Plecoptera (Insecta) en Colombia, con énfasis en *Anacroneuria* (Perlidae). *Momentos de Ciencia* 7(2): 101-112.



## Determination of hydraulic transmissivity in coastal aquifer by optimal estimation of the Qe-T relationship using Kalman filter

## Determinación de la transmisibilidad hidráulica en un acuífero costero mediante estimación óptima de la relación Qe-T usando el filtro de Kalman

Jaime Herrera-Barrientos<sup>1</sup>, Héctor José Peinado-Guevara<sup>2</sup>, José de Jesús Campos-Gaxiola<sup>3</sup>, Adriana Cruz-Enriquez<sup>3</sup>, Víctor Manuel Peinado-Guevara<sup>2</sup>, María de los Ángeles Ladrón de Guevara-Torres<sup>4</sup>, Salvador Isidro Belmonte-Jiménez<sup>4</sup> and Leonardo Herrera<sup>1</sup>

Recibido: 14 de febrero de 2019.

Aceptado: 10 de octubre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

### ABSTRACT

**Background:** The knowledge on the management of water as a vital resource to develop agriculture allows having greater effectiveness in its use. **Goals:** The agricultural activity in the lower part of the Sinaloa River depends on the fresh water of the regional dams and the aquifer. **Methods:** The use of groundwater represents approximately 15% of the total water used. In the presence of prolonged periods of drought, new wells are drilled without the use of an appropriate guide for farmers on the location of aquifer areas with a greater hydraulic transmissivity with the purpose of exploiting them more rationally. The National Water Commission has registered more than 680 wells on both banks of the Sinaloa River. **Results:** The information of 205 of these pumping wells for agricultural or domestic use and the specific capacity information was analyzed. Then, 79 out of 205 wells have pumping tests. It is then determined that the objective of this research work was to find the relationship between the specific capacity (Qe) and hydraulic transmissivity (T) data of the study area using the Thiem formula, considering a fixed value of the radius of influence. This hypothetical consideration and the heterogeneities of the aquifer environment add to the T-Qe relationship an additional component, it is determined that it has a normal behavior. Using the Kalman filter it is possible to eliminate or reduce such a component, thus improving the determination of the T-Qe relation of an R-value of 0.95 (without filter) to 0.97 (with filter), for a linear and exponential relationship. **Conclusions:** The application of a T-Qe estimate allows characterizing the aquifer area, with this procedure a map was obtained on the distribution of T, which will serve as a guide for future exploitations of groundwater in the study area.

**Keywords:** groundwater, hydraulic parameters, Kalman filter, Thiem formula

<sup>1</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas, Ensenada, B. C., 22860. México

<sup>2</sup> Escuela de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz s/n, San Joaquín, Guasave, Sinaloa, 81049. México

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa. Fuente de Poseidón y Ángel Flores s/n, Jiquilpan, Los Mochis, Sinaloa, 81210. México

<sup>4</sup> Instituto Politécnico Nacional, Unidad CIDIIR-Oaxaca. Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán. Oaxaca, Oaxaca, 71230. México

#### \*Corresponding author:

José Peinado-Guevara: e-mail: hpeinado75@hotmail.com

#### To quote as:

Herrera-Barrientos, J., H. J. Peinado-Guevara, J. de J. Campos-Gaxiola, A. Cruz-Enriquez, V. M. Peinado-Guevara, M. de los A. Ladrón de Guevara-Torres, S. I. Belmonte-Jiménez & L. E. Herrera. 2020. Determination of hydraulic transmissivity in coastal aquifer by optimal estimation of the Qe-T relationship using Kalman filter. *Hidrobiológica* 30 (3): 211-219.

### RESUMEN

**Antecedentes:** El conocimiento sobre el manejo del agua como recurso indispensable para desarrollar la agricultura permite tener mayor efectividad en su uso. **Objetivos:** La actividad agrícola en la parte baja del río Sinaloa depende del agua dulce de las presas regionales y del acuífero. **Métodos:** El uso del agua subterránea, representa aproximadamente el 15% del agua total usada. Ante la aparición de periodos de sequía prolongados, se perforan nuevos pozos sin el uso de una guía apropiada que oriente a los agricultores sobre la ubicación de las zonas acuíferas que tienen una mayor transmisividad hidráulica con el propósito de explotarlos de manera más racional. **Resultados:** La Comisión Nacional del agua tiene registrados más de 680 pozos en ambas márgenes del Río Sinaloa. Se analizó la información de 205 de estos pozos de bombeo para uso agrícola o doméstico y la información de capacidad específica. De este número, 79 pozos tienen pruebas de bombeo. Se determina entonces que el objetivo de este trabajo de investigación fue encontrar la relación entre los datos de capacidad específica (Q<sub>e</sub>) y transmisividad hidráulica (T) de la zona de estudio usando la fórmula de Thiem, considerando un valor fijo del radio de influencia. **Conclusiones:** Esta consideración hipotética y las heterogeneidades del medio acuífero suman a la relación T-Q<sub>e</sub> una componente adicional, se determina que tiene un comportamiento normal. Mediante el filtro de Kalman es posible eliminar o reducir tal

componente, mejorando así la determinación de la relación  $T-Q_e$  de un valor  $r$  de 0.95 (sin filtro) a 0.97 (con filtro), para una relación lineal y exponencial. La aplicación de una estimación  $T-Q_e$  permite caracterizar la zona acuífera, con este procedimiento se obtuvo un mapa sobre la distribución de  $T$ , que servirá de guía para futuras explotaciones del agua subterránea en la zona de estudio.

**Palabras claves:** agua subterránea, filtro de Kalman, fórmula de Thiem, parámetros hidráulicos

## INTRODUCTION

Hydraulic conductivity and transmissivity of an aquifer constitutes essential data for groundwater exploitation management and planning (Kazakis *et al.*, 2016). Measurements of aquifer hydraulic parameters can be measured by laboratory experiments or *in situ* tests; however, the former are inaccurate, and the latter is expensive and difficult (Bateni *et al.*, 2015).

Hydraulic transmissivity ( $T$ ) determines the flow of groundwater that is transmitted through a vertical strip of aquifer unit width under a hydraulic gradient unit (Palafox-Avila, 2008). This parameter is required in numerical flow modeling processes (Painter *et al.*, 2007; Asfahani, 2016); horizontal recharge of fresh water (Cruz-Falcón *et al.*, 2013); in the determination of the radius of influence of the descent cone of the well (Vargas, 2016) in order to determine the perimeters for the protection from contamination of the well water, and water management, among others. It is useful to estimate the groundwater resource and its integral management (Tizro *et al.*, 2012). Its determination can be from the specific well capacities ( $Q_e$ ), which is obtained from the pumping flow  $Q$ , static and dynamic level in a pump well once it is stabilized.

Through the Thiem's formula, assuming a fixed influence radius and that there are no load losses in the wells, using a relation between transmissivity values obtained from pumping tests and their corresponding specific capacity, dependency relations are obtained between both parameters, which can be linear or exponential (Al Farrah *et al.*, 2013).

Determinations of  $T$  in the manner indicated above have been made successfully in different geological environments (Chandra *et al.*, 2008; Perdomo *et al.*, 2014; Malík *et al.*, 2015; Sanz *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2013). WRI Report 87-4034 (2008) states that estimates of transmissivity from specific capabilities provide values that are used to characterize transmissivity in certain local areas and may reveal trends or patterns. However, there are cases where this relation is not met due to the heterogeneity present in the aquifer, and erroneous transmissivities that do not correspond to the aquifer are obtained.

The groundwater of the coastal aquifer of the lower right and left bank of the Sinaloa River constitutes an important element of support for the development of agricultural activity in the region, since the water from local dams is insufficient to irrigate the Guasave valley, that is why the extraction of groundwater is required through wells and bored wells. Of the total water used in agriculture, groundwater accounts for 15% and surface water 85% (Peinado-Guevara *et al.*, 2017).

The bed of the Sinaloa River is regulated by the Gustavo Díaz Ordaz Dam. In 2005, with the water from the dam, the left and right banks of the Sinaloa River were irrigated, 54,134 ha and 45,105 ha, respectively, corresponding to the Irrigation District No.63. Guillermo Blake Aguilar

is another dam in the region, with this, 21,820 ha are cultivated. CONAGUA (2000), using the piezometric fluctuations method, determined an overexploitation of 97.3 million  $m^3$  for October 1997 and October 1998 periods.

The National Water Commission has registered more than 680 pumping wells distributed on both banks of the Sinaloa River, of the which, 79 pumping tests are analyzed with their respective information of specific capacity  $Q_e$  and hydraulic transivity  $T$ . The Kalman filter is applied to the  $Q_e$ - $T$  relation which is widely used to estimate the state of dynamic systems, as an optimization method, as an optimizer that eliminates or reduces the normal random component that is the use that will be given in this work to remove the Gaussian noise component produced naturally by assuming that the radius of influence of the wells is constant as well as by the influence of the heterogeneities of the aquifer, which deviate from the theoretical considerations of the Thiem formula which assumes that the aquifer is confined, homogeneous, isotropic, horizontal, among other considerations.

## MATERIALS AND METHODS

**Description of the study area.** The study area lies between the coordinates  $25^{\circ}25'8.36''$  and  $25^{\circ}48'30.04''$  north latitude and  $108^{\circ}13'32.64''$  to  $108^{\circ}35'38.65''$  west longitude (Fig. 1). The climate is very hot and warm dry with rain in summer. The average annual precipitation for the period 1986-2013 fluctuated from 300 to 400 mm (INEGI, 2014). The average annual temperature is of 22 to 24° for the serie1986-2013 (INEGI, 2014). The soils are of alluvial origin, Cenozoic era, Quaternary period, Vertisol soils predominate (62.55% of the surface of the municipality) (INEGI, 2009).

**Wells information.** 205 pumping wells for agricultural or domestic use that have specific capacity information were analyzed. Of these, 79 wells have pumping tests carried out by the National Water Commission using different techniques.

Of the wells with pumping test it was obtained that 11.4% of the  $T$  values are between medium to high ( $100 < T < 500 m^2/day$ ), 8.9% in high ( $500 < T < 1000 m^2/day$ ) and 79.7% in very high ( $T > 1000 m^2/day$ ) according to the classification of Villanueva & Iglesias (1984). Those values indicate that this is a coastal aquifer with high capacity to transmit water that, in the face of a scenario of overexploitation due to its high potential to be contaminated by saline intrusion or contamination by dissolution due to the presence of evaporite bodies in the study zone.

There is information of 30 lithological columns with depths ranging between 100 and 150 meters, with four lithological sections being constructed that show the heterogeneous distribution (horizontal and vertical variations) of the aquifer materials. The wells were geolocated with a portable GPS Magallanes brand.

**$Q_e$ - $T$  relation.** Al Farrah *et al.* 2013 uses the Thiem equation which, by setting a value of  $R$  and substituting that of  $r_w$  according to the radius of the well in question, Thiem's formula can be written as

$$T = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{R}{r_w} \right) (Q/s)$$

$$T = C(Q/s)$$

$$T = CQ_e$$

Where: T is hydraulic transmissibility (m<sup>2</sup>/day), R is the radius of influence of the pumping well (m) and r<sub>w</sub> (m) is the radius of the well, s (m) is the depression in the well. For a given R value and the corresponding radius of the well r<sub>w</sub>, the term  $\frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{R}{r_w}\right)$  is a constant, C.

Hamm *et al.* (2005) and Galvão *et al.* (2016) have established relations of the form:

$$T = C(Q/s)^n$$

The range of the exponential coefficient is in a range of 0.6 to 1.4 and is related to the lithology and the aquifer (Al Farrah *et al.*, 2013).

With 79 pairs of Q<sub>0</sub> values, T obtained from the National Water Commission, the Q<sub>0</sub>-T ratio was found without using the Kalman filter and using the filter. From the filtered T-Q<sub>0</sub> ratio, a map of equal hydraulic transmissibility was obtained, which is a guide for future drilling.

**Uncertainties of Q<sub>e</sub> and T.** The values of Q<sub>e</sub> and T present uncertainties due to the following: an aquifer tends to present heterogeneities and anisotropy, the well does not always cross the entire aquifer formation, part of the water pumped from the well reaches reincorporated into the aquifer, the pumping flow Q tends to present variations due to fluctuations in the electric current of the pumping system, the diameter of the well is finite and there is usually a head drop in the well due to the screen pipe or well face, the radius of influence is often unknown, among others factors. All these variables add uncertainties to the relationship between Q<sub>e</sub> and T expressed by Thiem equation, which establishes that it is that of a straight line that passes through the origin and that, due to the aforementioned uncertainties, it undergoes variations, so that the Kalman filter eliminates additive contributions whose behavior has a normal distribution (white noise uncertainty), thus achieving a better relationship between Q<sub>e</sub> and T given by the correlation coefficient.

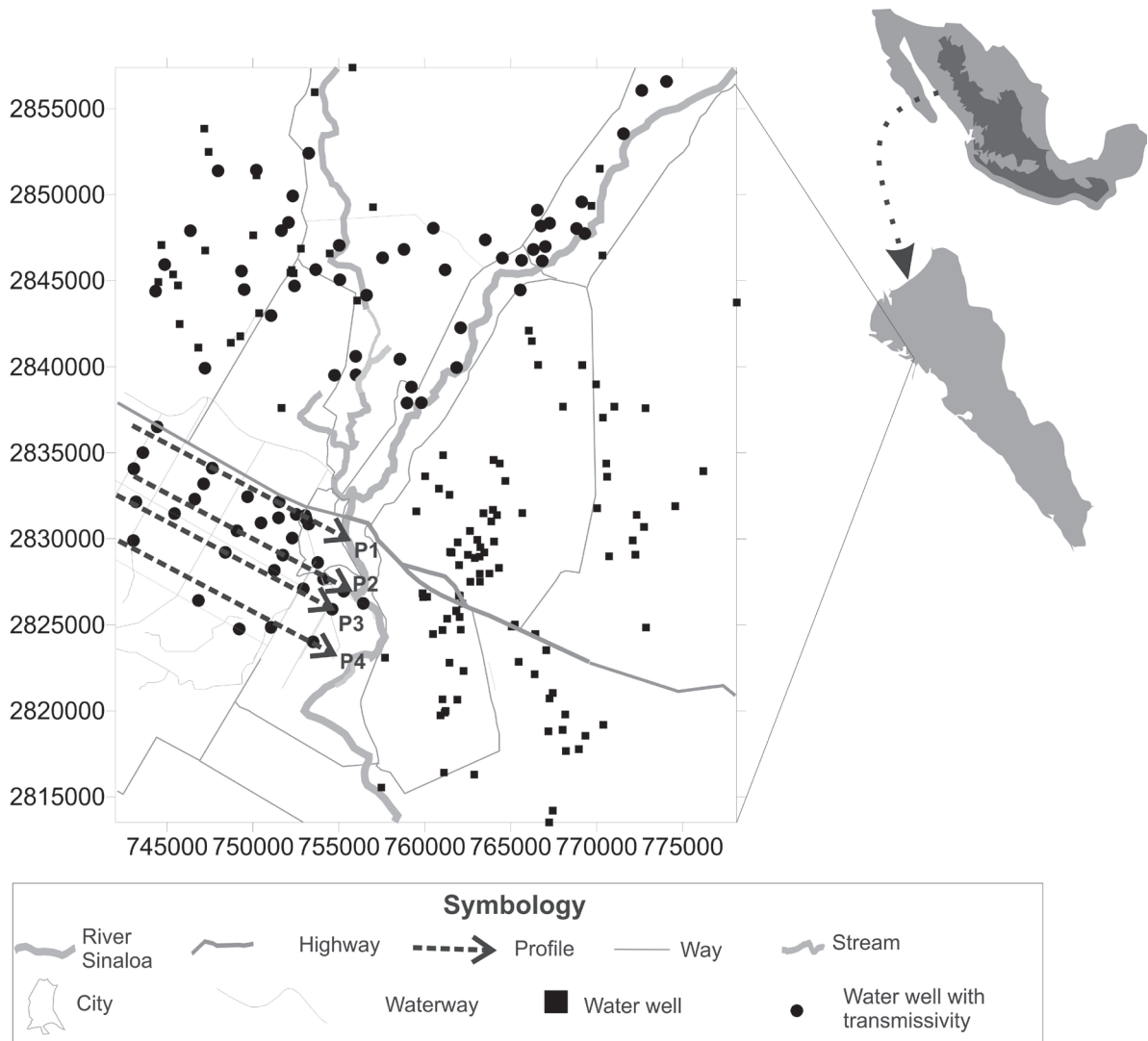


Figure 1. Location of the study area. With black circles are indicated wells with information of pumping tests and with black squares the wells with specific capacity information.



**Kalman Filter.** The Kalman Filter (KF) is an optimal estimator (Kim, 2011). Faragher, 2012, indicates that it has extensive use as a noisy data smoother. Following Grewal-Mohinder & Andrews, 1995, the discrete-time model is established for a linear stochastic system which takes the form:

$$x_k = A_{k-1} x_{k-1} + u_{k-1} \tag{1}$$

$$y_k = C_k x_k + v_k \tag{2}$$

The zero mean uncorrelated Gaussian random processes  $\{u_{k-1}\}$  and  $\{v_k\}$  have matrices of variances  $Q_{k-1}$  and  $R_k$ , respectively, at time  $t_k$ ;  $x_k$  describe the unknown signal;  $y_k$  is the measurement with white gaussian noise and the matrices  $A_{k-1}$  and  $C_k$  are constants. The KF as a data softener has the form:

$$\hat{x}_k^- = A_{k-1} \hat{x}_{k-1}^+$$

$$P_k^- = A_{k-1} P_{k-1}^+ A_{k-1}^T + Q_{k-1}$$

$$K_k = P_k^- C_k^T (C_k P_k^- C_k^T + R_k)^{-1}$$

$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k (y_k - C_k \hat{x}_k^-)$$

$$P_k^+ = P_k^- - K_k C_k P_k^-$$

Where  $\hat{x}_k^-$  is the estimate signal of  $x_k$  before processing the measurement  $y_k$  in the instant  $t_k$ ;  $P_k^-$  is the variance of the estimation error  $\hat{x}_k^-$ ;  $K_k$  is the optimization factor, usually named Kalman gain;  $\hat{x}_k^+$  describes the estimate signal of  $x_k$  after processing the measurement  $y_k$  in the instant  $t_k$ ; and  $P_k^+$  is the variance of the estimation error  $\hat{x}_k^+$ .

For the particular case of this work, that correspond to the filtering of signals, the system (1) and (2) as well as the KF are specified with the matrices:

$$A_{k-1} = I_{2 \times 2}$$

$$C_k = I_{2 \times 2}, Q_{(k-1)} = 0.1 I_{2 \times 2}, R_k = 0.01 I_{2 \times 2} \text{ and initial conditions}$$

$$\hat{x}_0^+ = [173, 7.5]^T \text{ and } P_0 = I_{2 \times 2}$$

### RESULTS

**Geometry of the aquifer.** With the information available from 30 lithological columns, the aquifer's geometry was determined, as well as the distribution of the aquifer materials, which, as can be seen, has significant lateral and vertical heterogeneities. Figure 2 shows four profiles with the sequence of materials showing the abundance of gravel with clay-silt matrix, highlighting the presence of a gravel body, which

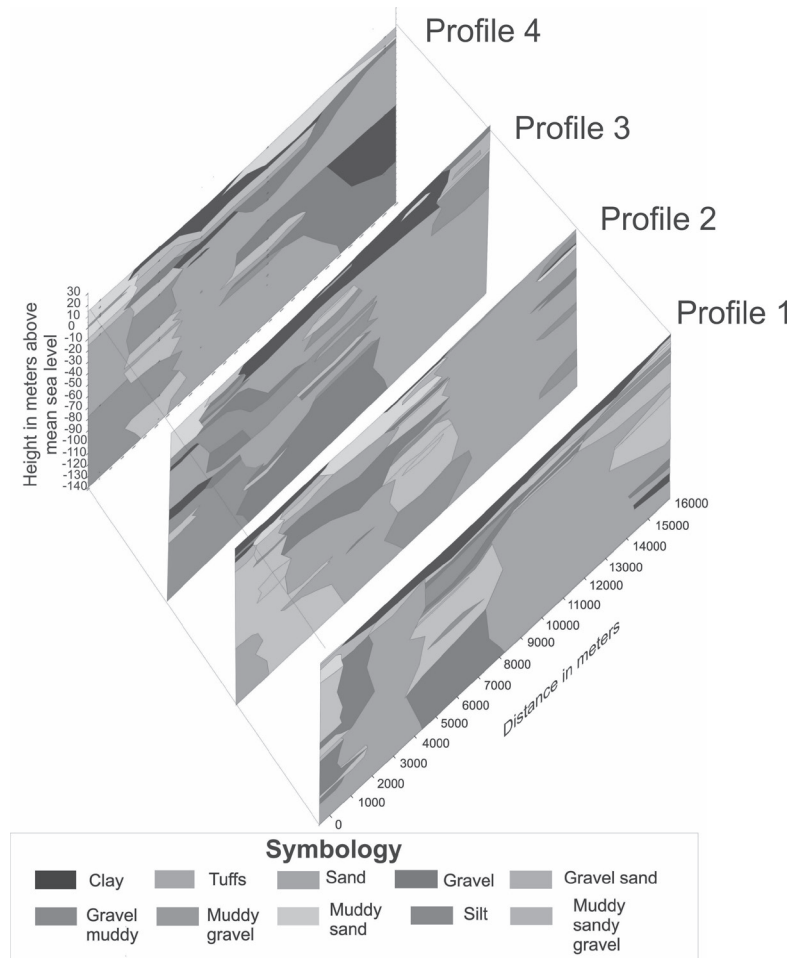


Figure 2. Perpendicular section to the Sinaloa River.

are indicators of the ability of materials to yield water. The wells of 100 to 150 m partially penetrate the aquifer, since it cannot touch the geological or hydrological basement.

**Relation between specific capacity and hydraulic transmissivity.**

The empirical approach is based on determining the empirical relations between T and  $Q_p$ , which are regarded as aquifer and area-specific

(El-Naqa, 1994; Al Farrah *et al.*, 2013). Table 1 shows the values of hydraulic transmissivity, and specific capacity  $Q_p$ . Figure 5 shows the relation between transmissivity and specific flow rate with an adjustment of 0.989, so it is possible to estimate the transmissivity in function of its specific capacity. T is directly proportional to the specific flow, such as those obtained by Bosch, 2014, Chandra *et al.*, 2008, Ebong *et al.*, 2014 and Perdomo *et al.*, 2014.

Table 1. Wells data from pumping tests and specific well capacities.

Coordinates		Hydraulic transmissivity m/day	Specific well capacities ( $Q_p$ ) lps/m	Coordinates		Hydraulic transmissivity m/day	Specific well capacities ( $Q_p$ ) lps/m
X	Y			X	Y		
749489	2844495	173	7.5	767015	2846992	3629	30.6
750195	2851435	207	3.2	767267	2848352	3646	29.4
758551	2840450	242	3.5	766837	2846157	4441	47
749330	2845569	251	2.9	752315	2849936	4454	37
744860	2845948	276	3.9	758790	2846828	4687	34.5
759225	2838831	302	3.8	756001	2839538	4700	34.6
747965	2851393	354	4.8	766321	2846824	5435	37.2
766554	2849107	492	4.2	768835	2848045	6834	75.9
763521	2847384	570	5	755058	2845062	8208	57.5
761184	2845644	829	6.9	751056	2824860	3410	27.506
751656	2847922	864	10.2	753500	2824020	2925	26.051
752414	2844704	924	20.8	754605	2825918	1588	13.136
769138	2849591	924	8	753768	2828632	1909	16.313
764518	2846326	1020	8.7	753040	2831360	2888	27.334
761854	2839960	1054	11.6	752519	2831428	3158	27.425
759801	2837919	1210	14.5	751240	2828174	3116	25.799
755019	2847063	1253	11.2	749198	2824766	4078	35.123
744330	2844398	1305	11.1	746824	2826422	4569	40.408
765560	2844468	1339	12.9	748387	2829222	4295	37.584
762087	2842274	1382	12	749063	2830475	2354	17.067
758964	2837902	1469	15.7	750466	2830934	2039	16.423
760495	2848063	1529	14.2	751524	2832152	1695	14.293
746357	2847915	1555	20.3	747628	2834115	1369	11.574
755981	2840616	1555	17.2	746611	2832315	1050	10.214
751052	2842985	1564	16.3	745434	2831474	2401	21.481
754746	2839514	1620	14.2	756419	2826252	1721	14.786
753243	2852417	1728	16.8	743042	2829906	2117	19.524
756610	2844169	1771	18	743186	2832156	452	3.908
753091	2831170	1901	21.5	743064	2834081	1676	14.466
753236	2830864	1901	21.6	744423	2836516	987	10.424
757544	2846342	2125	19	743590	2835017	715	5.937
774069	2856590	2195	21	755282	2826961	1725	16.063
772631	2856067	2316	22.4	747126	2833203	2319	19.399
769315	2847747	2411	25.9	749683	2832454	2325	21.208
765637	2846194	2635	28.1	751488	2831230	1254	11.335
747203	2839926	2730	23.2	752286	2830051	2685	25.924
766768	2848188	2981	29.4	751737	2829058	3139	29.707
753652	2845651	3041	27.3	752929	2827102	2063	17.914
752065	2848392	3283	37.4	754113	2827671	2207	18.492
771567	2853551	3473	37.3				

Relation is given by:

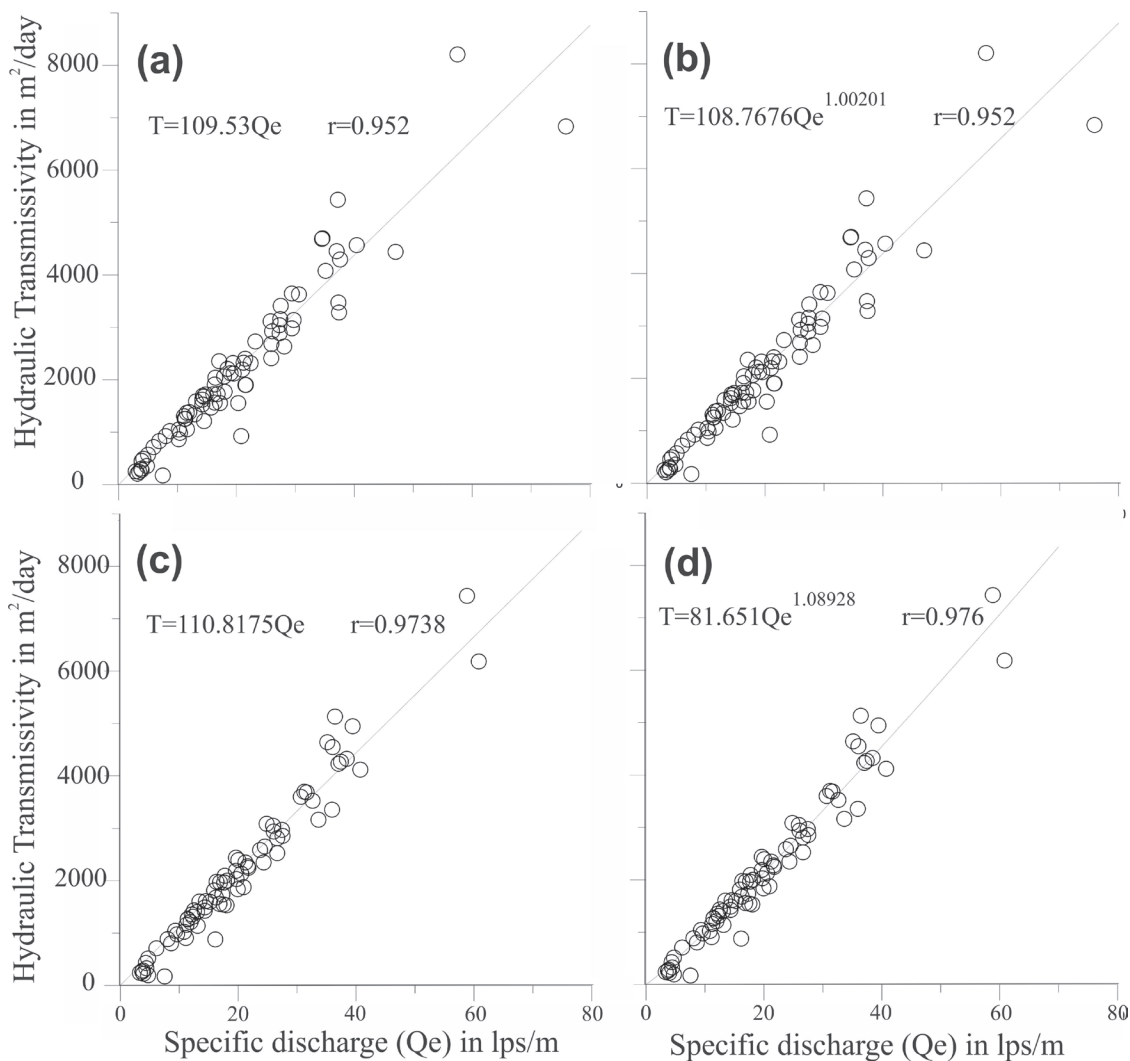
$$T = 109.533Q_e$$

Bosch (2014) states that the factor that relates to T with  $Q_e$  oscillates from a range between 100 to 500, so the relation obtained is consistent with that obtained in other aquifers by other authors.

Figure 3 shows that it is possible to estimate the hydraulic transmissivity in function of specific capacity. The application of the Kalman filter to the  $T-Q_e$  relation improved the correlation coefficient going from

0.95 to 0.97. Figure 3c shows how applying the Kalman filter reduces the dispersion of the data and therefore increases r, as is the case.

**Practical application.** In 126 pumping wells  $Q_e$  was calculated by knowing the expense, static and dynamic level of the water in each well, estimating T from a relation  $T = 109.533Q_e$ . The map of equal values of hydraulic transmissivity shows that it is lower on the left bank of the Sinaloa River, which is consistent with that established by Norzagaray-Campos (2003), who built four profiles parallel to the river, indicating that the lithological changes are explained by the migration of the Sinaloa River from East to West.



Figures 3a-d. Regression line fitting specific discharge ( $Q_e$ ) and transmissivity (T) data from pumping tests in 79 wells: a) linear regression; b) exponential relation; c) linear regression with Kalman filter; d) exponential relation with Kalman filter.

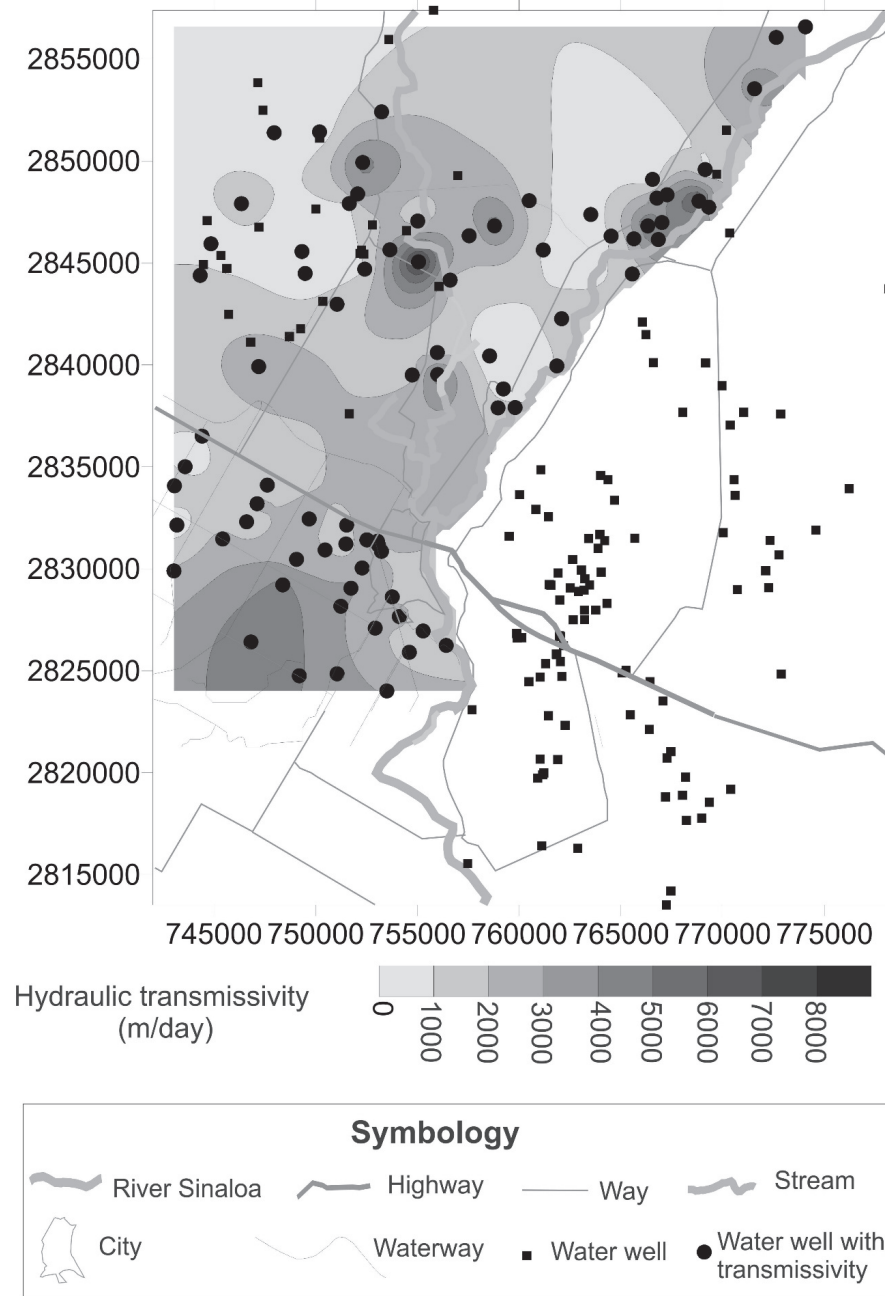
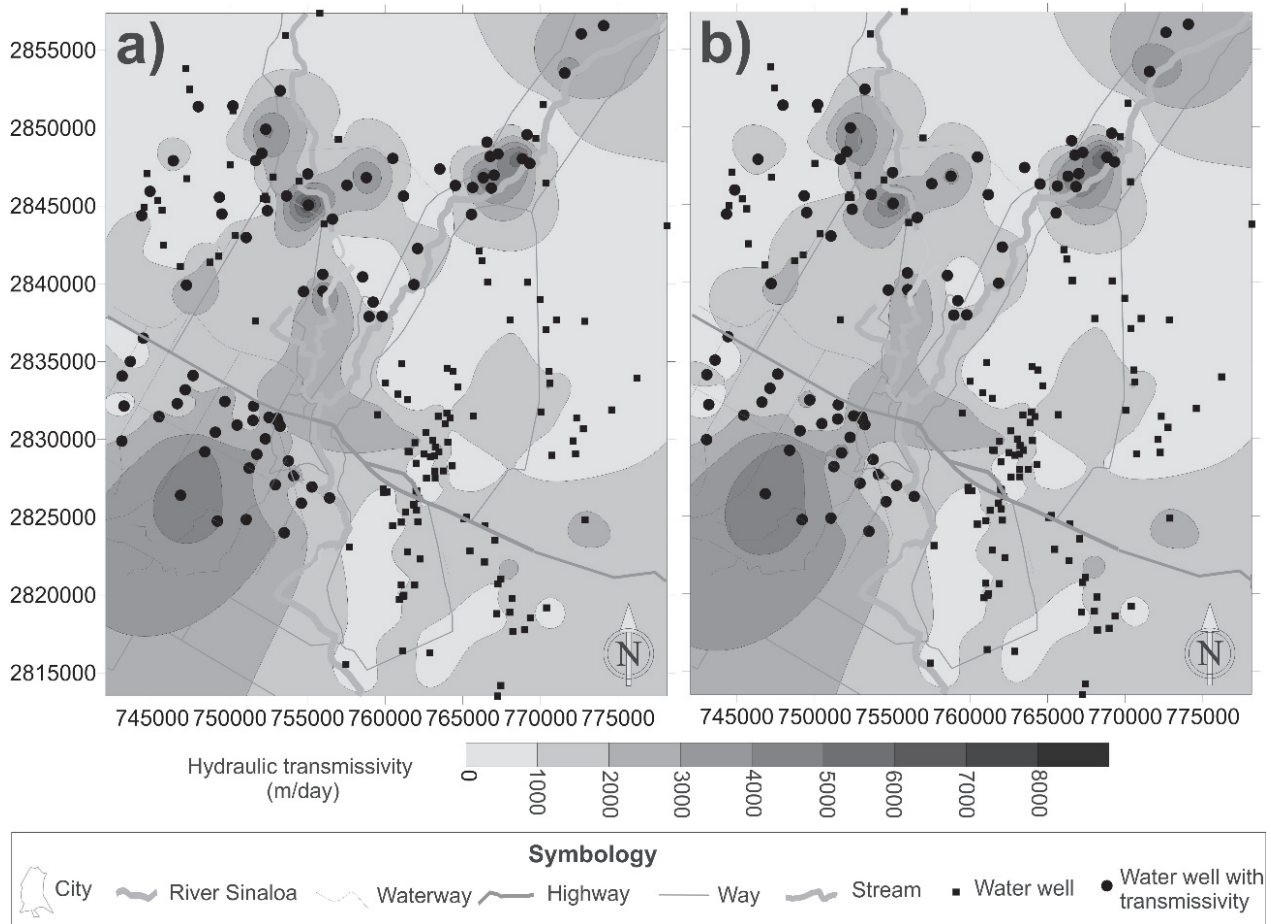


Figure 4. Transmissivity Isocontours in m<sup>2</sup>/day.

### DISCUSSION

Specific capacity is directly proportional to T, such as those obtained by [Ebong *et al.*, 2014; Perdomo *et al.*, 2014, Bosch, 2014, Zeferino *et al.*, 2016, Hamm *et al.*, 2005 y Galvão *et al.*, 2016]. The relation  $T/Q_e = 109.533$  is in the range proposed by Bosch (2014) who established that the factor that relates T with  $Q_e$  oscillates in a range between 100 and 500, reason why the relation obtained is consistent with that obtained

in other aquifers, as reported by Perdomo *et al.* (2014)  $T = 135.36Q_e - 50$  and Zeferino *et al.* (2016) of  $T = 100.23 Q_e - 7.126$  in different geological environments. In other studies, this relation has been of the exponential form as reported by Hamm *et al.* (2005)  $T=0.99 Q_e^{0.89}$  where T and  $Q_e$  are in m<sup>2</sup>/day. Galvão *et al.* (2016) also proposes an empirical relationship in karst systems in Sete Lagoas, MG, Brazil.  $T=330 Q_e^{0.21}$  where T and  $Q_e$  are in m<sup>2</sup>/day, the coefficient of determination R<sup>2</sup> was 0.55.



Figures 5a-b. Hydraulic transmissivity behavior (m<sup>2</sup>/day) in the study area: a) from the linear relation; b) from the Kalman filter application.

It has been found that the Kalman filter is a useful tool in the determination of the relation  $T-Q_e$ , since it improved the relation between both parameters by increasing the correlation coefficient. The Thiem formula has a practical application that, although it is a relation for a homogeneous and isotropic medium, works in areas that present heterogeneities as is the present case.

Heterogeneities that are considered to have an effect with normal behavior in the  $T-Q_e$  relation, which can be reduced by the Kalman filter, as indicated, the correlation increased from 0.95 to 0.97.

The  $T-Q_e$  relation has practical application since it allows to characterize the aquifer environment concerning  $T$ .

### ACKNOWLEDGMENT

Our gratitude to the General Direction of Research and Post graduate of the Autonomous University of Sinaloa for supporting the project and generate the suitable conditions to fulfill the present work.

### REFERENCES

- AL FARRAH, N., M. VAN CAMP & K. WALRAEVENS. 2013. Deducing transmissivity from specific capacity in the heterogeneous upper aquifer system of Jifarah Plain, NW-Libya. *Journal of African Earth Sciences* 85: 12-21. DOI:10.1016/j.jafrearsci.2013.04.004
- ASFAHANI, J. 2016. Hydraulic parameters estimation by using an approach based on vertical electrical soundings (VES) in the semi-arid Khanasser valley region, Syria. *Journal of African Earth Sciences* 117: 196-206.
- BATANI, S. M., M. MORTAZAVI-NAEINI, B. ATAIE-ASHTIANI, D. S. JENG & R. KHANBILVARDI. 2015. Evaluation of methods for estimating aquifer hydraulic parameters. *Applied Soft Computing* 28: 541-549. DOI:10.1016/j.asoc.2014.12.022
- BOSCH, A. P. 2014. *Nociones de hidrogeología para ambientólogos*. Universidad Almería. 500 p.
- CHANDRA, S., S. AHMED, A. RAM & B. DEWANDEL. 2008. Estimation of hard rock aquifers hydraulic conductivity from geoelectrical measurements: a



- theoretical development with field application. *Journal of Hydrology* 357 (3): 218-227. DOI:10.1016/j.jhydrol.2008.05.023
- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2000. Expediente técnico justificativo del acuífero del Río Sinaloa para la publicación de la disponibilidad en el Diario Oficial de la Federación. Culiacán, Sinaloa. 36 p.
- CRUZ-FALCÓN, A., J. RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, R. VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, E. H. NAVA-SÁNCHEZ, E. TROYO-DIÉGUEZ & H. C. FRAGA-PALOMINO. 2013. Estimación de la recarga y balance hidrológico del acuífero de la Paz, BCS, México. *Universidad y Ciencia* 29 (1): 87-100.
- EBONG, E. D., A. E. AKPAN & A. A. ONWUEGBUCHE. 2014. Estimation of geo-hydraulic parameters from fractured shales and sandstone aquifers of Abi (Nigeria) using electrical resistivity and hydrogeologic measurements. *Journal of African Earth Sciences* 96: 99-109. DOI:10.1016/j.jafrearsci.2014.03.026
- EL-NAQA, A. 1994. Estimation of transmissivity from specific capacity data in fractured carbonate rock aquifer, central Jordan. *Environmental Geology* 23 (1): 73-80. DOI:10.1007/BF00773142
- FARAGHER, R. 2012. Understanding the basis of the kalman filter via a simple and intuitive derivation [lecture notes]. *IEEE Signal processing magazine* 29 (5): 128-132.
- GALVÃO, P., T. HALIHAN & R. HIRATA. 2016. The karst permeability scale effect of Sete Lagoas, MG, Brazil. *Journal of Hydrology* 532: 149-162. DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.11.026
- GREWAL-MOHINDER, S. & A. P. ANDREWS. 1995. *Kalman filtering theory and practice*. Prentice Hall. 382 p.
- HAMM, S. Y., J. Y. CHEONG, S. JANG, C. Y. JUNG & B. S. KIM. 2005. Relationship between transmissivity and specific capacity in the volcanic aquifers of Jeju Island, Korea. *Journal of Hydrology* 310 (1): 111-121. DOI:10.1016/j.jhydrol.2004.12.006
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Sinaloa, Sinaloa. 9 p.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). 2014. Anuario estadístico y geográfico de Sinaloa 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 451 p.
- KAZAKIS, N., G. VARGEMEZIS & K. S. VOUDOURIS. 2016. Estimation of hydraulic parameters in a complex porous aquifer system using geoelectrical methods. *Science of the Total Environment* 550: 742-750. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.01.133
- KIM, P. 2011. Kalman Filter for Beginners with Matlab Examples. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- MALIK, P., R. ČERNÁK & J. ŠVASTA. 2015. Comparison of Resistive Hydraulic Properties of Granitoids, Metamorphic and Carbonate Rocks from Specific Discharge Data. *Engineering Geology for Society and Territory*. Springer, Cham 3: 549-556. DOI:10.1007/978-3-319-09054-2\_111
- NORZAGARAY-CAMPOS, M. 2003. Flujo regional en acuíferos, sus causas y efectos en la dispersividad hidrodinámica: un caso de estudio. Tesis doctoral, CINVESTAV-Unidad Mérida. Mérida, México. 169 p.
- PAINTER, S. L., A. D. WOODBURY & Y. JIANG. 2007. Transmissivity estimation for highly heterogeneous aquifers: comparison of three methods applied to the Edwards Aquifer, Texas, USA. *Hydrogeology Journal* 15 (2): 315-331. DOI:10.1007/s10040-006-0071-y
- PALAFÓX-ÁVILA, G. 2006. Riesgo Potencial a inundaciones en la ciudad de Guasave, Sinaloa, México, Tesis de Maestría, CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Guasave, Sinaloa. 115 p.
- PEINADO-GUEVARA, H. J., J. HERRERA-BARRIENTOS, O. DELGADO-RODRÍGUEZ, V. M. PEINADO-GUEVARA, O. LLANES-CÁRDENAS & M. LADRÓN DE GUEVARA-TORRES. 2017. Estimation of Hydrological Parameters from Geoelectrical Measurements. In: El Shahat, A (ed.). *Electrical Resistivity and Conductivity*. Intech Open, pp. 83-94. DOI:10.5772/67990
- PERDOMO, S. J., E. AINCHIL & E. KRUSE. 2014. Hydraulic parameters estimation from well logging resistivity and geoelectrical measurements. *Journal of Applied Geophysics* 105: 50-58. DOI:10.1016/j.jappgeo.2014.02.020
- SÁNCHEZ, Y. S., C. DE MIGUEL-FERNÁNDEZ & S. ROCHENEL. 2013. Caracterización hidrogeológica del Valle del Cauto, provincia Holguín, Cuba. *Minería y Geología* 29 (2): 16-34.
- SANZ, D. S., J. CASTAÑO-CASTAÑO, J. GÓMEZ-ALDAY & P. E. MARTÍNEZ-ALFARO. 2005. Magnitud y rango de transmisividades en las unidades acuíferas carbonatadas UH7 y UH2 del Sistema Mancha Oriental (SMO). SE Español. *Geogaceta* 39: 119-122.
- TIZRO, A. T., K. VOUDOURIS & Y. BASAMI. 2012. Estimation of porosity and specific yield by application of geoelectrical method—A case study in western Iran. *Journal of hydrology* 454: 160-172. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.06.009
- VARGAS, A. G. 2016. Influencia del sismo de Golfito del 30 de julio de 2002 (Mw 6, 2) sobre una prueba de bombeo en el acuífero confinado del sitio de presa del PH Pirris, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 54: 143-153. DOI:10.15517/rgac.v54i0.21151
- VILLANUEVA, M. & A. IGLESIAS. 1984. *Pozos y acuíferos*. Madrid, España, Ibergesa. 426 p.
- WRI (WATER RESOURCES INVESTIGATIONS 87-4034). 2008. Hydrogeology, Aquifer Characteristics, and Ground-Water Flow of the Surficial Aquifer System, Broward County. County, Florida. U.S. Geological Survey. 92 p. Also available at: sofia.usgs.gov/publications/wri/87-4034/spcapacity.html.
- ZEFERINO, J. F. C. 2016. Modelação numérica (FEFLOW) e contaminação por intrusão salina do sistema aquífero Mio-Pliocénico do Tejo, na frente ribeirinha do Barreiro. Tesis de Maestría, Universidad Nova de Lisboa, Portugal. 82 p.





## Hydromedusae (Cnidaria: Hydrozoa) from the coastal lagoon of Bocas de Dzilam, Yucatán

## Hidromedusas (Cnidaria: Hidrozoa) de la laguna costera de Bocas de Dzilam, Yucatán

José María Ahuatzin-Hernández<sup>1</sup>, Jesús Andrés Canul-Cabrera<sup>2</sup>, Candita Mariana Eúan-Canul<sup>2</sup> and Lorena Violeta León-Deniz<sup>2\*</sup>

Recibido: 03 de marzo de 2020.

Aceptado: 28 de noviembre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

### ABSTRACT

**Background:** Hydrozoan populations have an important role on the dynamic of the coastal ecosystems. However, the studies on hydromedusae in coastal lagoons from the Yucatán State are scarce. **Goals:** This study focuses on describe the first taxonomic list of hydromedusae in a coastal lagoon of the State of Yucatan. **Methods:** Samples were obtained through circular surface trawls using a zooplankton net in the coastal lagoon of Bocas de Dzilam. Six sampling stations were established inside the lagoon and eight outside, in adjacent zones to the mouth of the lagoon. The collected hydromedusae were fixed in a 4% formalin solution and identified with specialized literature. **Results:** Nine hydromedusae were identified, grouped into three orders and eight families, from which *Hydractinia carica* constitutes a new record for the Gulf of Mexico; the descriptions and images of the specimens are presented in the paper. **Conclusions:** These results set a basis to start understanding the composition of hydromedusae in the coastal lagoon of Dzilam and continue researching about this complex group in the coasts of Yucatán. However, further research efforts are required in coastal environments of the peninsula, in order to better understand its species composition and richness.

**Keywords:** First record, Gulf of Mexico, medusae, richness.

<sup>1</sup> Departamento de Recursos del Mar, CIN-VESTAV-IPN, Unidad Mérida. Antigua carretera a Progreso, Km 6, Mérida, Yucatán, 97310. México.

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil, Km 15.5, Yucatán, 97100. México

#### \*Corresponding author:

Lorena Violeta León-Deniz: e-mail: lorena.leon@correo.uady.mx.

#### To quote as:

Ahuatzin-Hernández, J. M., J. A. Canul-Cabrera, C. M. Eúan-Canul & L. V. León-Deniz. 2020. Hydromedusae (Cnidaria: Hydrozoa) from the coastal lagoon of Bocas de Dzilam, Yucatán. *Hidrobiológica* 30 (3): 221-231.

### RESUMEN

**Antecedentes:** Las poblaciones de hidrozoos tienen un papel importante en la dinámica de los ecosistemas costeros. Sin embargo, los estudios sobre hidromedusas en lagunas costeras del estado de Yucatán son escasos. **Objetivos:** Este trabajo se centra en describir los ejemplares del primer listado taxonómico de hidromedusas en una laguna costera del estado de Yucatán. **Métodos:** Los ejemplares fueron obtenidos a través de arrastres zooplanctónicos circulares y de manera superficial en la laguna de Bocas de Dzilam. Seis estaciones de muestreo se establecieron en la parte interna de la laguna y ocho en la parte externa, en zonas adyacentes a la boca. Las medusas fueron fijadas en una solución formalina al 4% e identificadas con ayuda de literatura especializada. **Resultados:** Se identificaron nueve hidromedusas, divididas en tres órdenes y ocho familias, de las cuales *Hydractinia carica* constituye un nuevo registro para el Golfo de México; en el documento se proveen las descripciones e imágenes de los organismos analizados. **Conclusiones:** El presente trabajo establece una base para entender la composición de hidromedusas en la laguna costera de Dzilam y continuar investigando sobre este complejo grupo en las costas de Yucatán. Sin embargo, se requieren mayores esfuerzos de investigación con respecto a ecosistemas costeros de la península, a fin de comprender mejor su composición y riqueza de especies.

**Palabras clave:** Golfo de México, medusae, primer registro, riqueza.

## INTRODUCTION

Hydromedusae have an important role in coastal ecosystems due to their biological and ecological features. They can feed on several planktonic organisms, such as copepods, other hydromedusae or even commercially important fish or invertebrate larvae (Cortés-Lacomba *et al.*, 2013). On the other hand, its distribution in the water column is limited and depends on the patterns of marine currents. Thus, they can be used as indicators of water masses and their movements (Martell-Hernández *et al.*, 2014). Like other members of gelatinous zooplankton, their massive proliferation, together with its predatory features makes of them top predators, which can generate an imbalance in food chains (Boero *et al.*, 2008). However, when their densities are controlled, these can act as regulators of other populations, being an important component of the diversity of an ecosystem and creating a link between pelagic and benthonic environments (Ronowicz *et al.*, 2019).

Coastal lagoons of Yucatán provide many ecosystem services, such as recreation, fishing and coastal protection, among others (Kaplowitz, 2000). Unfortunately, several areas are highly perturbed by the urban growth, which causes low water quality and high levels of eutrophication, factors sometimes associated with high abundance of some medusae species (Herrera-Silveira & Morales-Ojeda, 2010). The coastal lagoon of Bocas de Dzilam is part of the Dzilam State Reserve and it was created to protect its species richness. The fauna inventory for this reserve is focused mainly on vertebrate's species (481), such as birds (221) and fishes (152), having only 23 species of marine invertebrates reported in the literature of the area (Diario Oficial de la Federación, 2018; Ahuatzin-Hernández *et al.*, 2019; Herrera-Bojórquez *et al.*, in press).

Knowledge of species composition from an ecosystem is one of the most basic aspects on biodiversity research (Nascimento *et al.*, 2018). To provide this information enriches the value of an ecosystem and allow to implement better natural resource managements (Gravili *et al.*, 2013). In this sense, this paper provides the first taxonomic list of hydromedusae from Bocas de Dzilam lagoon, increasing the number of marine invertebrate species in the Management Plan of the Reserve and makes the first record of *Hydractinia carica* Bergh, 1887 for the Gulf of Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

**Study area.** Bocas de Dzilam lagoon is located on the northern of Yucatán coast (21°19' N, 88°35' W); it is surrounded by mangrove forest (mainly *Rhizophora racemosa* Meyer and *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn) and it is connected to the sea by a channel located in its central region. The salinity levels are generally estuarine (26.5 ‰  $2 \pm 38.9$ ), however it can reach euhaline and hyperhaline conditions in dry season (March-June) (Herrera-Silveira & Morales-Ojeda, 2010; Reyes-Mendoza *et al.*, 2020). This is a shallow lagoon (0.6 meters on average) with the influence of freshwater outcrops (Herrera-Silveira & Ramírez-Ramírez, 1998). Its bottom is covered mainly by the sea grasses: *Halodule wrightii* Ascherson, 1868, *Thalassia testudinum* K. D. Koenig, 1805, *Syringodium filiforme* Kützinger, 1860 and *Ruppia maritima* Linnaeus, 1753. However, it can be also covered either by sand, shells or hard stones (Rosado-Espinosa *et al.*, 2012). Some investigations on zooplankton has been made in the area, where the Copepods has been the main group in abundance. Also has been reported the presence of the Cubozoan *Tripedalia cystophora* Conant, 1897; however, hydromedusae

are not mentioned in these studies (Herrera-Silveira & Morales-Ojeda, 2010; Marina *et al.*, 2017; Ahuatzin-Hernández *et al.*, 2019).

Samples were obtained during the night of 07 and 05 March 2017 and 2018, respectively. The circular trawls were carried out using a zooplankton net of 60 cm of diameter and 333  $\mu$ m of clear mesh. The samples were obtained as part of the field work in the subject of Marine Invertebrates of the Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), so it was not possible to measure neither the volume of filtered water nor environmental parameters for each trawl. Six sampling stations were located inside the lagoon and eight outside, in adjacent zones to the mouth (Fig. 1). The zooplankton samples were fixed in a 4% formalin solution. All the samples were analyzed, and the hydromedusae were separated and counted. The specimens were identified according to Russell (1953), Kramp (1959) and Bouillon *et al.* (2006) and the best-preserved were deposited in the zoological collection of invertebrates (YUC-CC) from the Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). The relative abundance was calculated based on the total abundance of the specimens found in the study. The sampling stations where each species was found are indicated in the section of material examined.

## RESULTS

A total of 437 specimens were collected. Nine taxa were recognized, two were identified up to the genus level and seven up to species level. The hydromedusae were grouped into three orders and eight families. The taxonomic arrangement follows Schuchert (2020) (Table 1). The data of the collected material is provided below.

### Order Anthoatecata

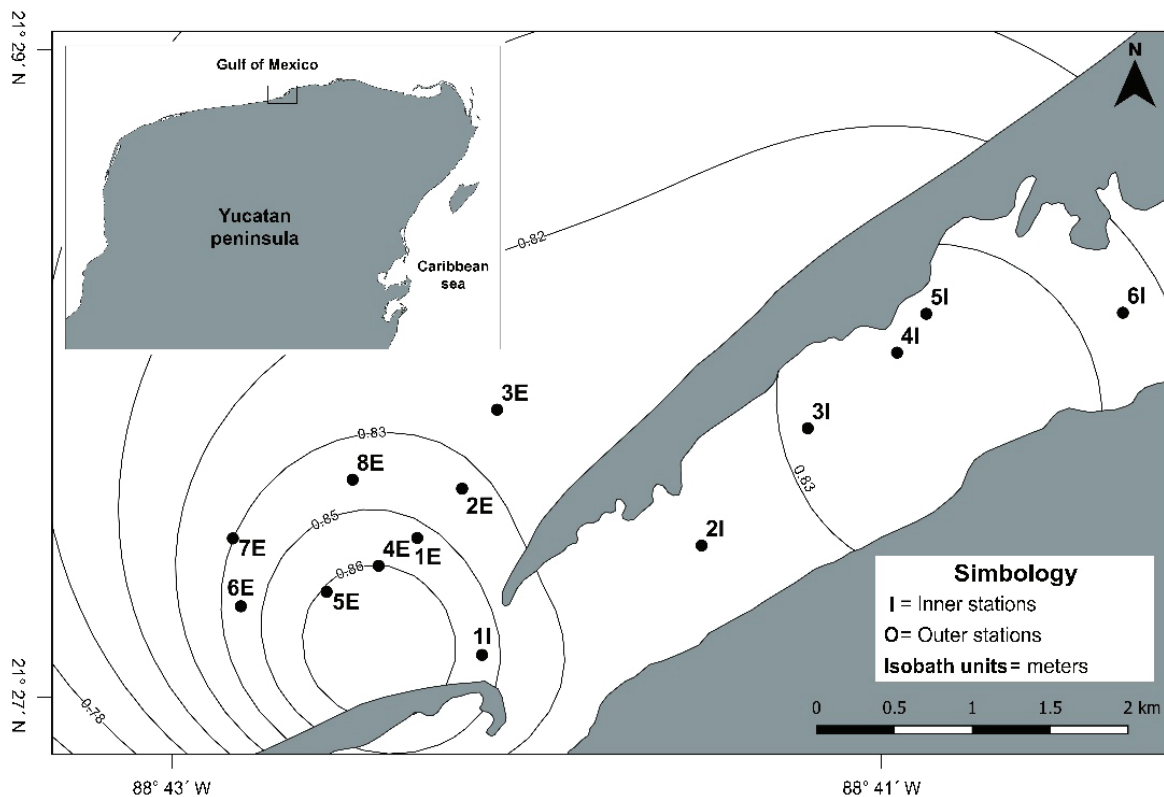
#### Family Bougainvilliidae Lütken, 1850

##### *Bougainvillia muscus* (Allman, 1863) (Fig. 2)

Material examined. Mexico; Yucatan, Dzilam de Bravo; five specimens collected; sampling stations: 2, 4 (I); 6 (O); March 2017, 2018.

**Description.** Umbrella 3.5 mm high and wide, dome-like, jelly thick; velum well developed; manubrium short and broad with a cruciform base; four interradial gonads attached to manubrium; simple mouth with four long oral tentacles dichotomically branched; four marginal bulbs, slightly oval longitudinally, each with three reddish-brown ad-axial ocelli and filiform tentacles, same in number with the ocelli.

**Remarks.** The taxonomic history of *B. muscus* has been complex due to its medusae stage presents numerous morphological variations, which has caused that other species were synonymized with the former. The main morphological variations in the species are in the number of marginal tentacles and branching of the oral tentacles (Vannucci-Mendez & Rees, 1961; Schuchert, 2007). For this reason, the identification of some *Bougainvillia* species are hard to establish (Nagata *et al.*, 2014). Despite its morphological plasticity, *B. muscus* has one of the simplest morphologies of the genus, so the shape and size of the manubrium, the position of the gonads, ramification of the oral tentacles (1-2 times), number of marginal tentacles per bulb (3-4), as well as the number of ocelli (3-4), can be used as a taxonomic configuration to define mature specimens (Kramp, 1959; Vannucci-Mendez & Rees, 1961; Bouillon *et al.*, 2004). In this sense, the specimens analyzed in this study match with the features mentioned above. However, molecular analyzes are required to establish better taxonomic boundaries between *Bougainvillia* species, in order to clarify its taxonomic status (Denitto *et al.*, 2007).



**Figure 1.** Map of Dzilam lagoon with the sampling stations. Isobaths calculated from Herrera-Silveira (1997).

*Bougainvillia muscus* has a widespread distribution, it has been recorded in the Pacific, Atlantic and Indian oceans, going from North Atlantic Ocean, including Mediterranean Sea, South Atlantic, Arctic Ocean, and Indo-Pacific to West Africa (Cortés-Lacomba *et al.*, 2013; Mendoza-Becerril & Marques, 2013).

**Previous records in the Gulf of Mexico:** Laguna Madre (Mendoza-Becerril, 2006); 18°28'52" - 20°50'39" N and 91°15'43" - 94°49'59" W (Loman-Ramos *et al.*, 2007), Laguna de Términos (Cortés-Lacomba *et al.*, 2013); 18°N, 95°W and 21°N, 91°W (Martell-Hernández *et al.*, 2014); Pelican Island, Galveston (Pruski & Miglietta, 2019).

#### Family Corynidae Johnston, 1836

##### *Sarsia tubulosa* (M. Sars, 1835) (Fig. 3)

Material examined. Mexico; Yucatan, Dzilam de Bravo; 34 specimens collected; sampling stations: 2 (I); 6, 7 (O); March 2017, 2018.

**Description.** Umbrella 2 mm high and 1.5 mm wide, bell-shaped, with the presence of a short narrow apical canal; manubrium long, extending beyond of the umbrellar cavity, with a gonadal ring in the distal part, near to the tubular mouth; four rounded bulbs, each with an abaxial ocellus; four moniliform tentacles with the middle-terminal part covered of nematocysts and with a terminal knob.

**Remarks.** *Sarsia tubulosa* is the type species of the genus. It can be distinguished from most of its congeners by its long tubular manubrium, which can be up to three times the length of the umbrella and it is surrounded by a gonadal ring (Bouillon *et al.*, 2004). *Sarsia tubulosa*

and *S. lovenii* (M. Sars, 1846) are very similar morphologically, however, the latter has not been recorded for the Gulf of Mexico yet. The features that allow to distinguish *S. tubulosa* from *S. lovenii* are: a smaller umbrella in adult specimens; rounded bulbs with greenish and orange colorations and gonads located in the distal part of the manubrium, covering 2/3 of it (Kramp, 1959; Jung, 2003; Prudkovsky *et al.*, 2019). Most of the specimens in this study presented the umbrella everted inside out, however, the features previously mentioned were distinguished.

This is a mainly boreal species; however, it has been also recorded in tropical zones (Mendoza-Becerril *et al.*, 2009). Its distribution goes from Norway, British Isles, North Sea, Danish waters and Greenland to the Pacific coasts of America, North Atlantic and Gulf of Mexico (Jung, 2003).

**Previous records in the Gulf of Mexico:** Laguna Madre (Mendoza-Becerril *et al.*, 2009).

#### Family Corymorphidae Allman, 1872

##### *Corymorpha nutans* M. Sars, 1835 (Fig. 4)

Material examined. Mexico; Yucatan, Dzilam de Bravo; five specimens collected; sampling stations: 2, 4, 7 (O); March 2018.

**Description.** Umbrella 1.2 mm high and wide, bell-shaped, with a conical apical projection of 1/4 length of umbrella size and a narrow apical canal about as long as the apical projection; manubrium about as long as the umbrellar cavity, with a simple mouth; gonads surrounding the manubrium; four marginal bulbs, three rudimentary and one with a well-developed tentacle with a terminal knob.

**Remarks.** The two most common species from the genus *Corymorpha* in the Gulf of Mexico are *C. nutans* and *C. gracilis* (Brooks, 1883) (Martell-Hernández *et al.*, 2014; Pruski & Miglietta, 2019). The main differences among these species are the length of the apical projection and the marginal bulbs. In *C. gracilis*, the apical projection is about as the length of the umbrella and has four tentacular bulbs, two of them rudimentary (without tentacles); of the remaining two bulbs, one bears a well-developed tentacle, opposite to a short and conical tentacle. On the other hand, in *C. nutans*, the apical projection is not that long and only having a well-developed tentacle and three rudimentary bulbs (Kramp, 1959; Nagata *et al.*, 2014).

*Corymorpha nutans* is a mostly boreal species, its distribution goes from the Atlantic coasts of Northwestern Europe, Northern France and Norwegian coast, including Mediterranean Sea and Black Sea (Vervoort, 2009) to the tropical seas in the Gulf of Mexico (Loman-Ramos *et al.*, 2007).

**Previous records in the Gulf of Mexico:** 18°28'52" - 20°50'39" N and 91°15'43" - 94°49'59" W (Loman-Ramos *et al.*, 2007); Pelican Island, Galveston (Pruski & Miglietta, 2019).

#### Family Oceaniidae Eschscholtz, 1829

##### *Turritopsis nutricula* McCrady, 1857 (Fig. 5)

Material examined. Mexico; Yucatan, Dzilam de Bravo; one specimen collected; sampling station: 8 (O); March 2018.

**Description.** Umbrella 1 mm high and 0.8 wide, bell-shaped, with four broad radial canals; manubrium short, brown, with vacuolated endodermal cells above stomach; four lips well defined in the mouth; numerous marginal bulbs, each with the presence of reddish-brown ocellus.

**Remarks.** The systematics of *Turritopsis* has been focus of debate, since its cryptic speciation has occasioned that several species around the world were synonymized with the cosmopolitan *T. nutricula* (Kubota, 2005). However, nowadays geographical populations are differentiated more clearly, and molecular studies suggest that *T. nutricula* is the only species of the genus from the Eastern coast of America (Miglietta *et al.*, 2007). Despite this, more investigations are still needed on the taxonomy of this group.

This species is mainly distributed in Western Atlantic, from New England, the coast of Argentina, Mexico, and Brazil to some localities in the Pacific Ocean as Japan (Kubota, 2005; Nagata *et al.*, 2014).

Table 1. Taxonomy of the Hydromedusae of the Dzilam lagoon and their abundance.

Taxa	Absolute abundance (n)	Relative abundance (%)
Phylum Cnidaria		
Class Hydrozoa Owen, 1843		
Subclass Hydroidolina Collins, 2000		
Order Leptothecata Cornelius, 1992		
Family Campanulariidae Johnston, 1836		
<i>Obelia</i> spp. Péron & Lesueur, 1810 I, O	134	0.307
<i>Clytia</i> spp. Lamouroux, 1812 I, O	12	0.027
Order Anthoathecata Cornelius, 1992		
Suborder Filifera Kühn, 1913		
Family Bougainvilliidae Lütken, 1850		
<i>Bougainvillia muscus</i> (Allman, 1863) I, O	5	0.011
Family Oceanidae Eschscholtz, 1829		
<i>Turritopsis nutricula</i> McCrady, 1857 O	1	0.002
Family Hydractiniidae L. Agassiz, 1862		
<i>Hydractinia carica</i> Bergh, 1887 O*	47	0.108
Suborder Capitata Kühn, 1913		
Family Corynidae Johnston, 1836		
<i>Sarsia tubulosa</i> (M. Sars, 1835) I, O	34	0.078
Family Cladonematidae Dujardin, 1843		
<i>Cladonema radiatum</i> Dujardin, 1843 I	5	0.011
Suborder Aplanulata Collins, Winkelman, Hadryns & Schierwater, 2005		
Family Corymorphidae Allman, 1872		
<i>Corymorpha nutans</i> M. Sars, 1835 O	5	0.011
Subclass Trachylinae Haeckel, 1879		
Order Limnomedusae Kramp, 1938		
Family Olindiidae Haeckel, 1879		
<i>Vallentinia gabriellae</i> (Vannucci Mendes, 1948) I, O	194	0.444
Total	437	

Note. Species marked with \* constitute a new record for the Gulf of Mexico. I= species found inside the lagoon, O= species found outside the lagoon



**Previous records in the Gulf of Mexico:** 19°N, 85°W and 23°N, 90°W (Segura-Puertas, 1992); 18°N, 95°W and 21°N 91°W (Martell-Hernández *et al.*, 2014).

**Family Hydractiniidae L. Agassiz, 1862**

***Hydractinia carica* Bergh, 1887 (Fig. 6)**

Material examined. Mexico; Yucatan, Dzilam de Bravo; 47 specimens collected; sampling station: 8 (O); March 2017.

**Description.** Umbrella 0.5 mm high and wide, bell-shaped; manubrium short with a simple mouth, four short oral tentacles, each with a nematocysts cluster on the terminal part; gonads on the manubrium, with interradiar medusa buds; eight marginal bulbs, without marginal tentacles; no ocelli.

**Remarks.** *Hydractinia carica* was synonymized as *H. minuta* Bonnevie, 1898. This species has been subject of several taxonomic debates (Wang *et al.*, 2016). According with Schuchert (2007), *H. carica* should be removed from Hydractiniidae, since this species is regarded as a conspecific with *Lizzia blondina* Forbes, 1848. This species is easily recognizable from others within *Hydractinia* by the presence of oral tentacles well-developed and undivided, eight marginal bulbs, the absence of ocelli and the presence of medusa buds on the manubrium (Kramp, 1959), features that were observed in the specimens analyzed in this study.

*Hydractinia carica* has been previously reported from the West Africa, Adriatic Sea and Mediterranean to the Mexican Caribbean Sea (Kramp, 1959; Segura-Puertas *et al.*, 2003; Schuchert, 2007).

**Previous records in the Gulf of Mexico:** No previous records for the Gulf of Mexico.

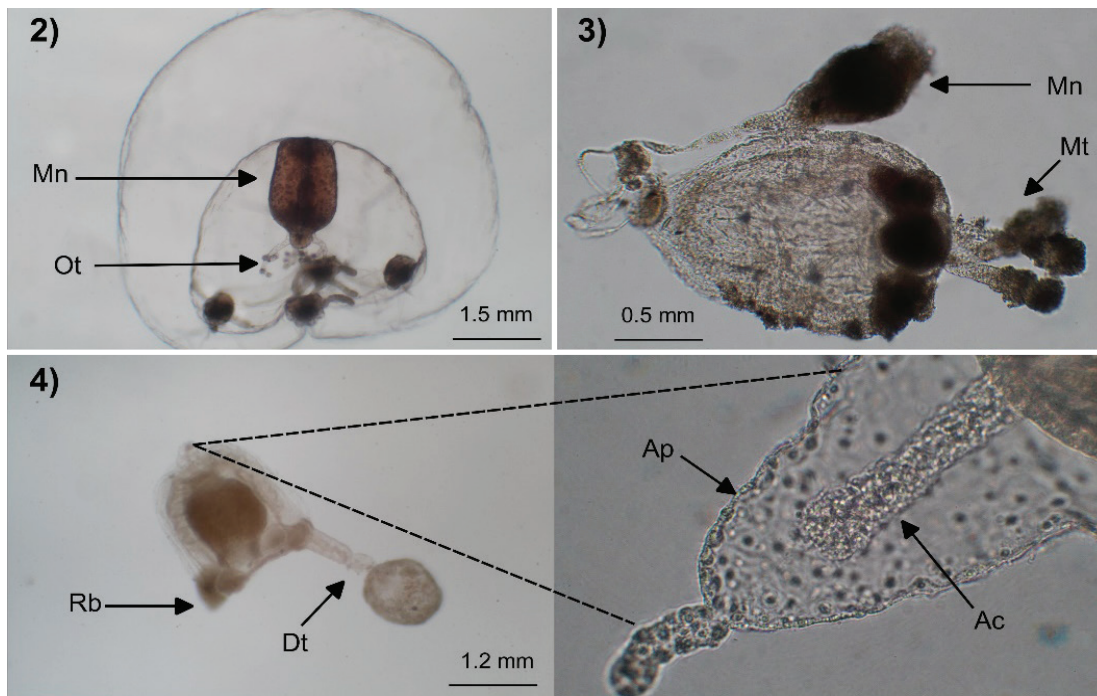
**Family Cladonematidae Gegenbaur, 1857**

***Cladonema radiatum* Dujardin, 1843 (Fig. 7)**

Material examined. Mexico; Yucatán, Dzilam de Bravo; five specimens collected; sampling stations: 2, 4 (I); March 2018.

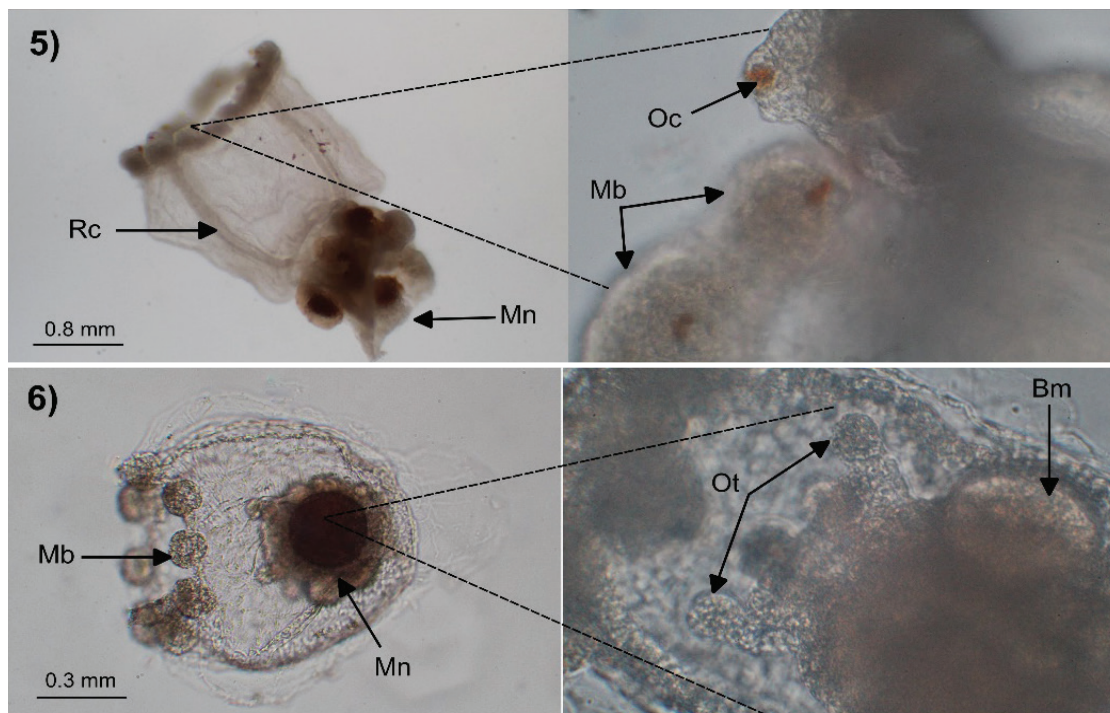
**Description.** Umbrella 1 mm high and 0.8 wide, bell-shaped, with an apical projection; manubrium about as long as bell cavity; with gonads on its upper middle part; tubular mouth, with six short oral tentacles, each with a cluster of nematocysts in the terminal part; nine radial canals, three bifurcated and three simple; nine elongated tentacular bulbs, each with a black abaxial ocellus and bearing two types of tentacles, first type is a multi-branched stinging tentacle with numerous nematocyst rings and second type are numerous single suctional tentacles with a terminal nematocyst knob.

**Remarks.** The frequent morphological variations between the species of *Cladonema* difficult to establish a definitive taxonomy in the group. *C. radiatum* is the best documented species of the genus and probably of the family Cladonematidae. Many morphologies have been documented in this species, which makes its taxonomic position uncertain (Russell, 1953). In this sense, *C. radiatum* has been frequently synonymized as *C. perkinsii* Mayer, 1904 and *C. mayeri* Perkins, 1906 (Hirai, 1958). The features that distinguish this species from its congeners are: gonads covering the upper middle part of the manubrium; nine radial canals, some of them bifurcated; six oral tentacles and marginal bulbs with two types of tentacles; first type with multi-branched stinging tentacles; and the second type with numerous suctional tentacles (Schuchert, 2006; Cedeño-Posso, 2014).



**Figures 2-4.** *Bougainvillia muscus* (2): Mn=manubrium, Ot=oral tentacles; *Sarsia tubulosa* (specimen everted inside out) (3): Mn=manubrium, Mt=marginal tentacles; *Corymorpha nutans* (4): Rb=rudimentary bulb, Dt=well-developed tentacle, Ap=apical projection, Ap=apical canal.





**Figures 5-6.** *Turritopsis nutricula* (specimen everted inside out) (5): Rc=radial canal, Mn=manubrium, Oc=ocellus, Mb=marginal bulbs; *Hydractinia carica* (6): Mn=manubrium, Mb=marginal bulb, Ot=oral tentacles, Bm=medusa bud.

This species has been widely reported from the Atlantic Ocean, including Europe, the Mediterranean Sea and the Mexican Caribbean (Gershwin & Zeidler, 2008; Cedeño-Posso, 2014).

**Previous records in the Gulf of Mexico:** Calder & Cairns (2009) (as polyp stage).

#### Order Leptothecata

#### Family Campanulariidae Johnston, 1836

#### *Clytia* spp. Lamouroux, 1812 (Fig. 8)

Material examined. Mexico; Yucatan, Dzilam de Bravo; twelve specimens collected; sampling stations: 1, 5 (I); 3, 5, 7, 8 (O); March 2017, 2018.

**Description.** Umbrella 2 mm wide, hemispheric, jelly thin; manubrium small, short and with four well defined lips; four oval gonads, located on the middle part of the radial canals; up to twenty marginal bulbs, circulars and with short tentacles, each tentacular bulb alternating with rudimentary bulbs; umbrellar margin simple, only with small statocysts, each with one concretion and alternating with tentacular bulbs.

**Remarks.** Hydromedusae from genus *Clytia* are easily recognizable within the family Campanulariidae by the form of the umbrella, characteristic lips and umbrellar margin simple (Bouillon *et al.*, 2006). Few species of *Clytia* are identifiable using only the morphological features of the medusa stage, due to the great morphological plasticity in some features like size, shape and position of the gonads and number of tentacles and statocysts (Nogueira-Jr, 2012; Nagata *et al.*, 2014). The specimens analyzed in this study showed immature and bad preserve features, so, it was not possible to define a species. However, it was

possible to identify them up to genus level by the features previously mentioned.

The genus *Clytia* is considered cosmopolitan and most of its species are related to coastal environments (Russell, 1953; Nagata *et al.*, 2014).

**Previous records in the Gulf of Mexico:** Some of the main records of *Clytia* species in the region are: 18°28'52" - 20°50'39" N and 91°15'43" - 94°49'59" W (Loman-Ramos *et al.*, 2007); Laguna Madre (Mendoza-Becerril *et al.*, 2009); Laguna de Términos (Cortés-Lacomba *et al.*, 2013); 18°N, 95°W and 21°N 91°W (Martell-Hernández *et al.*, 2014); Pelican Island, Galveston (Pruski & Miglietta, 2019).

#### *Obelia* spp. Péron & Lesueur, 1810 (Fig. 9)

Material examined. Mexico; Yucatan, Dzilam de Bravo; 134 specimens collected; sampling stations: 1, 2, 3, 4, 5 (I); 2, 3, 6, 7, 8 (O); March 2017, 2018.

**Description.** Umbrella 1.5 mm wide, flat, with a rudimentary velum; jelly thin; four circular gonads located on the middle part of the radial canals; manubrium short, with a quadrangular base and four simple lips; many short tentacles, solids and around all the umbrellar margin; numerous statocysts, each with one concretion.

**Remarks.** *Obelia* is unmistakable within the family Campanulariidae due to it is the only genus of hydromedusae with rudimentary velum and with an umbrella completely flat (Bouillon *et al.*, 2006). However, the medusa of *Obelia* do not have morphological features for a specific identification, therefore, sometimes the hydroid stage is required for an accurate determination. The genus is among the most variable morphologically and some species as *O. dichotoma* (Linnaeus, 1758) are considered crypto-

genic because of its multiple records around the world (Humara-Gil & Cruz-Gómez, 2018). This is a genus with a worldwide distribution and frequently related to coastal zones (Nagata *et al.*, 2014).

**Previous records in the Gulf of Mexico:** 19°N, 85°W and 23°N, 90°W (Segura-Puertas, 1992); 18°N, 91°W and 20°N, 94°W (Loman-Ramos *et al.*, 2007); 18°N, 95°W and 21°N 91°W (Martell-Hernández *et al.*, 2014); Tamaulipas coast (Gutiérrez-Aguirre *et al.*, 2015); Pelican Island, Galveston (Pruski & Miglietta, 2019).

#### Order Limnomedusae

#### Family Olindiidae Haeckel, 1879

#### *Vallentinia gabriellae* Vannucci Mendes, 1948 (Fig. 10)

Material examined. Mexico; Yucatan, Dzilam de Bravo; 194 specimens collected; sampling stations: 1, 2, 3, 4, 5 (I); 2, 4, 6, 7, 8 (O); March 2017, 2018.

**Description.** Umbrella 7 mm wide, hemispheric, jelly thick; manubrium with four lips defined, gonads with papilliform process, located on the middle part of the four radial canals; two types of tentacles, first type arising from above the umbrellar margin and minor in number; second type arising from the margin of the umbrella; most of the tentacles with adhesive pads on its external side and with numerous nematocysts rings; a statocyst with one concretion between each tentacle.

**Remarks.** From the three valid species within *Vallentinia*, *V. gabriellae* can be distinguished from *V. adherens* Hyman, 1947 by the form of the umbrella, the form and location of the gonads and the lack of cirrus-like in the margin. *Vallentinia falklandica* Browne, 1902 is characterized by the presence of four perradial sucker tentacles, which were not observed in the material analyzed. The specimens analyzed match with

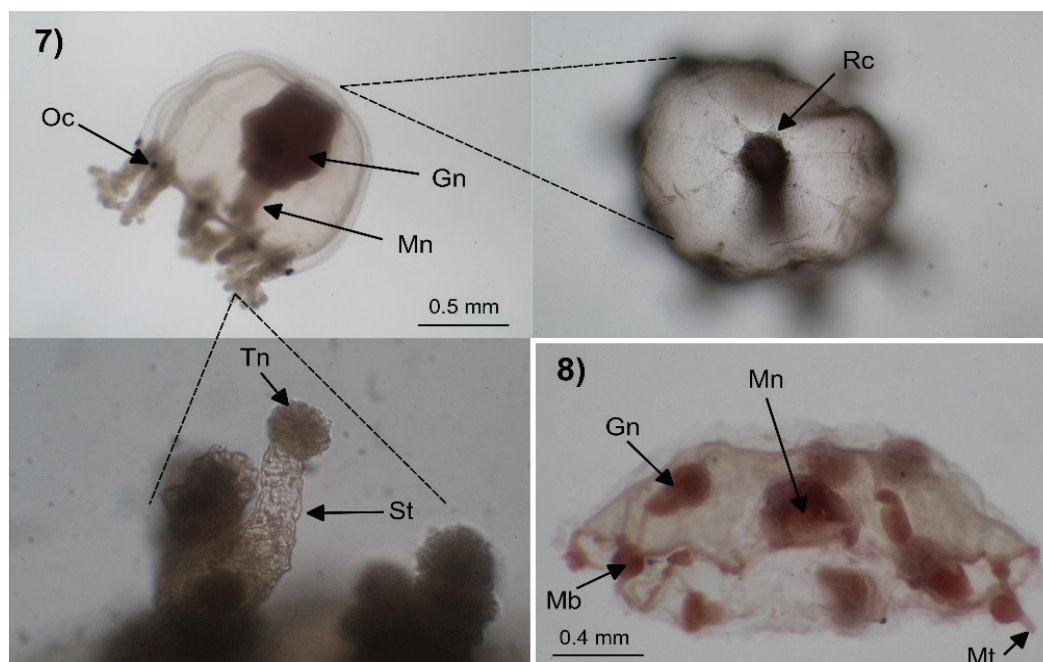
the description of Kramp (1959) for *V. gabriellae* in the type and number of tentacles and form of the gonads and umbrella. The taxonomic keys of Kramp (1959) and Bouillon *et al.* (2004; 2006) point out the presence of adhesive pads in the terminal part of the tentacles as a distinctive feature to differentiate *Vallentinia* from *Cubaia* Mayer, 1894. However, the original description by Vannucci-Mendez (1948) mentions that the adhesive pads in mature specimens of *V. gabriellae* are on the external side of the tentacles, as observed in the specimens analyzed in this study. In this sense, it is desirable to clarify that the defining feature of *Vallentinia* is not exclusively the location of the adhesive pads as suggested by Kramp and Bouillon, but a set of morphological features such as those mentioned previously.

This species has been frequently reported related to mangrove ecosystems in the coast of Brazil and Caribbean Sea (Rey *et al.*, 1992; Segura-Puertas & Damas-Romero, 1997; Ramos & Segura-Puertas, 2004).

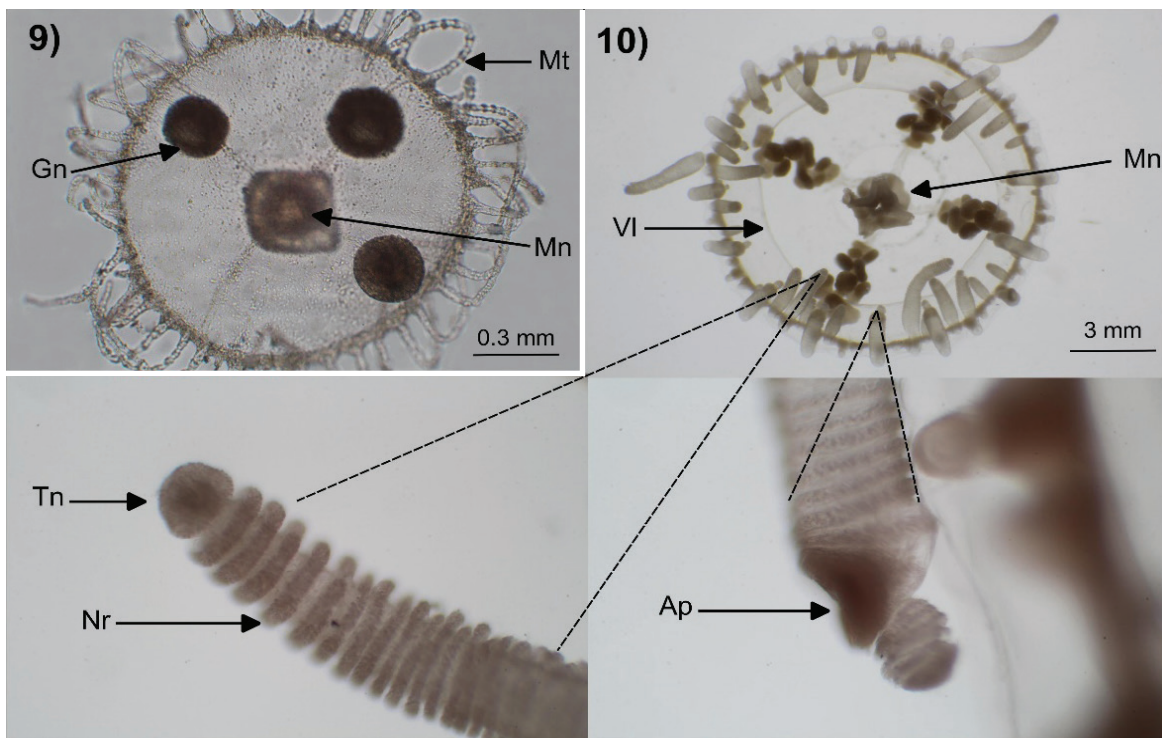
**Previous records in the Gulf of Mexico:** Progreso, Yucatán (Foster, 1973).

## DISCUSSION

The number of species from Bocas de Dzilam is greater than the reported in other coastal lagoons in southern Gulf of Mexico (Cortés-Lacomba *et al.*, 2013) and its composition represent the 5.3% of the Medusozoa fauna reported in this region (Gasca & Loman-Ramos, 2014). Only *S. tubulosa* and *B. muscus* have been reported in other coastal lagoons from southern Gulf of Mexico (Mendoza-Becerril *et al.*, 2009; Cortés-Lacomba *et al.*, 2013).



**Figures 7-8.** *Cladonema radiatum* (7): Oc=ocellus, Mn=manubrium, Gn=gonads, Rc=radial canals, St=sucker tentacle, Tn=terminal knob; *Clytia* spp. (8): Mn=manubrium, Gn=gonads, Mb=marginal bulb, Mt=marginal tentacle.



**Figures 9-10.** *Obelia* spp. (9): Mn=manubrium, Gn=gonads, Mt=marginal tentacle; *Vallentinia gabriellae* (10): Mn=manubrium, VI=velum, Ap=adhesive pad, Tn=terminal knob, Nr=nematocyst rings.

*Vallentinia gabriellae*, *Obelia* spp. and *H. carica* constituted more than 90% of the material collected. *Vallentinia gabriellae* has been reported not so abundant in the Mexican Caribbean (0.3 % of relative abundance) (Segura-Puertas & Damas-Romero, 1997; Ramos & Segura-Puertas, 2004) compared to this study. This suggests that the lagoon of Dzilam could provide favorable conditions for its development. The high contribution of *Obelia* coincides with the reported by Nogueira-Jr (2012) and Nagata *et al.* (2014), since this is one of the most abundant and common hydromedusae from coastal zones. Likewise, the relative abundance of *H. carica* was higher in this study compared with others from the Mexican Caribbean (0.1% of relative abundance) (Ramos & Segura-Puertas, 2004). This species was found only in one outer sta-

tion, which suggests a probable medusa budding on the sampling site. The southern Gulf of Mexico and Mexican Caribbean have a constant exchange of marine currents (i.e. Yucatan current), which play an important role in the development and distribution of numerous zooplanktonic organisms (Candela *et al.*, 2002; Manzanilla-Dominguez & Gasca, 2004) and greatly favors the similarity in its planktonic composition. In this sense, the presence of *H. carica* in the Gulf of Mexico is not surprising, since it has already been previously reported in the Mexican Caribbean. Considering the previously mentioned, the absence of some species either in Gulf of Mexico or Mexican Caribbean encourages more systematic investigations that allows to define better ecological distribution in zooplanktonic organisms between these two regions (Table 2).

Table 2. Previous records of the hydromedusae of Dzilam lagoon in the Gulf of Mexico and Mexican Caribbean. Presence (X). Absent (--).

Taxa	Gulf of Mexico	Mexican Caribbean	References
<i>Obelia</i> sp.	X	X	Segura-Puertas & Damas-Romero (1997); Martell-Hernández <i>et al.</i> (2014).
<i>Clytia</i> sp.	X	X	Ramos & Segura-Puertas (2004); Loman-Ramos <i>et al.</i> (2007).
<i>B. muscus</i>	X	X	Segura-Puertas <i>et al.</i> (2003); Cortés-Lacomba <i>et al.</i> (2013).
<i>T. nutricula</i>	X	--	Segura-Puertas <i>et al.</i> (2003).
<i>H. carica</i>	--	X	Ramos & Segura-Puertas (2004).
<i>S. tubulosa</i>	X	--	Mendoza-Becerril <i>et al.</i> (2009)
<i>C. radiatum</i>	X	X	Segura-Puertas <i>et al.</i> (2003); Calder & Cairns (2009).
<i>C. nutans</i>	X	--	Loman-Ramos <i>et al.</i> (2007).
<i>V. gabriellae</i>	X	X	Foster (1973); Ramos & Segura-Puertas (2004).



The rest of the material collected was constituted by *B. muscus*, *Clytia* spp., *T. nutricula*, *S. tubulosa*, and *C. nutans*. The low contribution of *T. nutricula* and *C. nutans* has been also reported in other coastal investigations (Nagata *et al.*, 2014; Pruski & Miglietta, 2019). *Bougainvillia muscus* (18.03%), *S. tubulosa* (2.5%) and *Clytia* spp. (0.003%), are usually abundant from coastal zones (Costello & Mathieu, 1995; Mendoza-Becerril *et al.*, 2009; Cortés-Lacomba *et al.*, 2013; Nagata *et al.*, 2014) which not match with this study, probably by the high levels of salinity and temperature associated with the seasonality of the study area.

On the other hand, *Clytia* spp., *B. muscus*, *Obelia* spp., *S. tubulosa*, and *V. gabriellae* were found either inside and outside the lagoon, which match with previous reports in coastal zones from the Gulf of Mexico (Loman-Ramos *et al.*, 2007; Mendoza-Becerril *et al.*, 2009; Cortés-Lacomba *et al.*, 2013). *Vallentinia gabriellae* does not appear in the listings of medusae from the Gulf of Mexico (Segura-Puertas *et al.*, 2003, 2009), however, it is remarkable the evidence about its occurrence in shallow waters of Yucatán (Foster, 1973).

*Turritopsis nutricula*, *C. nutans*, and *H. carica* were found exclusively outside the lagoon. *Turritopsis nutricula* is common in the North-Western Atlantic (Miglietta *et al.*, 2007) and it is related to offshore areas; however, it has been also found related to coastal ecosystems like in this study (Segura-Puertas, 1992; Nagata *et al.*, 2014). Likewise, *C. nutans* is common in neritic and estuarine ecosystems from the Gulf of Mexico (Segura-Puertas *et al.*, 2009), however, it is probable that also uses the lagoon as part of its life-cycle, since it has been also recorded in semi-closed ecosystems (Pruski & Miglietta, 2019). On the other hand, *H. carica* is not included in the last taxonomic listings of hydromedusae from the Gulf of Mexico (Segura-Puertas *et al.*, 2003, 2009). This species only had been reported in the Caribbean Sea for Mexican coasts (Segura-Puertas *et al.*, 2003). In this paper we report its occurrence for the first time in the Gulf of Mexico, expanding its distribution range toward northwest (21°N-88°W).

*Cladonema radiatum* was the only species recorded exclusively within the lagoon. The medusa of *Cladonema* has adaptations (branched and sucker tentacles) for epibenthic habits (Cedeño-Posso, 2014) and the lagoon of Dzilam is a shallow ecosystem (0.6 m on average) with a high dominance of seagrasses and macroalgae in the bottom (Herrera-Silveira & Morales-Ojeda, 2010). These features could favor its development inside the lagoon and explain its occurrence in this zone.

The management plan of Dzilam de Bravo State Reserve involves few researches on marine invertebrates (Diario Oficial de la Federación, 2018), and this lack makes the estimation of its biodiversity uncertain, which is fundamental for the elaboration of management and conservation plans. The studies on hydromedusae in coastal lagoons are important, since together with other members of the gelatinous zooplankton, they have an important role in the interchange of biomass between the trophic chains (Boero *et al.*, 2008). In this sense, more investigations on hydrozoan composition in coastal ecosystems of Yucatán are needed, with the purpose of providing more information about its richness and better understand the biodiversity of the region.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors thanks to Pablo Hernández Solís for the samples processing and Dr. Gonzalo Mena Rejón for the comments and suggestions to the manuscript.

## REFERENCES

- AHUATZIN-HERNÁNDEZ, J. M., A. J. COHUO-CONCHA, L. LOMAN-RAMOS & L. V. LEÓN-DENIZ. 2019. Range expansion of two box jellyfish (Cnidaria, Cubozoa) in southern Gulf of Mexico. *Checklist* 15: 405-410. DOI:10.15560/15.3.405
- BOERO, F., J. BOUILLON, C. GRAVILI, M. P. MIGLIETTA, T. PARSONS & S. PIRAINO. 2008. Gelatinous plankton: irregularities rule the world (sometimes). *Marine Ecology Progress Series* 356: 299-310.
- BOUILLON, J., M. D. MEDEL, F. PAGÈS, J. M. GILI, F. BOERO & C. GRAVILI. 2004. Fauna of the Mediterranean Hydrozoa. *Scientia Marina* 68 (supplement 2): 5-438.
- BOUILLON, J., C. GRAVILI, F. PAGÈS, J. M. GILI & F. BOERO. 2006. *An introduction to Hydrozoa*. Publications Scientifiques du Muséum, Paris. 591 p.
- CALDER, D. R. & S. D. CAIRNS. 2009. Hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) of the Gulf of Mexico. In: Felder, D. L. & D. K. Camp (eds.). *Gulf of Mexico. Origin, Waters and Biota. Vol. 1 Biodiversity*. Texas A & M University Press. Texas, pp. 381-394.
- CANDELA, J., J. SHEINBAUM, J. OCHOA & A. BADAN. 2002. The potential vorticity flux through the Yucatan Channel and the Loop Current in the Gulf of Mexico. *Geophysical Research Letters* 29 (22): 2059.
- CEDENO-POSSO, C. 2014. First record of genus *Cladonema* (medusae and polyps) in Colombia. *Zootaxa* 3793: 597-599.
- CORTÉS-LACOMBA, R., C. ÁLVAREZ-SILVA & F. GUTIÉRREZ-MENDIETA. 2013. Listado actualizado de las medusas de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Hidrobiológica* 23: 209-217.
- COSTELLO, J. H. & H. W. MATHIEU. 1995. Seasonal abundance of medusae in Eel Pond, Massachusetts, USA during 1990-1991. *Journal of Plankton Research* 17 (1): 199-204.
- DENITTO, F., M. P. MIGLIETTA & F. BOERO. 2007. Life cycle of *Bougainvillia nana* (Cnidaria: Hydrozoa: Bougainvilliidae) from Italy, including a discussion of *Bougainvillia muscus* in the Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 87(4): 853-857.
- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2018. Actualización del Programa de Manejo Reserva Estatal de Dzilam, Yucatán, México. Gobierno del estado de Yucatán. Disponible en línea en: [www.yucatan.gob.mx/docs/diario\\_oficial/diarios/2018/2018-09-26\\_2.pdf](http://www.yucatan.gob.mx/docs/diario_oficial/diarios/2018/2018-09-26_2.pdf) (consultado el 11 julio 2019).
- FOSTER, N. R. 1973. Occurrence of *Vallentinia gabriellae* (Hydrozoa: Olinidiidae) in Coastal Yucatan, with notes on its biology and laboratory culture. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 125: 69-74.
- GASCA, R. & L. LOMAN-RAMOS. 2014. Biodiversidad de Medusozoa (Cubozoa, Scyphozoa e Hydrozoa) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 154-163.
- GERSHWIN, L. A. & W. ZEIDLER. 2008. *Cladonema timmsii*, a new species of hydromedusa (Cnidaria: Hydrozoa) from a salt lake in South Australia. *Zootaxa* 1826: 59-68.
- GRAVILI, C., C. G. DI-CAMILO, S. PIRAINO & F. BOERO. 2013. Hydrozoan species richness in the Mediterranean Sea: past and present. *Marine Ecology* 34 (Suppl. 1): 41-62.

- 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.
- HERRERA-BOJÓRQUEZ, L. G., R. GONZÁLEZ-MUÑOZ, L. V. LEÓN-DENIZ, G. ARJONA-TORRES & R. SIMA-ÁLVAREZ. *In press*. Sea anemones (Anthozoa: Actiniaria) from the coast of Yucatán, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
- HERRERA-SILVEIRA, J. A. 1997. Biodiversidad de productores primarios de lagunas costeras del norte de Yucatán, México. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. Bases de datos SNIB2010-CONABIO, proyecto B019, 60 p.
- HERRERA-SILVEIRA, J. A. & J. RAMÍREZ-RAMÍREZ. 1998. Salinity and nutrients in the coastal lagoons of Yucatan, Mexico. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen* 26 (3): 1473-1478.
- HERRERA-SILVEIRA, J. A. & S. M. MORALES-OJEDA. 2010. Subtropical Karstic Coastal Lagoon Assessment, SE Mexico. The Yucatan peninsula case. *In: Kennish, M. J. & H. W. Paerl (eds.). Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change*. CRC Press, Florida, pp. 309-335.
- HIRAI, E. 1958. On the species of *Cladonema radiatum* var. *mayeri* Perkins. *Bulletin of the Marine Biological Station of Asamushi, Tohoku University* 9: 23-25.
- HUMARA-GIL, K. J. & C. CRUZ-GÓMEZ. 2018. New records of benthic hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) from the coast of Oaxaca, Mexico. *Zootaxa* 4455 (3): 454-470.
- JUNG, H. P. 2003. Two new records of marine hydromedusae (Cnidaria: Hydrozoa) in Korea. *The Korean Journal of Systematic Zoology* 19 (1): 111-117.
- KAPLOWITZ, M. D. 2000. Identifying ecosystem services using multiple methods: Lessons from the mangrove wetlands of Yucatan, Mexico. *Agriculture and Human Values* 17: 169-179.
- KRAMP, P. L. 1959. The Hydromedusae of the Atlantic Ocean and adjacent waters. *Dana Report* 46: 1-283.
- KUBOTA, S. 2005. Distinction of two morphotypes of *Turritopsis nutricula* medusae (Cnidaria, Hydrozoa, Anthomedusae) in Japan, with reference to their different abilities to revert to the hydroidstage and their distinct geographical distributions. *Biogeography* 7: 41-50.
- 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.
- MANZANILLA-DOMÍNGUEZ, H. & R. GASCA. 2004. Distribution and abundance of Phyllosoma larvae (Decapoda, Palinuridae) in the southern Gulf of Mexico and the western Caribbean Sea. *Crustaceana* 77 (1): 75-93.
- MARINA, T. I., J. A. HERRERA-SILVEIRA & I. MEDINA-GÓMEZ. 2017. Respuesta de la comunidad de fitoplancton y zooplancton al afloramiento de agua subterránea y surgencia costera en la península de Yucatán, México. *Ecología Austral* 27: 219-231.
- 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: 18.
- MENDOZA-BECERRIL, M. A. 2006. Diversidad de Medusas (Phylum: Cnidaria) en la Laguna Madre, Tamaulipas. México. Tesis Profesional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México. 60 p.
- 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: 257-267.
- MENDOZA-BECERRIL, M. A. & A. C. MARQUES. 2013. Synopsis on the knowledge and distribution of the family Bougainvilliidae (Hydrozoa, Hydroidolina). *Latin American Journal of Aquatic Research* 41(5): 908-924.
- MIGLIETTA, M. P., S. PIRAINO, S. KUBOTA & P. SCHUCHERT. 2007. Species in the genus *Turritopsis* (Cnidaria, Hydrozoa): a molecular evaluation. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 45(1): 11-19.
- NAGATA, R. M., M. NOGUEIRA-JR. & M. A. HADDAD. 2014. Faunistic survey of Hydromedusae (Cnidaria, Medusozoa) from the coast of Paraná State, Southern Brazil. *Zootaxa* 3768 (3): 291-326.
- NASCIMENTO, L. S., M. NOGUEIRA-JR., E. M. VIANA & J. G. BERSANO. 2018. Biodiversity of planktonic hydrozoans from a subtropical estuary: evidence of assemblage structure change. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 99: 551-562.
- NOGUEIRA-JR, M. 2012. Gelatinous zooplankton fauna (Cnidaria, Ctenophora and Thaliacea) from Baía da Babitonga (southern Brazil). *Zootaxa* 3398: 1-21.
- PRUDKOVSKY, A. A., I. A. EKIMOVA & T. V. NERETINA. 2019. A case of nascent speciation: unique polymorphism of gonophores within hydrozoan *Sarsia lovenii*. *Scientific Reports* 9: 15567. DOI:10.1038/s41598-019-52026-7
- PRUSKI, S. & M. P. MIGLIETTA. 2019. Fluctuation and diversity of Hydromedusae (Hydrozoa, Cnidaria) in a highly productive region of the Gulf of Mexico inferred from high frequency plankton sampling. *PeerJ* 7: e7848. DOI:10.7717/peerj.7848
- RAMOS, G. & L. SEGURA-PUERTAS. 2004. Seasonal occurrence of reef-related medusae (Cnidaria) in the Western Caribbean Sea. *Gulf and Caribbean Research* 16: 1-9.
- REY, J. R., T. KAIN & D. E. DE FREESE. 1992. Observations on the feeding behavior and local distribution of *Vallentia gabriellae* (Hydrozoa: Olindiidae): a new record from mangrove wetlands of the Indian river lagoon, Florida. *Wetlands* 12 (3): 225-229.
- REYES-MENDOZA, O., O. ÁLVAREZ-SILVA, X. CHIAPPA-CARRARA & C. ENRIQUEZ. 2020. Variability of the thermohaline structure of a coastal hypersaline lagoon and the implications for salinity gradient energy harvesting. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 38: 100645.
- RONOWICZ, M., A. L. PEÑA-CANTERO, B. M. CASARES, P. KUKLINSKI & J. J. SOTO-ÁNGEL. 2019. Assessing patterns of diversity, bathymetry and distribution at the poles using Hydrozoa (Cnidaria) as a model group. *Hydrobiologia* 833 (1): 25-51. DOI:10.1007/s10750-018-3876-5
- ROSADO-ESPINOSA, L. A., I. ORTEGÓN-AZUAR & M. A. RUÍZ-ZARATE. 2012. Caracterización Estructural de los Mantos Algales como Recurso Natural

- Explotable en el Área Natural Protegida de Dzilam de Bravo, Yucatán, Mexico. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 64: 208-215.
- RUSSELL, F. S. 1953. *The medusae of the British Isles*. University Press, Cambridge. 530 p.
- SCHUCHERT, P. 2006. The European athecate hydroids and their medusae (Hydrozoa, Cnidaria): Capitata Part 1. *Revue Suisse de Zoologie* 113 (2): 325-410.
- SCHUCHERT, P. 2007. The European athecate hydroids and their medusae (Hydrozoa, Cnidaria): Filifera Part 2. *Revue Suisse de Zoologie* 114 (2): 195-396.
- SCHUCHERT, P. 2020. World Hydrozoa Database. Available online at: <http://www.marinespecies.org/hydrozoa> (downloaded October 15, 2020). DOI:10.14284/357
- SEGURA-PUERTAS, L. 1992. Medusae (Cnidaria) from the Yucatan shelf and Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science* 51: 353-359.
- SEGURA-PUERTAS, L. & M. DAMAS-ROMERO. 1997. Variación estacional de la comunidad de medusas (Cnidaria) en la laguna Bojórquez, Cancún, México. *Hidrobiológica* 7: 59-64.
- SEGURA-PUERTAS, L., E. SUÁREZ-MORALES & L. CELIS. 2003. A checklist of the Medusae (Hydrozoa, Scyphozoa and Cubozoa) of Mexico. *Zootaxa* 194: 1-15.
- SEGURA-PUERTAS, L., L. CELIS & L. CHIAVERANO. 2009. Medusozoans (Cnidaria: Cubozoa, Scyphozoa and Hydrozoa) of the Gulf of Mexico. In: Felder, D. L. & D. K. Camp (eds.). *Gulf of Mexico. Origin, Waters and Biota. Vol. 1 Biodiversity*. Texas A & M University Press. Texas, pp. 369-379.
- VANNUCCI-MENDEZ, M. 1948. On *Vallentinia gabriellae* n. sp. (Limnomedusae). *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras Universidade de São Paulo. Serie Zoologia* 13: 73-90.
- VANNUCCI-MENDEZ, M. & W. J. REES. 1961. A revision of the genus *Bougainvillia* (Anthomedusae). *Boletim do Instituto Oceanografico, São Paulo* 11 (2): 57-100.
- VERVOORT, W. 2009. *Corymorphato moensis* Ikeda 1910 (Cnidaria, Hydrozoa): first record of a corymorphidhydro polyp from Indonesian waters and a review of the species of *Corymorpho* M. Sars, 1835. *Zoologische Mededelingen* 83: 759-776.
- WANG, C., Z. XU, J. HUANG, D. GUO, M. LIN & Z. XIA. 2016. Taxonomic notes on Hydroidomedusae (Cnidaria) from South China Sea III: Family Rathkeidae and Zancleopsidae. *Zoological Systematics* 41 (4): 392-403.





## Density of mysis of *Penaeus aztecus* Ives, 1891 on a reef in the Southwest of the Gulf of Mexico

## Densidad de mysis de *Penaeus aztecus* Ives, 1891 en un arrecife del suroeste del Golfo de México

Sergio Cházaro-Olvera<sup>1\*</sup>, Ángel Morán-Silva<sup>1</sup>, Rafael Chávez-López<sup>1</sup>, Horacio Vázquez-López<sup>1</sup> and Asela del Carmen Rodríguez-Varela<sup>1</sup>

Recibido: 24 de junio de 2020.

Aceptado: 22 de noviembre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

### ABSTRACT

**Background.** The Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) is in the southern Gulf of Mexico and supports an important shrimp fishery based on three species of Dendrobranchiata: the brown shrimp, *Penaeus aztecus*, the white shrimp, *P. setiferus* and the pink shrimp, *P. duorarum*. **Objective.** Analyze the distribution and abundance of *P. aztecus* during the mysis stage and determine its relationship with environmental factors in the PNSAV. **Methods.** We measured temperature, salinity, and dissolved oxygen *in situ*. The planktonic samples from four transects were collected during cold fronts and rainy weather conditions from 2011 to 2013. **Results.** In rainy conditions the temperature varied from  $27.49 \pm 0.46$  to  $29.98 \pm 0.02$  °C, salinity from  $32.18 \pm 0.06$  to  $35.40 \pm 0.52$ , and dissolved oxygen from  $3.64 \pm 0.13$  to  $6.18 \pm 0.64$  mgL<sup>-1</sup>; during cold fronts the temperature varied from  $23.21 \pm 0.05$  to  $25.74 \pm 0.37$  °C, salinity from  $34.59 \pm 0.39$  to  $35.84 \pm 0.17$ , and dissolved oxygen from  $4.04 \pm 0.06$  to  $6.02 \pm 0.64$  mgL<sup>-1</sup>. The highest average density with  $6,938 \pm 326$  mysis 100 m<sup>-3</sup>, was found during rainy season in 2011 in the southern transect nearshore, followed by  $3,321 \pm 339$  mysis 100 m<sup>-3</sup> in the offshore-south-central transect during cold fronts weather conditions in 2013, and  $3,056 \pm 236$  mysis 100 m<sup>-3</sup> in the south-central foreshore transect during cold fronts weather condition in 2011. **Conclusions.** The highest density of *P. aztecus* during mysis stage was recorded in southward foreshore area from PNSAV, during rainy conditions and related to large values of dissolved oxygen concentrations.

**Key words:** coral reef, ecology, fisheries, larvae, shrimp brown

<sup>1</sup> Grupo Académico y de Investigación Acuática (GAIA), Carrera de Biología, 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.

**\*Corresponding author:**

Sergio Cházaro-Olvera: chazaro@campus.iztacala.unam.mx, schazaro@gmail.com

**To quote as:**

Cházaro-Olvera, S., Á. Morán-Silva, R. Chávez-López, H. Vázquez-López & A. del C. Rodríguez-Varela. 2020. Density of mysis of *Penaeus aztecus* Ives, 1891 on a reef in the Southwest of the Gulf of Mexico. *Hidrobiológica* 30 (3): 233-242.

### RESUMEN

**Antecedentes.** El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) está ubicado en el sur del Golfo de México y soporta una importante pesquería de camarones basada en tres especies de Dendrobranchiata: el camarón café, *Penaeus aztecus*, el camarón blanco, *P. setiferus* y el camarón rosado, *P. duorarum*. **Objetivo.** Analizar la distribución y abundancia de *P. aztecus* en estadio de mysis y determinar su relación con los factores ambientales en el PNSAV. **Métodos.** Se midió la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto *in situ*. Se recolectaron muestras planctónicas de cuatro transectos durante frentes fríos y condiciones climáticas lluviosas de 2011 a 2013. **Resultados.** La temperatura varió de  $27.49 \pm 0.46$  a  $29.98 \pm 0.02$  °C, la salinidad de  $32.18 \pm 0.06$  a  $35.40 \pm 0.52$  y el oxígeno disuelto de  $3.64 \pm 0.13$  a  $6.18 \pm 0.64$  mgL<sup>-1</sup> en época de lluvias. Durante los frentes fríos, la temperatura varió de  $23.21 \pm 0.05$  a  $25.74 \pm 0.37$  °C, la salinidad de  $34.59 \pm 0.39$  a  $35.84 \pm 0.17$  y el oxígeno disuelto de  $4.04 \pm 0.06$  a  $6.02 \pm 0.64$  mgL<sup>-1</sup>. La densidad media más alta fue de  $6,938 \pm 326$  mysis 100 m<sup>-3</sup>, que se encontró durante las lluvias en 2011 en el transecto sur, cercano a la costa, seguido por  $3,321 \pm 339$  mysis 100 m<sup>-3</sup> en el transecto centro-sur, costa afuera durante los frentes fríos en 2013 y  $3,056 \pm 236$  mysis 100 m<sup>-3</sup> en el transecto centro-sur durante los frentes fríos en 2011, en la zona de la costa. **Conclusiones.** La mayor densidad de mysis de *P. aztecus* se registró en la zona de playa al sur del PNSAV, durante las condiciones de lluvia y se relacionó con el aumento de las concentraciones del oxígeno disuelto.

**Palabras clave:** arrecife de coral, ecología, pesca, larvas, camarón café.

## INTRODUCTION

The Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) is a highly productive ecosystem (Rodríguez-Gómez *et al.*, 2013), which is the reason it was designated as a Marine Protected Area under the classification of National Marine Park in 1992 (DOF, 1992, 2012) and has since been declared a Biosphere Reserve within the Man and the Biosphere Program (UNESCO, 2006) and registered as a Ramsar site (number 1346) (FIR, 2004). This reef system is comprised of several individual coral reefs, divided into northern and southern groups by the influence of the fluvial plume of the Jamapa River (Horta-Puga *et al.*, 2016).

Coral reef ecosystems such as PNSAV show an intricate architectural complexity (Jordán-Dahlgren, 2004), and support benthic and planktonic invertebrate assemblages of high biodiversity (Horta-Puga *et al.*, 2007). Some of the zooplankton biota found in the PNSAV have been studied, such as appendicularians, chaetognaths, pteropods, copepods, as well as fish species (Flores-Coto, 1965, 1974; Leal-Rodríguez, 1965; Vega-Rodríguez, 1965; Aguayo-Saviñón, 1966; Campos, 1980; 1980; Suárez, 1992; Campos-Hernández & Suárez-Morales, 1994; Ayala-Rodríguez *et al.*, 2016). Okolodkov *et al.* (2011) conducted a study on the biomass of plankton, reporting that invertebrates are the most abundant group of zooplankton in this reef system. Cházaro-Olvera *et al.* (2019) found that 13.77% of the community of zooplankton were decapods, including commercial species such as *Callinectes* sp., *Menippe* sp., and *Penaeus* sp. Around 259 species of Crustacea have been found in the PNSAV, nine species belonging to suborder Dendrobranchiata (Hermoso-Salazar & Arvizu-Coyotzi, 2015).

The PNSAV is located in the southern Gulf of Mexico and this region supports an important shrimp fishery based on three species of Dendrobranchiata: the brown shrimp, *Penaeus aztecus* Ives, 1891, the white shrimp, *P. setiferus* Linnaeus, 1767, and the pink shrimp, *P. duorarum* Burkenroad, 1939 (Gracia & Soto, 1990; Gómez-Ponce *et al.*, 2018).

The shrimp fishery is the fourth most important by catch volume in the Gulf of Mexico. Almost 80% of total capture corresponds to *P. aztecus*, caught mainly in the Tamaulipas and Veracruz states; in the latter, between the years 2004 and 2013, up to 10% of Gulf of México total catch was obtained (INP, 2014).

All *Penaeus* spp. stages are free living, the three commercially important penaeids spawn eggs in coastal waters, usually at depths of <50 m. The larvae become planktonic after hatching and transitioning through a series of stages, i.e., nauplius, zoea (including protozoea and mysis stages), and later, as tidal and wind-driven currents carry the larvae shoreward, the decapodid and juvenile stages eventually enter the estuary, become demersal, and move into coastal marshes to feed and grow before returning to shelf waters as sub-adults (Ditty & Alvarado, 2011; Martin *et al.*, 2014). Larval development is regular anamorphic (Anger, 2001), meaning that the appearance of characters and shape changes are gradual.

The brown shrimp, *P. aztecus*, typically occur from the west of the Mississippi River Delta to the Mexican State of Tamaulipas, however, they have also been caught from Martha's Vineyard, Massachusetts, to the Florida Keys, and in the west and south of the Gulf of Mexico, from Apalachicola Bay, Florida, to the northwestern coast of the Yucatan Peninsula, Mexico (Felder & Camp, 2009). Spawning peaks of *P. aztecus*

occur from December to April (Zimmerman & Minello, 1984; Rozas & Reed, 1993; Matthews, 2008) and a smaller, secondary peak occurs during late summer and early fall (Rogers *et al.*, 1993).

The pelagic larval stage dispersion is considered to be an advantage for this species because it enhances genetic flow and the colonization of new areas.

The transport of penaeid larvae and postlarvae is a complex process that includes mechanisms such as selective tidal transport induced by synchronized salinity changes (Hughes, 1969), endogenous rhythms (Hughes, 1972), or hydrostatic pressure (Forbes & Benfield, 1986; Rothlisberg *et al.*, 1995). Another hypothesis suggests that changes in coastal water temperature, salinity, and the direction of currents, in combination with the diel movements of larvae and postlarvae, facilitate their transport (Hughes, 1969; Rogers *et al.*, 1993). It has also been suggested that vertical migration, tidal and wind-forced currents are a possible mode of recruitment (Rothlisberg *et al.*, 1983; Wenner *et al.*, 1998).

To this day, larval transport and recruitment research has reached considerable progress, for example, on pre-settlement stages as their entrance to inshore habitats is related to biological and oceanographic variables. Despite these advances, knowledge about the larval recruitment of tropical fish species and invertebrates in the Caribbean Sea and Gulf of Mexico is scarce (Crales *et al.*, 2002), due to this in this contribution were analyzed the distribution and abundance of *P. aztecus* mysis stage and the relationships to environmental factors in PNSAV.

## MATERIAL AND METHODS

The PNSAV is located on the continental shelf of the state of Veracruz, off the coast of Boca del Río and Alvarado municipalities, in the southern Gulf of Mexico (19°00'00"–19°16'00"N, 95°45'00"–96°12'00"W). The park consists of 23 reef banks divided by the estuarine inlet of the Jamapa River; 12 reefs are in front of the port of Veracruz (northern group) and 11 more are in front of the Municipality of Antón Lizardo (southern group). In total, they occupy an area of 52,283 hectares. The park presents islands and platform reefs (Granados-Barba *et al.*, 2007; Horta-Puga *et al.*, 2007).

The Gulf of Mexico is in a transition area; therefore, seasonal variability is less pronounced in the southern tropical half. For that reason, the climate in the PNSAV cannot be divided seasonally; instead we used dry and rainy seasons and cold fronts (Carrillo *et al.*, 2007). Cold fronts are anticyclonic cold wind currents that enter the Gulf of Mexico from North America, generating strong northern winds, with occasional precipitation and temperature drops (Carrillo *et al.*, 2007; Ojeda *et al.*, 2017), this season occurs from October to March. The 'dry weather conditions' occur from May to June, with scarce rainfall and higher temperatures. The 'rainy weather conditions' occur from July to September, when temperatures and precipitation increase and winds are weaker (Carrillo *et al.*, 2007; Zavala-Hidalgo *et al.*, 2014). The average annual temperature in the reef zone is 26°C (Chávez *et al.*, 2007).

**Field work.** Samples were collected under cold front and rainy weather conditions in the years 2011, 2012, and 2013. *P. aztecus* larval stages were obtained in 26 sampling stations located in four transects, two transects northward and another two transects southward of the Jamapa river estuarine inlet (Fig. 1).

Horizontal surface hauls were made on the stations using a 1.5 m-long conical net WP2 with a 0.5 m mouth diameter (surface = 0.196 m<sup>2</sup>) and 330 µm mesh opening with a flowmeter (General Oceanics) to determine the volume of filtered water. The hauls were conducted from a boat with an outboard motor and lasted for 5 min at an average speed of 3 knots (1.543 m s<sup>-1</sup>), equivalent to an approximate distance of 450 m and water volume of 350 m<sup>3</sup> for each sampling site. Samples were concentrated and fixed in 500 ml flasks with 10 ml of 4% formaldehyde and neutralized with sodium borate. *In situ* measurements included salinity, surface temperature of water (°C), and dissolved oxygen (mg l<sup>-1</sup>) which were measured using a multiparameter water quality portable meter (Hanna HI 9828).

**Laboratory work.** The biological material was transferred to the Crustacean Laboratory at the Facultad de Estudios Superiores Iztacala of the Universidad Nacional Autónoma de México. Samples were transferred to 70% alcohol 24 h after fixation. Larvae and decapodids species sorting was carried employing Calazan (1993) and Dos Santos & Lindley (2001) identification keys. A Motic SMZ-168 stereoscopic microscope and a Leica DM750 microscope were used. The total number of individuals per species was counted and mysis density was standardized to the number of mysis per 100 m<sup>3</sup> (Suárez-Morales & Gasca, 2000).

**Statistical analysis.** The generalized least squares (GLS) model was used to compare temperature (°C), salinity, and dissolved oxygen (mg l<sup>-1</sup>) under cold front (Cf) and rainy (R) weather conditions (Wc) during three sampling years (2011, 2012, and 2013), transects (Northern, N; North central, Nc; South central, Sc; Southern, S) and shore zones (Fs, Foreshore; Ns, Nearshore; Offs, Offshore) (Chowdhury & Behera, 2019) (Zuur *et al.*, 2007). GLS was performed using SPSS v25.

To test whether the density of the species changed as a function of weather conditions and sampling zones, a two-way factorial design was performed. Zones (three) and weather conditions (two) were considered as fixed orthogonal factors. This design was applied to analyze the density of zoeae using a permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) test. The values of environmental parameters were arcsine transformed and normalized. The values of the density of the species were transformed into the Log (n+1). The resemblance matrix for the density of the species was achieved using the Bray-Curtis similarity (Clarke & Gorley, 2016). The analysis was computed with 9999 permutations of residuals in a reduced model. Pairwise tests using a t-statistic were used to identify differences between weather conditions, latitudinal zones and shore zones. PERMANOVA were performed as implemented in the PRIMER V7 and PERMANOVA add-ons (Anderson *et al.*, 2008; Clarke & Gorley, 2016).

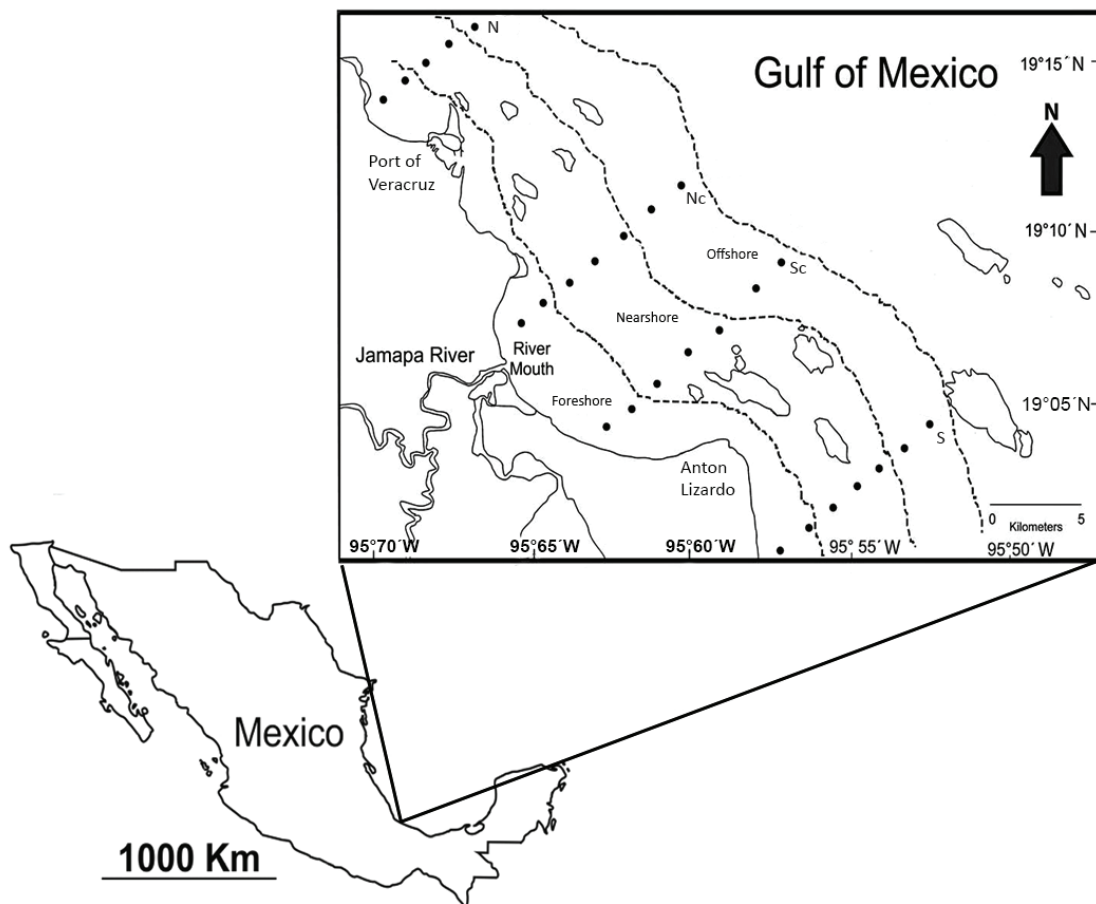


Figure 1. Location of the sampling stations and transects in PNSAV study area.

The relationships among *P. aztecus* mysis densities and water temperature, salinity and dissolved oxygen mean values were explored with Non-metric multidimensional scaling ordination method (NMDS), using a resemblance matrix constructed with the Bray-Curtis index. NMDS was performed using PAST software (Hammer *et al.*, 2001).

## RESULTS

**Environmental factors.** In rainy weather conditions, a temperature variation was determined between  $27.49 \pm 0.46$  °C in north central-Offs and  $29.98 \pm 0.02$  °C in southern-Fs; in weather conditions associated with cold fronts the temperature varied between  $23.21 \pm 0.05$  °C in north central-Fs and  $25.74 \pm 0.37$  °C in southern-Offs (Fig. 2A). The water temperature showed significant differences related to transect location ( $F_{(3,61)} = 7.310$ ,  $p < 0.001$ ), shore zone ( $F_{(2,61)} = 79.757$ ,  $p < 0.001$ ), and weather condition ( $F_{(5,61)} = 322.07$ ,  $p < 0.001$ ). Differences were also found when comparing the northern and north central transects to the southern and south central transects, the three shore zones, and the weather conditions ( $p < 0.05$ ) (Table 1A).

Salinity in rainy weather conditions was  $32.18 \pm 0.06$  in southern-Fs and  $35.40 \pm 0.52$  in the northern-Offs; in cold front weather conditions, the salinity was  $34.59 \pm 0.39$  in the south central-Fs compared to  $35.84 \pm 0.17$  in the northern-Offs (Fig. 2b). Salinity showed significant differences depending on transect ( $F_{(3,61)} = 9.324$ ,  $p < 0.001$ ), shore zone ( $F_{(2,61)} = 30.705$ ,  $p < 0.001$ ), and weather conditions ( $F_{(5,61)} = 17.858$ ,  $p < 0.001$ ). Northern transect salinity had significant differences with respect to the southern and south central transects (but not with north central transect), and the north central transect salinity showed significant differences with respect to the southern transect only. These salinity differences were found among the three shore zones and the two weather conditions ( $p < 0.05$ ) (Table 1B).

In rainy weather conditions the dissolved oxygen level was  $3.64 \pm 0.13$  mgL<sup>-1</sup> in the northern-Fs to  $6.18 \pm 0.64$  mgL<sup>-1</sup> in the southern-Offs; in cold front weather conditions dissolved oxygen ranged from  $4.04 \pm 0.06$  mgL<sup>-1</sup> in the north central-Fs to  $6.02 \pm$  mgL<sup>-1</sup> in the southern-Offs (Fig. 2c). The dissolved oxygen concentrations showed significant differences depending on transect ( $F_{(3,61)} = 47.474$ ,  $p < 0.001$ ), shore zone ( $F_{(2,61)} = 16.162$ ,  $p < 0.001$ ), and weather conditions ( $F_{(5,61)} = 6.588$ ,  $p < 0.001$ ). Differences in dissolved oxygen concentrations were found between the northern and the southern and south central transects, the three shore zones, and between cold front conditions in 2011 and 2013 with rainy conditions in 2011, and between cold front weather conditions in 2012 with rainy conditions in 2011 and 2012 (Tukey  $p < 0.05$ ) (Table 1C).

**Mysis density.** The highest average density,  $6,938 \pm 326$  mysis 100 m<sup>-3</sup>, was found during rainy season in 2011 in the southern transect-Ns, followed by  $3,321 \pm 339$  mysis 100 m<sup>-3</sup> in the south central-Offs transect during cold front weather conditions in 2013, and  $3,056 \pm 236$  mysis 100 m<sup>-3</sup> in the south central-Fs transect during cold front weather conditions in 2011 (Table 2). According to the PERMANOVA results, the *P. aztecus* mysis density changed according to weather conditions ( $F_{(5,54)} = 2.73$ ,  $p = 0.025$ ) considering the distance off the coastline. The pairwise comparison test revealed that differences in mysis density were apparent among 2013 cold front season and 2012 and 2013 rainy seasons ( $p < 0.05$ ).

Respect to the transects, changes were found among weather conditions ( $F_{(3,48)} = 5.18$ ,  $p = 0.004$ ) and transects too ( $F_{(5,48)} = 3.38$ ,  $p = 0.009$ ). The pairwise comparisons revealed that mysis density was different among 2013 cold fronts and 2012 and 2013 rainy season conditions, also among the 2011 cold fronts season conditions and 2012 rainy season conditions ( $p < 0.05$ ). Furthermore, the pairwise comparisons showed differences among northern transect, southern transect and south-central transect; another difference was among north-central transect and the southern transect ( $p < 0.05$ ) (Table 3).

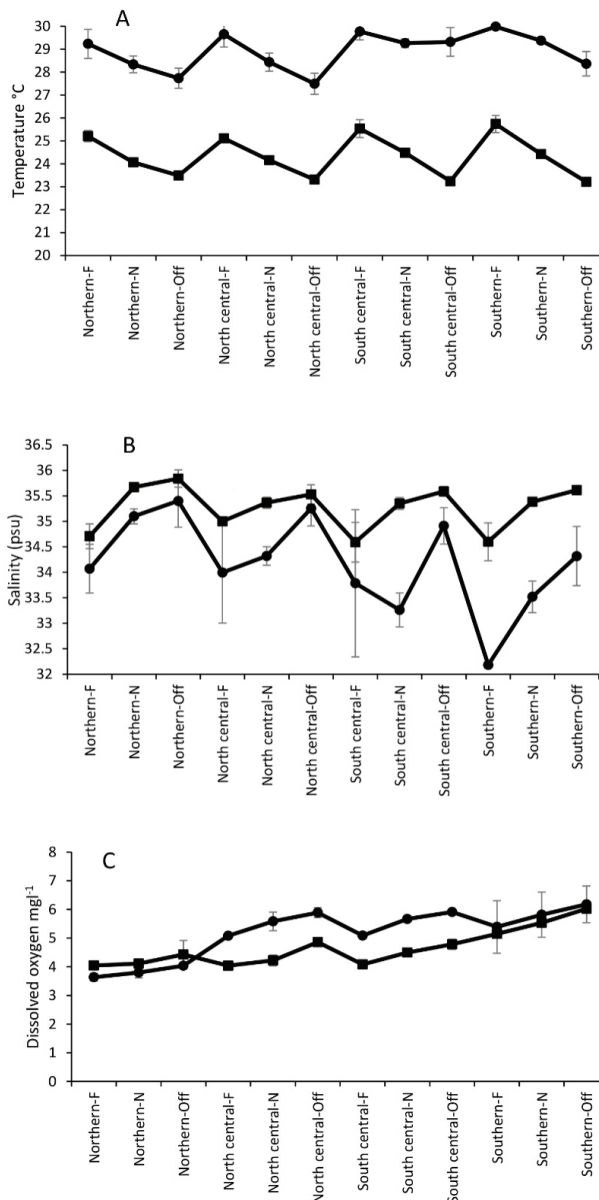


Fig. 2. Relation between the zone of sampling and environmental factors. A, temperature °C; B salinity (psu); C, dissolved oxygen mgL<sup>-1</sup>. Black circles, rainy weather conditions; Black squares, cold fronts weather conditions.



Table 1. Model Generalized Least Squares applied to compare the temperature (°C), salinity (psu) and dissolved oxygen (mgL<sup>-1</sup>) from transects (Tr) and shore zones (Sz) under weather conditions (Wc) for each sampling year. \*, significant differences. Cf, cold fronts; Comp, comparison between transects, weather conditions and shore zones; Fs, foreshore; Offs, offshore; N, northern; Nc, north central; Ns, nearshore; R, rainy; S, southern; Sc, south central.

<b>Temperature</b>							
<b>Source</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>Mc</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>Comp</b>	<b>p (Tukey)</b>
Corrected model	178.22 <sup>a</sup>	10	17.82	179.15	< 0.001*	N-Nc	1.000
Intersection	69363.56	1	69363.56	697255.67	< 0.001*	N-Sc	0.004*
Tr	2.18	3	0.73	7.31	< 0.001*	N-Sc	0.016*
Sz	15.87	2	7.93	79.76	< 0.001*	Nc-Sc	0.005*
Wc	160.17	5	32.03	322.02	< 0.001*	Nc-S	0.021*
Residual	6.07	61	0.09			Sc-S	0.956
Total	69547.85	72				Cf-R	<0.001*
Corrected total	184.29	71				Fs-Ns	<0.001*
$r^2 = 0.97$						Fs-Offs	<0.001*
						Ns-Offs	<0.001*

<b>Salinity</b>							
<b>Source</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>MC</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>Comp</b>	<b>p (Tukey)</b>
Corrected model	18.01 <sup>a</sup>	10	1.80	17.87	< 0.001*	N-Sc	0.014*
Intersection	93851.66	1	93851.66	931188.30	< 0.001*	N-S	<0.001*
Tr	2.82	3	0.94	9.32	< 0.001*	Nc-Sc	0.246
Sz	6.19	2	3.09	30.71	< 0.001*	Nc-S	0.003*
Wc	8.99	5	1.8	17.86	< 0.001*	Sc-S	0.287
Residual	6.15	61	0.10			Cf-R	0.001*
Total	93875.82	72				Fs-Ns	<0.001*
Corrected total	24.16	71				Fs-Offs	<0.001*
$r^2 = 0.75$						Ns-Offs	<0.001*

<b>Dissolved oxygen</b>							
<b>Source</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>MC</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>Comp</b>	<b>p (Tukey)</b>
Corrected model	66.91 <sup>a</sup>	10	6.69	20.77	< 0.001*	N-Nc	<0.001*
Intersection	11720.09	1	11720.09	36378.88	< 0.001*	N-Sc	<0.001*
Tr	45.88	3	15.29	47.47	< 0.001*	N-S	<0.001*
Sz	10.42	2	5.21	16.16	< 0.001*	Nc-S	<0.001*
Wc	10.61	5	2.12	6.59	< 0.001*	Sc-S	<0.001*
Residual	19.652	61	0.32			Cf-R	<0.001*
Total	11806.65	72				Fs-Ns	0.019*
Corrected total	86.56	71				Fs-Offs	<0.001*
$r^2 = 0.773$						Ns-Offs	0.014*

The NMDS results identified two groups in rainy seasons, separated by transects (stress = 0.117); one group comprising the northern and north central zones, with low densities and average temperature of  $28.68 \pm 0.76$  °C, salinity of  $34.58 \pm 0.64$  and dissolved oxygen concentration of  $4.43 \pm 0.86$  mgL<sup>-1</sup>; the second group, with higher densities, was comprised by the southern and south central transects, with average temperature  $29.35 \pm 0.56$  °C, salinity of  $33.66 \pm 0.94$  and dissolved oxygen levels of  $5.68 \pm 0.39$  mgL<sup>-1</sup> (Fig. 3a). The NMDS anal-

ysis also separated two groups (stress = 0.043) in cold front weather conditions: a group in the northern and north central zones, with low densities and average temperature of  $24.41 \pm 0.73$  °C, salinity  $35.32 \pm 0.47$ , and dissolved oxygen levels of  $4.16 \pm 0.17$  mgL<sup>-1</sup>; the second group, with higher densities, was formed by the southern and south central transects, with average temperature of  $24.44 \pm 1.08$  °C, salinity of  $35.19 \pm 0.47$ , and dissolved oxygen concentration of  $5.01 \pm 0.71$  mgL<sup>-1</sup> (Fig. 3b).



Table 2. *Penaeus aztecus*. Density of mysis  $100\text{ m}^{-3}(\pm\text{SD})$  in the PNSAV during rainy and cold fronts of 2011, 2012 and 2013. Cold fronts, Cf; Shore zone, Sz; Rainy, R. Bold highest density.

Transect	Sz	R-2011	Cf-2011	R-2012	Cf-2012	R-2013	Cf-2013
Northern	Foreshore		208 ± 36				40 ± 12
Northern	Noeshore		72 ± 15		28 ± 8	184 ± 22	660 ± 113
North central	Foreshore					35 ± 7	80 ± 25
North central	Noeshore	8 ± 2	9	43 ± 18			72 ± 21
North central	Offshore		40 ± 12		33 ± 10	225 ± 25	2704 ± 356
South central	Foreshore	49 ± 14	<b>3056 ± 236</b>		56 ± 16	56 ± 14	113 ± 26
South central	Noeshore	256 ± 36	666 ± 125		159 ± 21		1439 ± 189
South central	Offshore	139 ± 17			272 ± 56		3321 ± 339
Southern	Foreshore	1682 ± 125	20 ± 6	26 ± 6	248 ± 65	13 ± 3	464 ± 89
Southern	Noeshore	<b>6938 ± 326</b>	112 ± 26	59 ± 12	728 ± 112		555 ± 145
Southern	Offshore	64 ± 11	59 ± 16		55 ± 18	88 ± 12	872 ± 258

## DISCUSSION

Changes in environmental conditions in the PNSAV region during periods of weather associated with a cold front, rainy weather, tropical storms, and hurricanes cause a mixed layer in the water column, incorporating nutrients into the photic zone (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2006, 2014), which can be used by phytoplankton, zooplankton such as mysis that feed on the algae (Schwamborn *et al.*, 2001). In cold front weather conditions winds along Tamaulipas and Veracruz coasts produce cyclonic currents in a southerly direction, while those in the states of Campeche Bank

and Yucatán form anticyclonic currents. These currents converge at the southern end of the Gulf of Mexico, forming flows, perpendicular to the coast, from the neritic-oceanic zone to the oceanic zone (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2006). Furthermore, the subtropical water underlying the Campeche Bank enhances the resuspension of nutrient-rich sediments in the southern part of the PNSAV. Rodríguez-Gómez *et al.* (2015) found that the highest levels of chlorophyll and, consequently, of gross primary productivity in the PNSAV begin to appear in September and at the end of October to April. Thus, the highest mysis density obtained in this study under rainy weather conditions could be associated to the

Table 3. Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) on the density of mysis of *Penaeus aztecus* from PNSAV reef, based on an orthogonal two-factors model. Cf, cold fronts; Comp, comparison between transects, weather conditions and shore zones; N, northern; Nc, north central; S, southern; Sc, south central; Sz, Shore zones; R, Rainy; Tr, Transects; Wc, Weather conditions. \*, significant differences ( $p < 0.05$ ).

Shore zones							
Source	SS	df	MS	F	P	Comp	p (Tukey)
Sz	0.52	2	0.26	1.12	0.312	Cf2013-R2012	0.001*
Wc	3.14	5	0.63	2.73	0.025*	Cf2013-R2013	0.031*
Interaction	1.54	10	0.15	0.67	0.766		
Residual	12.43	54	0.23				
Total	17.63	71					
Transects							
Source	SS	df	MS	F	P	Comp	p (Tukey)
Tr	2.8918	3	0.96394	5.18	0.004*	N-S	<0.001*
Wc	3.1443	5	0.62885	3.38	0.009*	N-Sc	0.016*
Interaction	2.655	15	0.177	0.95	0.513	Nc-S	0.011*
Residual	8.9383	48	0.18621			Cf2011-R2012	0.039*
Total	17.629	71					

values of dissolved oxygen, due to the increase in chlorophyll (Álvarez-Cadena *et al.*, 2007), and a response to nutrient input by the estuarine plume of the Jamapa River during rainy conditions (Horta-Puga *et al.*, 2016). However, Landeira & Lozano-Soldevilla (2018), commented that valuable information is obtained from knowing the place and potential spawning season for a species, and the temporal distribution of decapod larvae suggests a larval hatching period for many species with peaks of abundance associated with seasonality. So, peak spawning from December through April (Zimmerman & Minello, 1984; Rozas & Reed, 1993; Matthews, 2008) and a second peak that occurs during late summer and early fall (Rogers *et al.*, 1993) is consistent with the peak of abundance obtained in this study in rainy weather and the continuous presence of high mysis abundance in cold front weather conditions.

The GLS and PERMANOVA tests allow the distinction of two zones: northern zone and southern zone, related to the freshwater inflows and sediment loadings from Jamapa river. However, is important to point out that during cold fronts weather conditions, the inshore marine current turns to a southward direction and Jamapa river plume reaches its highest influence over the nearest reefs to Anton Lizardo coast; in contrast, during dry weather conditions the inshore marine currents go northward and the Jamapa river plume change its influence over the reefs ubicated in front of Veracruz Port (Krutak *et al.*, 1980).

The multivariate analysis (NMDS) results also distinguished two zones, based on dissolved oxygen concentration, since the northern zone had low concentrations (up to 4 mgL<sup>-1</sup>) while the northern zone had higher values (up to 5 mgL<sup>-1</sup>). According to the EPA (1986) and the ecological Criteria of the European Community (1989), the concentration of dissolved oxygen needed for the protection of aquatic life in both fresh water and marine water is 5 mg L<sup>-1</sup>. Some aquatic animals can tolerate a lower concentration of dissolved oxygen for a period; however, this has negative effects on biodiversity, growth, and reproduction.

Regarding density, Cházaro-Olvera *et al.* (2009), found values of 146,530 postlarvae 100 m<sup>-3</sup> in the tidal flow of an estuarine lagoon inlet; Wenner *et al.* (2005) found that the density of *L. setiferus* ranged from 1,300 postlarvae 100 m<sup>-3</sup> to 29,900 postlarvae 100 m<sup>-3</sup> in surface hauls during night-time flow tides. In the present study we obtained approximately 7,000 mysis 100 m<sup>-3</sup> in the nearshore zone in daytime surface hauls. Thus, in open coastal systems dispersion of larvae and postlarvae is higher than in channels where larvae enter estuarine systems.

Finally, with respect to *P. aztecus* life history, Darnell *et al.* (1983) and Neal *et al.* (1983) mentioned that adults reproduce in marine environmental conditions beyond the 18 m depth, and the spawning sites are deeper and far away from shore (Williams, 1984). But the larval distribution, nauplii, protozoa, and mysis stages are found nearby the coast (Sick, 1970; Zimmerman & Minello, 1984), mainly from September to April (Sandifer, 1973; Williams, 1984). The results showed in this study are consistent evidence of previous reports, referred to highest density of *P. aztecus* mysis was found during rains and cold fronts weather conditions and in the foreshore zone, in this case in the south area of the PNSAV.

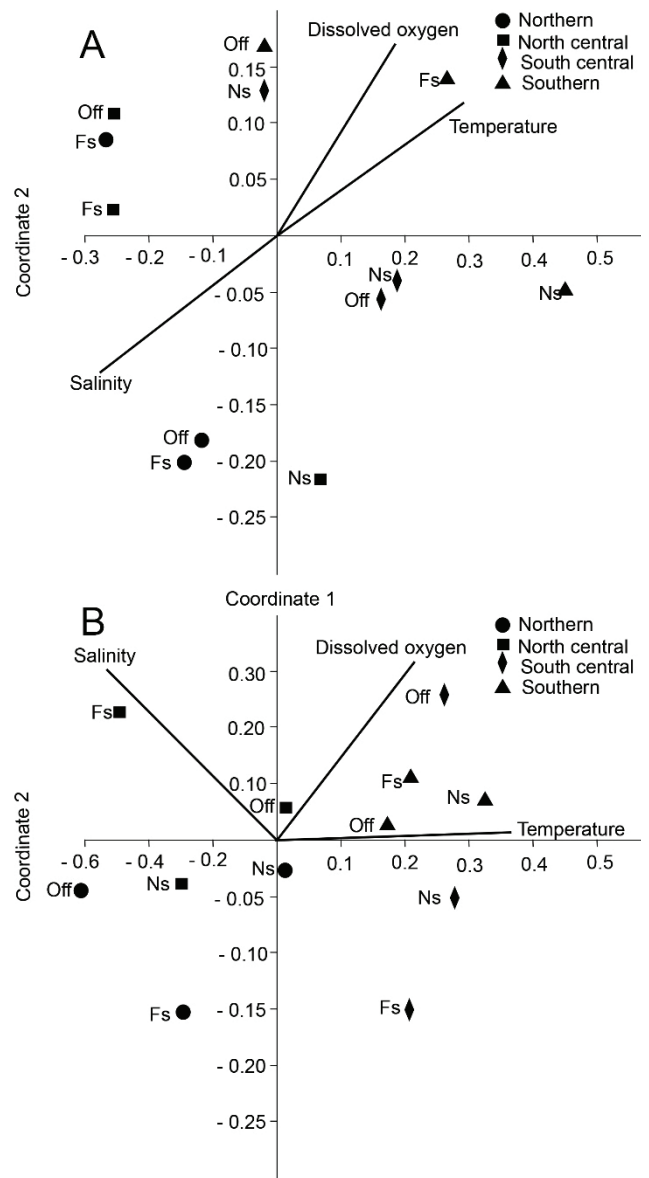


Fig. 3. *Penaeus aztecus* mysis stage. Non-metric multidimensional scaling (NMDS) for the ordination of density as a function of the weather conditions (A, rainy; B, cold fronts). Fs, foreshore; Ns, nearshore; Offs, offshore).

## ACKNOWLEDGEMENTS

Senior author appreciate the support of CONACYT National Sabbatical Program 2018; the authors express their gratitude towards SEMARNAT, CONANP and CONAPESCA-DGOPA (SAGARPA) authorities for their administrative and permits support for the realization of field work and to the students of the Crustacean Laboratory of FES Iztacala, UNAM, who participated in the processing of samples.

## REFERENCES

- AGUAYO-SAVIÑÓN, M. A. 1966. Contribución al conocimiento de los Copépodos de la zona arrecifal de Veracruz. Ver. Sistemática y distribución. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. CDMX, México. 74 p.
- ÁLVAREZ-CADENA, J. N., U. ORDÓÑEZ-LÓPEZ, D. VALDÉS-LOZANO, A. R. ALMARAL & A. UICAB-SABIDO. 2007. Estudio anual del zooplancton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, Mar Caribe de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 421-430.
- ANDERSON, M. J., R. N. GORLEY & K. R. CLARKE. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E, Plymouth. Available online at: <https://www.primer-e.com/our-software/permanova-add-on/?currency=NZD> (downloaded April 20, 2020)
- ANGER, K. 2001. *The biology of decapod crustacean larvae*. Crustacean issues. A. A. Bakelma, Lisse, Netherlands. 419 p.
- AYALA-RODRÍGUEZ, G. A., U. ORDÓÑEZ-LÓPEZ, C. MEINERS & M. MARÍN-HERNÁNDEZ. 2016. Listado taxonómico, aspectos ecológicos y biogeográficos de las larvas de peces del Sistema Arrecifal Veracruzano, Suroeste del Golfo de México (junio 2011-junio 2013). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 51 (2): 255-264. DOI:10.4067/S0718-19572016000200004
- CALAZAN, D. 1993. Key to the larvae and decapodids of genera of the Infraorder Penaeidea from the southern Brazilian coast. *Nauplius, Rio Grande* 1: 45-62.
- CAMPOS, A. 1980. Distribución y abundancia relativa de los copépodos planctónicos en el Golfo de México y el Mar Caribe. *Ciencias Biológicas* (La Habana) 5: 57-74.
- CAMPOS-HERNÁNDEZ, A. & E. SUÁREZ-MORALES. 1994. *Copépodos pelágicos del Golfo de México y mar Caribe*. I. Biología y Sistemática. CIQRO, CONACYT, Regina de los Angeles SA, México. 353 p.
- CARRILLO, L., G. HORTA-PUGA & J. P. CARRICART-GANIVET. 2007. Climate and Oceanography. In: Tunnell, J. W. Jr., E. A. Chavez & K. Withers (eds.). *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A & M University Press, Corpus Christi, Texas, pp. 34-41.
- CHÁVEZ, E., J. W. TUNNELL & K. WITHERS. 2007. Reef zonation and ecology. In: Tunnel, J.W., E.A. Chávez & K. Withers (eds.). *Coral reefs of Southern Gulf of Mexico*. Texas A & M University Press, Corpus Christi, Texas, pp. 41-67.
- CHÁZARO-OLVERA, S., I. WINFIELD & V. CORIA-OLVERA. 2009. Transport of *Farfantepenaeus 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., J. MONTOYA-MENDOZA, S. ROSALES-SALDÍVAR, H. VÁZQUEZ-LÓPEZ & C. MEINERS-MANDUJANO. 2019. Planktonic copepod community of a reef zone in the southern Gulf of Mexico. *Journal of Natural History* 53 (19-20): 1187-1208. DOI:10.1080/00222933.2019.1637476
- CHOWDHURY, P. & M. R. BEHERA. 2019. Nearshore Sediment Transport in a Changing Climate. In: Venkataraman, C., T. Mishra, S. Ghosh & S. Karmakar (eds.). *Climate Change Signals and Response*. Springer, Singapore, pp. 48-60.
- CLARKE, K. R. & R. N. GORLEY. 2016. PRIMER V7: User Manual/Tutorial. PRIMER-e, Plymouth. Available online at: [http://updates.primer-e.com/primer7/manuals/User\\_manual\\_v7a.pdf](http://updates.primer-e.com/primer7/manuals/User_manual_v7a.pdf) (downloaded April 20, 2020)
- CRIALES, M. M., C. YEUNG, F. AMAYA, A. C. LOPEZ, D. L. JONES & W. J. RICHARDS. 2002. Larval supply of fishes, shrimps, and crabs into the nursery ground of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Caribbean Journal of Science* 38 (1-2): 52-65.
- DARNELL, R. M., R. E. DEFENBAUGH & D. MOORE. 1983. *Northwestern Gulf shelf bio-atlas; a study of the distribution of demersal fishes and penaeid shrimp of soft bottoms of the continental shelf from the Rio Grande to the Mississippi River Delta*. Open File Report Number 82-04, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Regional Office, U.S. Dept. of the Interior. 438 p.
- DITTY, J. G., & J. R. ALVARADO-BREMER. 2011. Species discrimination of postlarvae and early juvenile brown shrimp (*Farfantepenaeus aztecus*) and pink shrimp (*F. duorarum*) (Decapoda: Penaeidae): Coupling molecular genetics and comparative morphology to identify early life stages. *Journal of Crustacean Biology* 31 (1): 126-137. DOI:10.1651/10-3304.1
- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 1992. Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicada frente a las Costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del estado de Veracruz Llave, con superficie de 52,238 hectáreas. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Disponible en línea en: <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/parques/sav.pdf> (consultado el 15 de marzo 2020).
- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2012. Diario Oficial de la Federación. Decreto que modifica al diverso por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicada frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del Estado de Veracruz Llave, con una superficie de 52,238-91-50 hectáreas, publicado los días 24 y 25 de agosto de 1992. 14 p. Disponible en línea en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5280548&fecha=29/11/2012](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280548&fecha=29/11/2012) (consultado el 15 de marzo 2020)
- DOS SANTOS, A. & J. A. LINDLEY. 2001. *Larvae, II. Dendrobranchiata (Aristeidae, Benthesicyemidae, Penaeidae, Solenoceridae, Sicyonidae, Sergestidae, and Luciferidae)*. ICES Identification Leaflets for Plankton Fiches d'Identification du Plancton, Leaflet No. 186. Copenhagen, Denmark. 9 p. DOI:10.17895/ices.pub.5166
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, UNITED STATES). 1986. 'National Recommended Water Quality Criteria. Available online at: <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-tables> (downloaded April 12, 2020)
- FELDER, D. L. & D. K. CAMP. 2009. *Gulf of Mexico: Origins, Waters, and Biota*. Texas A & M University Press, Corpus Christi, Texas. 1393 p.

- FIR (FICHA INFORMATIVA DE LOS HUMEDALES DE RAMSAR). 2004. Sitio Ramsar No. 1346 a nivel internacional No. 33 a nivel nacional. 15 p.
- FLORES-COTO, C. 1965. Notas preliminares sobre la identificación de las apendicularias de las aguas veracruzanas. *Anales del Instituto de Biología, UNAM* 36: 293-296.
- FLORES-COTO, C. 1974. Contribución al conocimiento de las apendicularias del arrecife "La Blanquilla" Veracruz, México con descripción de una nueva especie. *Anales del Centro de Ciencias del Mar Limnología, UNAM* 1 (1): 41-60.
- FORBES, A. T. & M. C. BENFIELD. 1986. Tidal behavior of postlarval penaeid prawns (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) in a southeast African estuary. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 102 (1): 23-34. DOI:10.1016/0022-0981(86)90123-1
- GÓMEZ-PONCE, M. A., C. FLORES-COTO, J. LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. L. CRUZ-SÁNCHEZ & L. SANVICENTE-AÑORVE. 2018. Evaluation of the entry of white shrimp postlarvae (Decapoda: Penaeidae) to a nursery area in the southern Gulf of Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research* 46 (1): 166-175. DOI:10.3856/vol46-issue1-fulltext-16
- GRACIA, A. & L. SOTO. 1990. Population study of the penaeid shrimp of Terminos Lagoon, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar Limnología, UNAM* 17 (2): 241-255.
- GRANADOS-BARBA, A., L. G. ABARCA-ARENAS & J. M. VARGAS-HERNÁNDEZ. 2007. *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 304 p.
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN. 2001. PAST: Paleontological statistics software for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1):9. Disponible en línea en: [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) (downloaded March 15, 2020).
- HERMOSO-SALAZAR, M. & K. ARVIZU-COYOTZI. 2015. Crustáceos del Sistema Arrecifal Veracruzano. In: Granados-Barba, A., L. D. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el corredor arrecifal del soroeste del Golfo de México*. Universidad Veracruzana, pp. 1-26.
- HORTA-PUGA, G., J. M. VARGAS-HERNÁNDEZ & J. P. CARRICART-GAVINET. 2007. Reef corals. In: Tunnell, J. W., E. Chávez & K. Withers (eds.). *Coral reefs of the southern Gulf of Mexico*. Texas A & M University Press, Corpus Christi, Texas, pp. 95-101.
- HORTA-PUGA, G., S. CHÁZARO-OLVERA, I. WINFIELD, M. A. LOZANO-ABURTO & V. ARENAS-FUENTES. 2016. Heavy metals in macroalgae from the Veracruz Reef System, Southern Gulf of Mexico. *Revista Bio Ciencias* 3 (4): 326-339. DOI:10.15741/revbio.03.04.07
- HUGHES, D. A. 1969. On the mechanisms underlying tide-associated movements of *Penaeus duorarum* Burkenroad. In: Mistakidis, M. N. (ed.). *Proceedings of the world scientific conference on the biology and culture of shrimps and prawns*. Vol. 3. FAO, Roma, pp. 867-874.
- HUGHES, D. A. 1972. On the endogenous control of tide-associated displacements of pink shrimp, *Penaeus duorarum* Burkenroad. *Biological Bulletin* 142: 271-280. DOI:10.2307/1540230
- INP (INSTITUTO NACIONAL DE PESCA). 2014. *Plan de manejo pesquero del camarón café (Farfantepenaeus aztecus) y camarón blanco (Litopenaeus setiferus) en las costas de Tamaulipas y Veracruz*. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Marzo 12: 1-58. También disponible en: <https://www.gob.mx/inapesca/documentos/plan-de-manejo-pesquero-de-camaron-cafe-y-blanco>
- JORDÁN-DAHLGREN, E. 2004. Los arrecifes coralinos del Golfo de México: Caracterización y diagnóstico. In: Caso, M., I. Pisanty & E. Ezcurra (eds.). *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*. INE-SEMARNAT. México, pp. 555-570.
- KOETTKER, A.G. & A. FREIRE. 2006. Spatial and temporal distribution of decapod larvae in the subtropical waters of the Arvoredo archipelago, SC, Brazil. *Iheringia, Série Zoologia* 96 (1):31-39. DOI:10.1590/S0073-47212006000100005
- KRUTAK, P. R., S. RICKLES & R. GIO-ARGÁEZ. 1980. Modern ostracod species diversity, dominance and biofaces patterns Veracruz-Antón Lizardo reefs, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM* 7 (2): 181-197.
- LANDEIRA, J. M. & F. LOZANO-SOLDEVILLA. 2018. Seasonality of planktonic crustacean decapod larvae in the subtropical waters of Gran Canaria Island, NE Atlantic. *Scientia Marina* 82 (2): 119-134. DOI:10.3989/scimar.04683.08A
- LEAL-RODRÍGUEZ, D. 1965. Distribución de pterópodos de Veracruz. *Anales del Instituto de Biología, UNAM* 36: 249-251.
- MARTIN, J. W., M. M. CRIALES & A. DOS SANTOS. 2014. Dendrobranchiata. In: Martin, J. W., J. Olsen & J. T. Hoeg (eds.). *Atlas of crustacean larvae*. John Hopkins University Press, Baltimore, pp. 236-242.
- MATTHEWS, G. A. 2008. Variability in estimating abundance of postlarval brown shrimp, *Farfantepenaeus aztecus* (Ives), migrating into Galveston Bay, Texas. *Gulf and Caribbean Research* 20 (1): 29-39. DOI:10.18785/gcr.2001.05
- NEAL, R. A., H. A. BRUSHER & L. F. SULLIVAN. 1983. *A survey of brown shrimp resources in the Northwestern Gulf of Mexico 1961-1965*. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC -114, U.S Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D.C., USA. 30 p.
- OJEDA, E., C.M. APPENDINI & E.T. MENDOZA. 2017. Storm-wave trends in Mexican waters of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17: 1305-1317. DOI:10.5194/nhess-17-1305-2017
- OKOLODKOV, Y. B., J. A. AKÉ-CASTILLO, M. G. GUTIÉRREZ-QUEVEDO, H. PÉREZ-ESPAÑA & D. SALAS-MONREAL. 2011. Annual cycle of the plankton biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Southwestern Gulf of Mexico. In: Kattel, G. (ed.). *Zooplankton and phytoplankton*. Nova Science Publishers, Inc, pp. 63-88.
- RODRÍGUEZ-GÓMEZ, C. F., J. A. AKÉ-CASTILLO & G. CAMPOS-BAUTISTA. 2013. Productividad primaria bruta y respiración planctónica en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Hidrobiológica* 23 (2): 143-153.
- RODRÍGUEZ-GÓMEZ, C. F., J. A. AKÉ-CASTILLO, G. CAMPOS-BAUTISTA & Y. B. OKOLODKOV. 2015. Revisión del estudio del fitoplancton en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *E-Bios* 2 (8):178-191.



- ROGERS, B. D., R. F. SHAW, W. H. HERKE & R. H. BLANCHET. 1993. Recruitment of postlarval and juvenile brown shrimp (*Penaeus aztecus* Ives) from offshore to estuarine waters of the northwestern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 36 (4): 377-394. DOI:10.1006/ecss.1993.1023
- ROTHLISBERG, P. C., J. A. CHURCH & A. M. G. FORBES. 1983. Modeling the advection of vertically migrating shrimp larvae. *Journal of Marine Research* 41 (3): 511-554. DOI:10.1357/002224083788519759
- ROTHLISBERG, P. C., J. A. CHURCH & C. B. FANDRY. 1995. A mechanism for near-shore concentration and estuarine recruitment of post-larval *Penaeus plebejus* Hess (Decapoda, Penaeidae). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 40 (2): 115-138. DOI:10.1016/S0272-7714(05)80001-0
- ROZAS, L. P. & D. J. REED. 1993. Nekton use of marsh-surface habitats in Louisiana (U.S.A.) deltaic salt marshes undergoing submergence. *Marine Ecology Progress Series* 96: 147-157. DOI:10.3354/meps096147
- SANDIFER, P. A. 1973. Distribution and abundance of decapod crustacean larvae in the York River Estuary and adjacent lower Chesapeake Bay, Virginia, 1968-1969. *Chesapeake Science* 14 (4): 235-257. DOI:10.2307/1350753
- SCHWAMBORN, R., S. NEUMANN-LEITÃO, T. A. ALMEIDA E SILVA, W. E. PINTO-SILVA & U. SAINT-PAUL. 2001. Distribution and dispersal of decapod crustacean larvae and other zooplankton in the Itamaracá estuarine system, Brazil. *Tropical Oceanography, Recife* 29 (1): 1-18.
- SICK, L. V. 1970. Larval distribution of commercially important Penaeidae in North Carolina. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* 86(3): 118-127.
- SUÁREZ, M. E. 1992. Composición, distribución, abundancia y zoogeografía de los copépodos pelágicos (Crustacea) del Golfo de México y Mar Caribe mexicanos. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM. CDMX, México. 325 p.
- SUÁREZ-MORALES, E. & R. GASCA. 2000. The planktonic copepod community at Mahahual reef, Western Caribbean. *Biology of Marine Science* 66: 255-267.
- UNESCO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA). 2006. Declaración del Sistema Arrecifal Veracruzano como Reserva de la Biósfera del Programa Hombre y Biósfera de la UNESCO. Disponible en línea en: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecologicalsciences/biosphere-reserves/latin-america-and-the-caribbean/mexico/sistemaarrecifal-veracruzano> (consultado el 11 de marzo 2020)
- VEGA-RODRÍGUEZ, F. 1965. Distribución de Chaetognatha en Veracruz, Ver. *Anales del Instituto Biología Serie Zoología, UNAM* 36: 229-247.
- WENNER, E. L., D. M. KNOTT, C. A. BARANS, S. WILDE, J. O. BLANTON & J. AMFT. 2005. Key factors influencing transport of white shrimp (*Litopenaeus setiferus*) post-larvae into the Oostanaw Sound system, Georgia, USA. *Fisheries Oceanography* 14 (3): 175-194. DOI:10.1111/j.1365-2419.2005.00328.x
- WENNER, E. L., D. M. KNOTT, J. O. BLANTON, C. A. BARANS & J. AMFT. 1998. Roles of tidal and wind-generated currents in transporting white shrimp (*Penaeus setiferus*) post-larvae through a South Carolina (USA) inlet. *Journal Plankton Research* 20 (12): 2333-2356. DOI:10.1093/plankt/20.12.2333
- 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. 2020. World register of marine species. Available online at: (downloaded April 15, 2020)
- ZAVALA-HIDALGO, J., O. SALMERÓN, V. AGUILAR, S. CERDEIRA & M. KOLB. 2006. Caracterización y regionalización de los procesos oceanográficos de los mares mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Disponible en línea en: [http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos\\_oceanogr%C3%A1ficos](http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos_oceanogr%C3%A1ficos) (consultado el 02 de mayo 2020)
- ZAVALA-HIDALGO, J., R. ROMERO-CENTENO & A. MATEOS-JASSO. 2014. The response of the Gulf of Mexico to wind and heat flux forcing: what has been learned in recent years. *Atmósfera* 27 (3): 317-334. DOI:10.1016/S0187-6236(14)71119-1
- ZIMMERMAN, R. J. & T. J. MINELLO. 1984. Densities of *Penaeus aztecus*, *P. setiferus* and other natant macrofauna in a Texas salt marsh. *Estuaries* 7: 421-433. DOI:10.2307/1351623
- ZUUR, A. F., E. N. IENO & G. M. SMITH. 2007. *Analysing ecological data*. Springer, New York, London. 672 p.



## Nuevos registros de moluscos (Gastropoda, Bivalvia) de la isla de Cozumel, Quintana Roo, México

## New records of mollusks (Gastropoda, Bivalvia) from the island of Cozumel, Quintana Roo, Mexico

Rogelio Iván Lozano-Guzmán, Jorge Homero Rodríguez-Castro, Ludivina Barrientos-Lozano, Crystian Sadiel Venegas-Barrera, Alain Correa-Gutiérrez y Alfonso Correa-Sandoval\*<sup>ORCID</sup>

Recibido: 14 de julio de 2020.

Aceptado: 16 de octubre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

### RESUMEN

**Antecedentes:** Los gasterópodos y bivalvos marinos son algunos de los grupos de invertebrados más diversos en la naturaleza, pero en México se requiere de un mejor conocimiento de su composición taxonómica. Aunque existen importantes estudios sobre los moluscos del Caribe mexicano algunas zonas como la isla de Cozumel han sido poco estudiadas. **Objetivo:** Difundir nuevos registros de gasterópodos y bivalvos marinos de la isla de Cozumel. **Métodos:** Los ejemplares se recolectaron principalmente a partir de transectos en sustratos arenosos y revisión de superficies rocosas. **Resultados:** De un total de 51 especies de gasterópodos pertenecientes a 39 géneros y 23 familias, y 11 especies de bivalvos pertenecientes a 10 géneros y nueve familias, se registraron nueve especies como nuevos registros, seis de gasterópodos y tres de bivalvos, lo que incrementa el conocimiento de la malacofauna marina de la región. Los nuevos registros representan el 11.76% y 27.27%, respectivamente, de la fauna total de gasterópodos y bivalvos marinos conocidos en las costas de la isla de Cozumel. La principal afinidad malacogeográfica de los nuevos registros es la Caribeña. **Conclusiones:** El área de estudio posee el 87.93% de los gasterópodos marinos conocidos para el estado de Quintana Roo. El total de especies de bivalvos marinos del área de estudio constituyen el 13.92% de la fauna de esta clase de moluscos para el estado. Aunque la principal afinidad malacogeográfica de los nuevos registros de moluscos marinos es la Caribeña, el área de estudio pertenece a una zona de transición con la provincia Caroliniana. Ninguno de los nuevos registros es endémico. Todas las especies de gasterópodos y bivalvos indicados como nuevos registros se distribuyen en al menos cuatro subprovincias malacológicas.

**Palabras clave:** afinidad Caribeña, Cozumel, diversidad, moluscos.

### ABSTRACT

**Background:** Marine gastropods and bivalves are some of the most diverse invertebrate groups in nature, but in Mexico a better knowledge of their taxonomic composition is required. Although there are important studies on mollusks in the Mexican Caribbean, some areas such as island of Cozumel have been barely studied. **Goals:** To reveal new records of island of Cozumel marine gastropods and bivalves. **Methods:** The specimens were collected mainly from transects in sandy substrates and revision of rocky surfaces. **Results:** Out of a total of 51 species of gastropods belonging to 39 genera and 23 families, and 11 species of bivalves belonging to 10 genera and nine families, nine species were registered as new records, six of gastropods and three of bivalves, which increases knowledge of the marine malacofauna of the region. The new records represent 11.76% and 27.27, respectively, of the total fauna of gastropods and marine bivalves known on the coasts of the island of Cozumel. The main malacogeographic affinity of the new records is the Caribbean. **Conclusions:** The study area has a 87.93% of the known marine gastropods for the state of Quintana Roo. The total marine bivalve species in the study area constitute 13.92% of the fauna of this mollusk class for the state. Although the main malacogeographic affinity of the new marine mollusk records is the Caribbean, the study area belongs to a transition zone with the Carolinean province. None of the new records is endemic. All the gastropod and bivalve species indicated as new records can be found in at least four malacological subprovinces.

**Key words:** Caribbean affinity, Cozumel, diversity, mollusks.

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Victoria. Boulevard Emilio Portes Gil No. 1301, Ciudad Victoria, Tamaulipas, 87010.México.

**\*Corresponding author:**

Alfonso Correa-Sandoval: e-mail: alf\_correas@hotmail.com

**To quote as:**

Lozano-Guzmán, R. I., J. H. Rodríguez-Castro, L. Barrientos-Lozano, C. S. Venegas-Barrera, A. Correa-Gutiérrez & A. Correa-Sandoval. 2020. Nuevos registros de moluscos (Gastropoda, Bivalvia) de la isla de Cozumel, Quintana Roo, México *Hidrobiológica* 30 (3): 243-250.

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento preciso de la composición taxonómica de diversos grupos de invertebrados marinos como los nemátodos, platelmintos, corales y particularmente de moluscos, entre otros, en las costas mexicanas dista aún mucho de ser el adecuado.

Esto se explica por la escasez de especialistas y consecuentemente en la falta de inversión económica para su investigación. Asimismo, se refleja en el insuficiente trabajo de campo y de análisis de información que contribuyan a revisiones faunísticas que amplíen el conocimiento de la biodiversidad marina. El Caribe mexicano ha sido objeto de muy importantes contribuciones al conocimiento malacofaunístico como los trabajos de Vokes & Vokes (1983), González (1989), Pérez-Rodríguez (1997), García-Cubas & Reguero (2004, 2007) y Tunnell *et al.* (2010); no obstante, es necesario un mayor número de estudios que señalen la composición taxonómica a detalle en función de los diversos estados mexicanos colindantes con la región señalada o bien de diferentes regiones ecológicas específicas. El estado de Quintana Roo es uno de los centros más importantes de concentración de riqueza y alta diversidad de especies en las costas de México, principalmente en aguas someras, junto a Campeche y Yucatán en la costa atlántica (Castillo-Rodríguez, 2014).

En este estudio se señalan nuevos registros de gasterópodos y bivalvos marinos para la isla de Cozumel, Quintana Roo ( $20^{\circ}29'53''$  y  $20^{\circ}29'12''$ N;  $86^{\circ}57'44''$  y  $86^{\circ}58'10''$ W, Fig. 1) y se establecen sus afinidades malacogeográficas. La relevancia del área de estudio se debe a que sus zonas suroeste, sur y sureste pertenecen al Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel, el cual pertenece al Sistema Arrecifal Mesoamericano (INE, 1998). Así, con los nuevos registros se amplía el ámbito de distribución geográfica de diversas especies y se contribuye al conocimiento de los aspectos ecológicos relativos a su presencia en esas nuevas áreas de distribución.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó trabajo de campo entre el 29 de junio de 2010 y el 4 de agosto de 2013 (cuatro salidas, cada una de tres días al año, entre junio y agosto), a partir de recorridos en zonas de playa y revisión de sustratos rocosos para la recolecta manual y directa de especímenes. Se hicieron transectos paralelos a la playa a partir de la zona intermareal (un transecto en la zona adyacente superior a la línea de marea baja y otro transecto en la zona mesolitoral) y hasta las zonas adyacentes de la zona supralitoral (tercer transecto) recorriéndose en la localidad 1.5 km. El diámetro promedio de la zona revisada fue de 12 m. Se hicieron

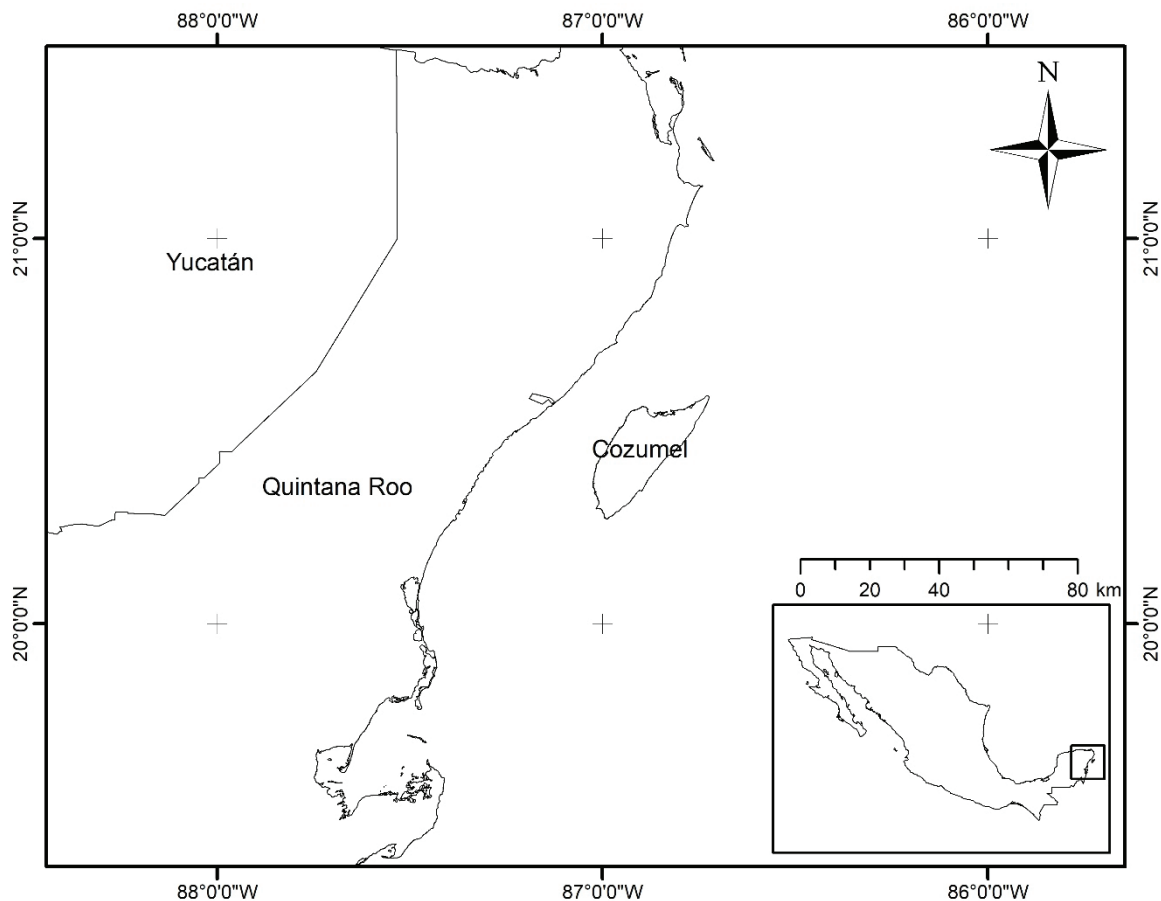


Figura 1. Localización geográfica de la isla de Cozumel, Quintana Roo.

también inmersiones de 2 horas aproximadamente y hasta 2 m de profundidad (Correa-Sandoval & Rodríguez-Castro, 2013). No se recolectó dentro del área natural protegida. Los ejemplares, con su información de campo (localidad, coordenadas, fecha, recolector y observaciones), fueron protegidos de golpes envolviéndolos en papel higiénico y transportados en bolsas y frascos de plástico. Los organismos vivos se conservaron en alcohol isopropílico al 70%. Los especímenes se hallan depositados en la Colección de Moluscos (TAM-CEVS-CC-001-15) del Laboratorio de Malacología de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

La clasificación de las familias y la validación de las especies se hizo de acuerdo con Bouchet & Rocroi (2005), Rosenberg *et al.* (2009), Turgeon *et al.* (2009), Tunnell *et al.* (2010) y WoRMS (2020). La distribución geográfica específica se estableció según los trabajos de Abbott (1974), Andrews (1992), Escobar (1995), Pérez-Rodríguez (1997), Abbott & Dance (2000), García-Cubas & Reguero (2004, 2007), Tunnell *et al.* (2010) y Correa-Sandoval & Rodríguez-Castro (2013).

Se determinó la afinidad malacogeográfica de las especies combinando las provincias malacológicas Caroliniana y Caribeña reconocidas para el Atlántico occidental por Abbott & Zim (1978), Sabelli (1980), Abbott (1996) y Petuch (2013). El hábitat de las especies se definió en función de las áreas de recolección y lo indicado por Pérez-Rodríguez (1980), Abbott & Morris (1995) y Sarmiento-Vela (2002).

## RESULTADOS

Se registró un total de 51 especies de gasterópodos pertenecientes a 39 géneros y 23 familias, y 11 especies de bivalvos pertenecientes a 10 géneros y nueve familias, de las cuales nueve especies (seis de gasterópodos y tres de bivalvos) fueron nuevos registros de familias y géneros diferentes, excepto el género del caracol intermareal *Echinolittorina* (Littorinidae) que contiene a dos especies.

### Sistemática:

**Phylum Mollusca, clase Gastropoda, subclase Vetigastropoda, orden Trochida, superfamilia Trochoidea, familia Tegulidae, género *Tegula***

***Tegula lividomaculata*** (C. B. Adams, 1845)

Tres especímenes (20°29'53"N; 86°57'44"W, 29/junio/, 2010). ITCVZ 5119.

Distribución geográfica: Cayos de Florida; Texas; Veracruz; Campeche (Champotón, laguna de Términos, Seybaplaya); Yucatán (Celestún, Sisal, Chuburná, Chelem, Yucalpetén, Progreso, Chicxulub, Telchac, Dzilam, playa Bonita); Quintana Roo (Hol-Box, isla Mujeres, Puerto Morelos, Majahual, arrecife Chinchorro); Costa Rica; Caribe a Venezuela.

**Subclase Caenogastropoda, orden Littorinimorpha, superfamilia Littorinoidea, familia Littorinidae, género *Echinolittorina***

***Echinolittorina tuberculata*** (Menke, 1828)

Trece especímenes (20°29'46"N; 86°57'50"W, 21/julio/2012). ITCVZ 5123.

Distribución geográfica: Sur de Florida; Campeche; Yucatán; Bermudas; Caribe.

***E. ziczac*** (Gmelin, 1791)

Dieciocho especímenes (20°29'41"N; 86°57'51"W, 21/julio/2012). ITCVZ 5126.

Distribución geográfica: Sur de Florida a Alabama; Texas; Tamaulipas (La Pesca, Playa de Altamira, Playa Miramar); Veracruz (El Playón, Mocambo, Sistema Arrecifal Veracruzano, arrecife de Isla Lobos); Campeche (Ciudad Sol, Seybaplaya, arrecifes Arenas y Triángulos), Yucatán (arrecife Alacranes); Quintana Roo (Contoy, Isla Mujeres, arrecife Majahual, Holbox, arrecife Chinchorro); Panamá; Bermudas; Caribe (Bardados).

**Orden Neogastropoda, superfamilia Buccinoidea, familia Columbellidae, género *Columbella***

***Columbella mercatoria*** (Linnaeus, 1758)

Tres especímenes (20°29'47"N; 86°57'47"W, 04/agosto/2013). ITCVZ 5122.

Distribución geográfica: Este de Florida; Campeche (laguna de Términos, Champotón, Seybaplaya); Yucatán (Celestún, Chelem, Yucalpetén, Progreso, Chicxulub, Telchac, Chabihau, Dzilam, Ría Lagartos, playa Bonita); Quintana Roo (Holbox, Isla Mujeres, Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Xcalac, arrecifes Arcas, Triángulos, Arenas, Majahual y Chinchorro); Bermudas; Caribe; Brasil.

**Familia Fasciolaridae, género *Cinctura***

***Cinctura lilium*** Fischer von Waldheim, 1807

Cuatro especímenes (20°29'39"N; 86°57'52"W, 03/julio/2011). ITCVZ 5125.

Distribución geográfica: Carolina del Norte a Texas; Tamaulipas; Veracruz a Quintana Roo.

**Superfamilia Conoidea, familia Conidae, género *Conus***

***Conus burryae*** Clench, 1942

Dos especímenes (20°29'51"N; 86°57'45"W, 04/agosto/2013). ITCVZ 5121.

Distribución geográfica: Cayos de Florida a Campeche; Yucatán (frente a Progreso, Ría Lagartos).

**Clase Bivalvia, subclase Heterodonta, orden Carditida, superfamilia Carditoidea, familia Carditidae, género *Cardites***

***Cardites floridanus*** (Conrad, 1838)

Dieciséis especímenes (20°29'26"N; 86°58'00"W, 01/agosto/2011). ITCVZ 5120.

Distribución geográfica: Florida; Alabama; Texas; Tamaulipas (Playa Bagdad, La Pesca, Barra de Ostiones, Tepehuajes, Barra del Tordo, Tampico); Veracruz (toda la costa); Campeche (El Bosque, laguna de Términos, Ciudad Sol, Seybaplaya, Champotón); Yucatán (Celestún, Sisal, Chuburna, Chelem, Yucalpetén, Progreso, Chicxulub, Telchac, Chavihuau, Dzilam, Río Lagartos); Quintana Roo (Holbox, Contoy, isla Mujeres, Cancún, arrecife Chinchorro); Caribe.

**Orden Lucinida, superfamilia Lucinoidea, familia Lucinidae, género *Lucina***

***Lucina pensylvanica*** (Linnaeus, 1758)

Tres especímenes (20°29'47"N; 86°57'47"W, 29/junio/2010). ITCVZ 5127.

Distribución geográfica: Carolina del Norte a Quintana Roo (Puerto Morelos); Honduras; Caribe.

**Orden Venerida, superfamilia Veneroidea, familia Veneridae, género *Anomalocardia******Anomalocardia flexuosa*** (Linnaeus, 1767)

Cuatro especímenes (20°29'39"N; 86°57'52"W, 03/julio/2011). ITCVZ 5124.

Distribución geográfica: Yucatán; Belice; Costa Rica; Caribe; Colombia; Venezuela; Brasil.

**DISCUSIÓN**

Los nuevos registros constituyen el 11.76% y 27.27%, respectivamente, de la fauna total de gasterópodos y bivalvos marinos conocidos específicamente para la isla Cozumel, la cual no se había contabilizado

hasta ahora y que es de 51 y 11 especies para cada grupo, según González *et al.* (1991), Pérez-Rodríguez (1997), Pérez-Pérez & Aldana-Aranda (2000), Correa-Sandoval & Rodríguez-Castro (2013) y este estudio (Tabla 1). Estos datos toman relevancia adicional considerando la diversidad indicada en áreas geográficas cercanas de importancia ecológica al norte de la isla de Cozumel como el arrecife Puerto Morelos (Hernández & Álvarez, 2019), en donde se han registrado 80 y 26 especies de gasterópodos y bivalvos respectivamente, entre los que se hallan *Columbella mercatoria* (gasterópodo) y *Lucina pensylvanica* (bivalvo).

Rosenberg *et al.* (2009), señalaron 58 especies para Quintana Roo, aunque no indicaron especies de gasterópodos para la isla de Cozumel. Esta isla posee el 87.93% de los gasterópodos conocidos para el estado de Quintana Roo. Turgeon *et al.* (2009) tampoco mencionan específicamente algún bivalvo para la isla de Cozumel, pero refieren 79 especies para el estado de Quintana Roo. Así, al hacer una comparación de lo indicado por esos autores y los resultados del presente trabajo, se observa que el total de especies del área de estudio constituye el 13.92% de la fauna de bivalvos marinos para el estado y uno de los nuevos registros, el de la especie *Anomalocardia flexuosa*, no se indica por los citados autores para Quintana Roo.

Tabla 1. Lista actualizada por familias de las especies de gasterópodos y bivalvos marinos registrados específicamente para la isla de Cozumel según diversos autores y este estudio (\*).

<b>GASTROPODA</b>	<i>Modulus modulus</i> (Linnaeus, 1758)
FISSURELLIDAE	LITTORINIDAE
<i>Diodora cayenensis</i> (Lamarck, 1822)	<i>Cenchritis muricatus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Fissurella barbadensis</i> (Gmelin, 1791)	<i>Echinolittorina angustior</i> (Mörch, 1876)
<i>Fissurella nodosa</i> (Born, 1778)	<i>Echinolittorina lineolata</i> (d'Orbigny, 1840)
CALLIOSTOMATIDAE	<i>Echinolittorina tuberculata</i> (Menke, 1828) *
<i>Calliostoma yucatecanum</i> Dall, 1881	<i>Echinolittorina ziczac</i> (Gmelin, 1791) *
TEGULIDAE	<i>Littoraria nebulosa</i> (Lamarck, 1822)
<i>Tegula excavata</i> (Lamarck, 1822)	<i>Tectarius antonii</i> (Philippi, 1846)
<i>Tegula fasciata</i> (Born, 1778)	STROMBIDAE
<i>Tegula lividomaculata</i> (C. B. Adams, 1845) *	<i>Aliger gigas</i> (Linnaeus, 1758)
TURBINIDAE	<i>Lobatus raninus</i> (Gmelin, 1791)
<i>Lithopoma phoebium</i> (Röding, 1798)	<i>Macrostrombus costatus</i> (Gmelin, 1791)
<i>Lithopoma americanum</i> (Gmelin, 1791)	CALYPTRAEIDAE
NERITIDAE	<i>Crepidula depressa</i> Say, 1822
<i>Nerita fulgurans</i> Gmelin, 1791	CYPRAEIDAE
<i>Nerita peloronta</i> Linnaeus, 1758	<i>Erosaria acicularis</i> (Gmelin, 1791)
<i>Nerita tessellata</i> Gmelin, 1791	<i>Macrocypraea cervus</i> (Linnaeus, 1771)
<i>Nerita versicolor</i> Gmelin, 1791	<i>Macrocypraea zebra</i> (Linnaeus, 1758)
PLANAXIDAE	<i>Luria cinerea</i> (Gmelin, 1791)
<i>Angiola lineata</i> (da Costa, 1778)	ERATOIDAE
<i>Supplanaxis nucleus</i> (Bruguère, 1789)	<i>Hespererato maugeriae</i> (J. E. Gray in G. B
MODULIDAE	Sowerby I, 1832)

Tabla 1. Continúa.

<i>Pseudopusula antillarum</i> (Schilder, 1922)	<i>Conus burryae</i> Clench, 1942 *
OVULIDAE	BULLIDAE
<i>Cyphoma gibbosum</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Bulla striata</i> Bruguière, 1792
CASSIDAE	APLYSIIDAE
<i>Cassis flammea</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Aplysia dactylomela</i> Rang, 1828
<i>Cypraecassis testiculus</i> (Linnaeus, 1758)	<b>BIVALVIA</b>
CYMATIIDAE	ARCIDAE
<i>Charonia variegata</i> (Lamarck, 1816)	<i>Arca imbricata</i> Bruguière, 1789
<i>Ranularia cynocephala</i> (Lamarck, 1816)	<i>Arca zebra</i> Swainson, 1833
MURICIDAE	MYTILIDAE
<i>Claremontiella nodulosa</i> (C. B. Adams, 1845)	<i>Leiosolenus aristatus</i> (Dillwyn, 1817)
<i>Stramonita floridana</i> (Conrad, 1837)	ISOGNOMONIDAE
<i>Stramonita rustica</i> (Lamarck, 1822)	<i>IsoGNomon alatus</i> (Gmelin, 1791)
<i>Vasula deltoidea</i> (Lamarck, 1822)	ANOMIIDAE
PISANIIDAE	<i>Anomia simplex</i> d'Orbigny, 1853
<i>Pisania pusio</i> (Linnaeus, 1758)	CARDITIDAE
COLUMBELLIDAE	<i>Cardites floridanus</i> (Conrad, 1838) *
<i>Columbella mercatoria</i> (Linnaeus, 1758) *	LUCINIDAE
FASCIOLARIIDAE	<i>Lucina pensylvanica</i> (Linnaeus, 1758) *
<i>Cinctura liliium</i> (Fischer von Waldheim, 1807) *	CHAMIDAE
<i>Fasciolaria tulipa</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Chama macerophylla</i> Gmelin, 1791
<i>Triplofusus giganteus</i> (Kiener, 1840)	VENERIDAE
CYSTISCIDAE	<i>Anomalocardia flexuosa</i> (Linnaeus, 1767) *
<i>Persicula persicula</i> (Linnaeus, 1758)	TELLINIDAE
CONIDAE	<i>Laciolina laevigata</i> (Linnaeus, 1758)
	<i>Senegona senegambiensis</i> (A. E. Salisbury, 1934)

La isla de Cozumel posee la cuarta parte (25.62%) de la riqueza específica de gasterópodos y el 11.11% de la correspondiente a bivalvos, mencionada por González *et al.* (1991) para toda la península de Yucatán. En el caso de los bivalvos estos mismos autores indican que la isla de Cozumel es una de las localidades con menor diversidad de la región al igual que la isla Contoy, Cancún y Xcaret debido a la presión antropogénica y al impacto turístico, los cuales pueden llegar a ser importantes como controladores en la distribución de los moluscos. Entre la problemática particular de la zona se puede mencionar la remoción de pastos marinos, fractura de arrecifes, dragado, construcción de muelles y hoteles, daño al ambiente por embarcaciones, contaminación por basura, derivados de petróleo y aguas residuales (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998).

Los gasterópodos *Cenchritis muricatus* (Linnaeus, 1758) y *Lobatus raninus* (Gmelin, 1791) mencionados para la isla de Cozumel por González *et al.* (1991), son señalados también por Pérez-Rodríguez (1997).

Los patrones de distribución de la fauna marina costera han servido como herramienta básica para la identificación y delimitación de áreas geográficas definidas (Hayden & Dolan, 1970; Tunnell *et al.*, 2010; Petuch, 2013).

En este sentido, los gasterópodos *Cinctura liliium* y *Conus burryae* presentan en la isla de Cozumel los límites sureños de su distribución geográfica publicada. A *Cinctura liliium* se le indica en general hasta Quintana Roo y a *Conus burryae* hasta Campeche (Rosenberg *et al.*, 2009).

Es necesario mencionar que a *Columbella mercatoria* y a *Tegula lividomaculata* se les ha registrado hacia el norte de la isla de Cozumel, en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos (Hernández & Álvarez, 2019) y, en el caso de la primera especie, también al sur en Banco Chinchorro (González, 1998) por lo que puede postularse una distribución uniforme en esta región geográfica.

Cuatro especies, *Columbella mercatoria*, *Conus burryae*, *Echinolittorina tuberculata* y *Anomalocardia flexuosa* presentan una afinidad malacogeográfica exclusivamente Caribeña (44.44% de las especies como nuevos registros) (Tabla 2). Tres especies más, *Tegula lividomaculata*, *Echinolittorina ziczac* y *Cardites floridanus* poseen un componente Caribeño principalmente y en menor grado Caroliniano. Con base en lo anterior y por el hecho de que el 55.55% de las especies (5) aquí mencionadas como nuevos registros tienen algún grado de distribución



Caroliniana, indican que el área de estudio, así como la península de Yucatán, son aún una zona de transición entre las extensas provincias malacológicas Caroliniana y Caribeña. La afinidad Caribeña de los gasterópodos marinos de la península de Yucatán es del 72.2% (García-Cubas *et al.*, 1999).

Al analizar la presencia de los nuevos registros de este estudio en las subprovincias malacológicas del Atlántico occidental según Petuch (2013), (Tabla 3) debe señalarse que ninguna de las especies es endémica ni caracteriza a nivel biogeográfico a una o incluso a dos subprovincias malacológicas. Todas las especies se distribuyen en al menos cuatro de éstas, lo cual contradice lo señalado por González *et al.*(1991) en el sentido de que *Cardites floridanus* podría ser endémica.

El caracol *Echinolittorina ziczac* es la especie que se ha registrado en un mayor número de subprovincias malacológicas (8), seguida del

bivalvo *Lucina pensylvanica* (7), lo cual deja de manifiesto la influencia del componente Caroliniano en la malacofauna de la isla de Cozumel, considerando que la primera especie tiene una afinidad conocida principalmente Caribeña y Caroliniana en parte (en función de su distribución geográfica conocida), y la segunda especie una distribución Caroliniana y Caribeña por igual. Una tercera especie, el bivalvo *Anomalocardia flexuosa* está presente también en siete subprovincias, como ejemplo de la importante influencia del componente Caribeño. Esta última especie posee la distribución más sureña (hasta la subprovincia de Sao Paulo), considerando el conjunto de especies de la isla de Cozumel. Por el contrario, *Cinctura liliium*, especie característica de todas las subprovincias Carolinianas (Petuch, 2013), también extiende su distribución geográfica a Quintana Roo (Rosenberg *et al.* 2009) y específicamente, según este estudio, a la isla de Cozumel (subprovincia Caribeña Antillana).

Tabla 2. Afinidad malacogeográfica de los nuevos registros de gasterópodos y bivalvos marinos de la isla de Cozumel.

		Afinidad malacogeográfica		
		Exclusivamente Caribeña	Principalmente Caribeña y alguna presencia Caroliniana	Caroliniana y Caribeña por igual
		<i>Echinolittorina tuberculata</i> (Menke, 1828)	<i>Tegula lividomaculata</i> (C.B. Adams, 1845)	<i>Cinctura liliium</i> Fischer von Waldheim, 1807
Gasterópodos	<i>Columbella mercatoria</i> (Linnaeus, 1758)		<i>Echinolittorina ziczac</i> (Gmelin, 1791)	
		<i>Conus burryae</i> (Clench, 1942)		
Bivalvos	<i>Anomalocardia flexuosa</i> (Linnaeus, 1767)		<i>Cardites floridanus</i> (Conrad, 1838)	<i>Lucina pensylvanica</i> (Linnaeus, 1758)

Tabla 3. Presencia de los nuevos registros de gasterópodos y bivalvos marinos de la isla de Cozumel en las diferentes subprovincias Carolinianas (C), Caribeñas (Cb) y Brasileñas (B) según la distribución geográfica publicada. La denominación de las subprovincias es según Petuch (2013). Los moluscos se simbolizan con la primera letra del género y especie, en cursivas.

Subprovincias	Especies								
			Gasterópodos				Bivalvos		
	<i>Tl</i>	<i>Et</i>	<i>Ez</i>	<i>Cm</i>	<i>Cl</i>	<i>Cb</i>	<i>Cf</i>	<i>Lp</i>	<i>Af</i>
C									
Georgia				X	X		X	X	
Florida	X	X	X		X	X	X	X	
Swenea			X		X	X		X	
Texas	X		X		X	X	X	X	
Yucatán	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cb									
Antillas	X	X	X	X	X		X	X	X
Bermudas		X	X	X					
Nicaragua	X		X					X	X
Granada			X						
Venezuela	X								X
B									
Cearaia				X					X
Bahía				X					X
Sao Paulo									X
Total de subprovincias	6	4	8	6	6	4	5	7	7

Todas las especies de gasterópodos y bivalvos registrados en este estudio se presentaron en aguas someras y, en el caso de los caracoles, fueron epifaunales en sustratos inestables, a excepción de *Echinolittorina ziczac* y *E. tuberculata* que se recolectaron en sustratos rocosos intermareales (Pérez Rodríguez, 1980; Rosenberg *et al.*, 2009; Tunnell *et al.*, 2010). Todos los bivalvos de este estudio fueron infaunales, coincidiendo con lo que han registrado otros autores (Pérez-Rodríguez, 1997; Abbott & Morris, 1995; Turgeon *et al.*, 2009).

Se recomienda llevar a cabo más revisiones faunísticas de estos y otros grupos de invertebrados, dado el valor ecológico del área geográfica y el grado de perturbación antropogénica que se presenta.

## AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo económico. A Ana Gabriela Zúñiga Medina y Anabel Gutiérrez Borbolla por su ayuda en el estudio. A Fabricio Maldonado por la elaboración del mapa.

## REFERENCIAS

- ABBOTT, R.T. 1974. *American seashells, The marine mollusks of the Atlantic and Pacific Coast of North America*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 663 p.
- ABBOTT, R.T. 1996. *Seashells of North America*. St. Martin's Press, New York. 280 p.
- ABBOTT, R.T. & H. ZIM. 1978. *Conchas marinas*. Ediciones Daimon, Manuel Tamayo, Barcelona. 160 p.
- ABBOTT, R. T. & P. A. MORRIS. 1995. *A field guide to shells of the Atlantic and Gulf Coasts and the West Indies*. Houghton Mifflin Company, Boston. 350 p.
- ABBOTT, R. T. & S. P. DANCE. 2000. *Compendium of seashells*. Odyssey Publishing, El Cajón. 411 p.
- ANDREWS, J. 1992. *A field guide to shells of the Texas Coast*. Gulf Publishing Company, Houston. 176 p.
- ARRIAGA-CABRERA, L., E. VÁZQUEZ-DOMÍNGUEZ, J. GONZÁLEZ-CANO, R. JIMÉNEZ-ROSENBERG, E. MUÑOZ-LÓPEZ & V. AGUILAR-SIERRA. 1998. *Regiones marinas prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. 198 p.
- BOUCHET, P. & J. P. ROCROI. 2005. Classification and nomenclature of gastropod families. *Malacologia* 47: 1-397.
- CASTILLO-RODRÍGUEZ, Z. G. 2014. Biodiversidad de moluscos marinos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl.* 85: 419-430. DOI:10.7550/rmb.33003
- CORREA-SANDOVAL, A. & J. H. RODRÍGUEZ-CASTRO. 2013. Zoogeografía de los bivalvos marinos de la costa de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 48(3): 565-584. DOI:10.4067/S0718-19572013000300013
- ESCOBAR, F. 1995. Moluscos de la plataforma y talud continentales de la península de Yucatán: distribución y hábitos. Tesis de Maestría en Ciencias en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. CDMX, México. 111 p.
- GARCÍA-CUBAS, A. & M. REGUERO. 2004. *Catálogo ilustrado de moluscos gasterópodos del Golfo de México y Mar Caribe*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 168 p.
- GARCÍA-CUBAS, A. & M. REGUERO. 2007. *Catálogo ilustrado de moluscos bivalvos del Golfo de México y Mar Caribe*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 94 p.
- GARCÍA-CUBAS, A., F. ESCOBAR & M. REGUERO. 1999. Gasterópodos marinos de la península de Yucatán, México. *Revista Sociedad Mexicana de Historia Natural* 49: 127-146.
- GONZÁLEZ, M. A., E. CHÁVEZ, G. DE LA CRUZ & D. TORRUCO. 1991. Patrones de distribución de gasterópodos y bivalvos en la Península de Yucatán, México. *Ciencias Marinas* 17: 147-172. DOI:10.7773/cm.v17i3.810
- GONZÁLEZ, N. E. 1998. Moluscos de la expedición del R/V Edwin Link en las costas del Caribe mexicano. *Revista de Biología Tropical* 46 (3): 625-631.
- GONZÁLEZ, S. M. A. 1989. Patrones de distribución geográfica de las clases Bivalvia y Gastropoda de la península de Yucatán. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Mérida, México. 115 p.
- HAYDEN, B. P. & R. DOLAN. 1970. Coastal marine fauna and marine climates of the Americas. *Journal of Biogeography* 3: 71-81.
- HERNÁNDEZ, R. & F. ÁLVAREZ. 2019. Molluscs from the Puerto Morelos Reef National Park, Quintana Roo, Mexico; new records for the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: 1-13. DOI:10.22201/ib.20078706e.2019.90.2712
- INE (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA). 1998. *Programa de Manejo Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel, Quintana Roo, México*. México, D.F. 164 p.
- PÉREZ-PÉREZ, M. & D. ALDANA-ARANDA. 2000. Distribución, abundancia y morfometría de *Strombus costatus*, *Turbinella angulata*, *Busycon contrarium* y *Pleuroploca gigantea* (Mesogastropoda: Strombidae, Turbinellidae, Neptunidae y Fasciolaridae) en Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical* 48 (1): 145-152.
- PÉREZ-RODRÍGUEZ, R. 1980. Moluscos de la Plataforma Continental del Golfo de México y Caribe Mexicano. Tesis de Doctor en Ciencias en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. CDMX, México. 340 p.
- PÉREZ-RODRÍGUEZ, R. 1997. *Moluscos de la Plataforma Continental del Atlántico Mexicano*. Serie Académicos CBS, UAM-Xochimilco, CDMX, México. 260 p.
- PETUCH, E. 2013. *Biogeography and biodiversity of western Atlantic mollusks*. CRC Press. Boca Raton, Florida. 234 p.
- ROSENBERG, G., F. MORETZOHN & E. F. GARCÍA. 2009. Gastropoda (Mollusca) of the Gulf of Mexico. In: Felder, D.L. & D.K. Camp (eds.). *Gulf of Mexico—Origins, Waters, and Biota. Vol. 1. Biodiversity*. Texas A&M University Press, College Station, Texas, pp. 579-699.

- SABELLI, B. 1980. *Guide to shells*. Simon and Schuster, New York. 512 p.
- SARMIENTO-VELA, G. 2002. Aspectos ecológicos de los gastrópodos marinos de la costa de Tamaulipas, México. Monografía Licenciatura, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tamaulipas, México. 115 p.
- TUNNELL, J. W., J. ANDREWS, N. C. BARRERA & F. MORETZSOHN. 2010. *Encyclopedia of Texas seashells: Identification, ecology, distribution and history*. Texas A & M University Press, College Station. 512 p.
- TURGEON, D. D., W. G. LYONS, P. MIKKELSEN, G. ROSENBERG & F. MORETZSOHN. 2009. Bivalvia (Mollusca) of the Gulf of Mexico. *In*: Felder, D. L. & D. K. Kamp (eds.). *Gulf of Mexico. Origin, waters and biota. Vol. 1. Biodiversity*. Texas A & M University Press, College Station, pp. 711-744.
- VOKES, H. E & E. H. VOKES. 1983. Distribution of shallow-water marine Mollusca, Yucatan, Peninsula, Mexico. *Middle American Research Institute, Publication 54*: 1-183.
- WoRMS (WORLD REGISTER OF MARINE SPECIES). 2020. Editorial Board. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2020-07-13. DOI:10.14284/170

## Productive performance of the Guayas cichlid (*Mesoheros festae*) fed palm meal based diets during the juvenile stage

### Rendimiento productivo de la vieja colorada (*Mesoheros festae*) alimentada con dietas basadas en torta de palmiste durante la etapa juvenil

Edison Mazón Paredes<sup>1,\*</sup>, Marcelino Herrera Rodríguez<sup>2,5</sup>, Marlene Mazón Paredes<sup>3</sup>, Antón García Martínez<sup>4</sup>, Carlos Mazón Paredes<sup>1</sup> and José Luis Guzmán Guerrero<sup>5</sup>

**Recibido:** 20 de septiembre de 2020.

**Aceptado:** 04 de noviembre de 2020.

**Publicado:** diciembre de 2020.

<sup>1</sup> School of Zootechnical Engineering, Faculty of Livestock Sciences, Quevedo State Technical University. Avenida Quito Km 1 ½ via a Santo Domingo, Quevedo, Los Ríos, 120501. Ecuador.

<sup>2</sup> IFAPA Centro Agua del Pino. El Rompido-Punta Umbria rd., Cartaya, Huelva, 21450. Spain.

<sup>3</sup> Ecotourism Engineering School, Faculty of Life Sciences, Amazon State University. Calle Teniente Hugo Ortiz E45, Puyo, Pastaza, 160150. Ecuador.

<sup>4</sup> Faculty of Veterinary Medicine, University of Cordoba. Plaza de Puerta Nueva, s/n, Cordoba, 14002. Spain.

<sup>5</sup> Departamento de Ciencias Agroforestales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Huelva, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario, "ceiA3", Campus de la Rábida. Palos de la Frontera, Huelva, 21819. Spain.

**\*Corresponding author:**

Edison Mazón Paredes: e-mail: emazon@uteq.edu.ec

**To quote as:**

Mazón-Paredes, E., M. Herrera-Rodríguez, M. Mazón-Paredes, A. García-Martínez, C. Mazón-Paredes & J. L. Guzmán-Guerrero. 2020. Productive performance of the Guayas cichlid (*Mesoheros festae*) fed palm meal based diets during the juvenile stage. *Hidrobiológica* 30 (3): 251-258.

#### ABSTRACT

**Background:** The increasingly aquaculture development has favored the searching of new protein sources for fish feeding. **Goals:** 1) trying to present the first data on the culture of an important commercial species in Ecuador, 2) replacing the protein source for feeding in order to minimize the global problem of the fish-based meals in aquaculture. **Methods:** Guayas cichlid juvenile fish were submitted to four feeding treatments: 0%, 4%, 8% and 12% palm cake inclusion for 30 days. Several zootechnical indexes were calculated and analyzed at the end of the experimental culture, as well as the feed proximal composition. **Results:** The inclusion up to 8% palm cake did not affect the apparent digestibility of dry matter, crude protein or gross energy. No differences were found in final weight, growth rate, food conversion rate, protein efficiency rate, and protein productive value among 0, 4 and 8% palm meal content treatments. As the percentage of palm kernel meal in the diets was increased, the food conversion rate decreased, increasing palm meal in diets decreased costs. **Conclusions:** The productive performance was not affected by the palm cake replacement in diets up to 8% with palm meal and deriving in lower feed production costs.

**Key Words:** Apparent digestibility, experimental diets, juvenile stage, palm meal

#### RESUMEN

**Antecedentes:** La expansión de la acuicultura ha favorecido el estudio de fuentes de proteínas para la alimentación de peces. **Objetivos:** 1) tratar de presentar los primeros datos sobre el cultivo de una importante especie comercial en Ecuador, 2) reemplazar la fuente de proteína para la alimentación con el fin de minimizar el problema global de las comidas a base de harina de pescado en la acuicultura. **Métodos:** Juveniles de vieja colorada fueron sometidos a cuatro tratamientos de alimentación: 0%, 4%, 8% y 12% de inclusión por torta de palmiste durante 30 días. Se calcularon y analizaron varios índices zootécnicos al final del cultivo experimental, así como la composición proximal de las dietas experimentales. **Resultados:** La inclusión del 8% de torta de palmiste no afectó a los coeficientes de digestibilidad de materia seca, proteína cruda o energía bruta. No se encontraron diferencias en peso final, tasa de crecimiento, tasa de eficiencia de la proteína y valor productivo de la proteína entre los tratamientos de 0, 4 y 8% de contenido en torta de palmiste. Conforme creció el porcentaje de torta de palmiste en la dieta aumentó la tasa de conversión del alimento. El aumento de la torta de palmiste en las dietas redujo los costes. **Conclusiones:** El rendimiento productivo no se vio afectado por la sustitución de dietas incluyendo hasta un 8% por torta de palmiste, y derivando en menores costes de producción.

**Palabras Clave:** Dietas experimentales, digestibilidad aparente, fase juvenil, torta de palmiste

## INTRODUCTION

The accelerated growth of aquaculture provides half of all the fish for human consumption that is sold in the world, and more than half of the value of fish exports comes from developing countries. However, this has required high quality and high-cost ingredients for fish feed making, which has limited the development of low-cost diets and hindered the sustainability of the industry (Bureau, 1996). In fish farming, feed exceeds 70% of production costs; it is the most sensitive item, and both technicians and producers should give it greater attention, given the constant changes in the aquaculture and technology market, which offers new alternatives in ingredients and additives that can be used advantageously in the different phases of the production process (Abimorad & Carneiro, 2004; Cavalheiro *et al.*, 2007). Fishmeal from wild fish remains the main source of protein for commercial aquaculture (Bureau, 1996), and fish meal from wild fish is still the main source of protein for farmed fish (El-Sayed, 1999). For this reason, the growth and sustainable production of aquaculture has sought to progressively reduce the use of fish meal (Francis *et al.*, 2001), and is the main challenge for the industry (Pelletier & Tyedmers, 2007).

Currently in Ecuador there is not a constant and adequate supply of high protein and high energy plant resources for preparing fish farming diets, highlighting the need to explore new alternative plant resources to replace high-cost conventional sources and evaluate their nutritional potential, such as palm meal (Meurer *et al.*, 2003; Lund *et al.*, 2011; Tusche *et al.*, 2011), which is obtained through the processing of oil palm (*Elaeis guineensis*). The inclusion of palm meal as an alternative source of protein to replace fishmeal in aquaculture has received little investigation in tropical countries such as Ecuador. Some initial studies have reported that palm meal can be up to 30% of rations for catfish (*Clarias gariepinus*) and 20% for tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Saad *et al.*, 1994).

According to Köprüçü & Özdemir (2005), it is known that feed seems to be an excellent source of nutrients based on its chemical composition, but it is also necessary that the food is tested *in vivo*, assessing the digestion and other nutritional processes in target species. In this sense, digestibility is one of the parameters used to measure the nutritional value of different food inputs (Anderson *et al.*, 1995; Pezato *et al.*, 2002; Gonçalves *et al.*, 2003). It is defined as “the bioavailability of nutrients in feed and indicates the amount of an ingredient in the feed that is digested and absorbed by the body and not excreted in the feces” (De Souza *et al.*, 2012). These authors pointed that it is not enough to have high levels of protein and energy in the food though they must also be digestible in order to be assimilated and thus utilized by the organism that consumes them.

Rodríguez *et al.* (2017) have reported on the breeding of the Guayas cichlid (*Mesoheros festae*) in Ecuador, an autochthonous species which is of great interest due to its popularity and commercial value, exceeding that of tilapia and other native tropical freshwater species. It is a popular species in rural areas and is also marketed world-wide as an ornamental fish. However, few research studies exist on this species thus farming technologies need to be developed according to the characteristics and needs of this species along its different developmental stages and regions. It is also necessary to study and conserve this ichthyological resource that is characteristic of Ecuadorian lowland inland waters, which is increasingly threatened by overfishing, river pollution and replacement by foreign commercial species. However,

it is a carnivorous species (Stawikowski & Werner, 1998), hence its potential culture would be limited for that reason. In any case, to our knowledge no work has been published on its nutritional requirements, therefore this issue joint to the search of alternative protein sources for fish feeding in Ecuador is a high interest subject.

This study was carried out to extend the knowledge of palm cake as an animal feed ingredient and study the effect of palm cake-based diets on the performance of the Guayas cichlid (*Mesoheros festae*) in the juvenile stage in the dry season.

## MATERIAL AND METHODS

**Location.** This study was carried out at “El Peñón del Río” farm near Pambilar de Calope (Los Ríos, Ecuador), in canton Quinsaloma. The geographic coordinates are 1°12'19"S, 79°29'36" W, and the elevation is 75 meters above sea level. It is located in the tropical rainforest ecological zone, with an average annual temperature of 25.47°C, average relative humidity of 85.84% and average annual rainfall of 2,223.85 mm. The study was carried out in July and August 2016 (dry season) over a 30-day period (Fig. 1).

**Experimental design.** Four isoproteic and isocaloric experimental diets, T0, T4, T8 and T12, were formulated with approximate percentages of palm kernel meal of 0, 4, 8 and 12%, respectively, based on the inputs and the amounts indicated in Table 1. The proximal composition of palm kernel cake (dry matter basis) is as follows: 98.42% of dry matter content, 18.37% of crude protein content, 9.87% of ether extract content, 23.29% of crude fiber content and the crude and metabolizable energy values found were 4.81 Mcal/kg DM and 1.81 Mcal/kg DM, respectively (Mazón *et al.*, 2020). And the amino acid composition is: lysine (2.68%), methionine (1.76%), threonine (2.75%), tryptophan (1.1%). Essential amino acids (lysine, methionine, arginine, cysteine and tryptophan) were determined by Ultra-High Performance Liquid Chromatography (UHPLC) (Table 1). For preparing the diets, the manual of nutritional needs of Nile Tilapia by Torres-Novoa & Hurtado *et al.* (2012), University of The Llanos, Colombia, was used. Experimental diets were extruded using a low-density system which resulted in a granulated appearance. Experimental foods were analyzed for proximal composition, according to the Association of Analytical Communities methodologies (AOAC, 2015). Briefly, the gross energy was determined through a Parr Instruments 121AE adiabatic calorimetric pump, and gross protein by means of the Kjeldahl method (% N x 6.25). Lipid content was measured by solvent extraction with a soxhlet apparatus, and ash by incineration at 550°C by 6 h. Crude fiber was determined after acid digestion and burning. The Ca and P contents were analyzed through the permanganate and molybdate reactions, respectively. Dry matter (DM) was calculated by kiln drying at 105°C by 24 h. A completely randomized design was used, with four treatments (4 diets having a different percentage of palm kernel meal), four replicates (4 cages) per treatment and 25 fish per cage. Data collection was performed for 30 days.

**Fish management.** Four hundred *Mesoheros festae* juveniles with an initial weight of 10.8 ± 0.5 g were used (mean ± SE), at 25 fish per cage (0.270 kg m<sup>-3</sup>). There were 16 experimental cages of 1 x 1 x 1 m, covered with 6 x 8 cm extruded plastic mesh, and immersed in a 30 x 20 x 0.8 m container tank. An electric scale of 5 kg maximum weight (± 1 g precision) was used to record biometric data, and the experimental diets were supplied through spring tube feeders (30 x 150 cm). The



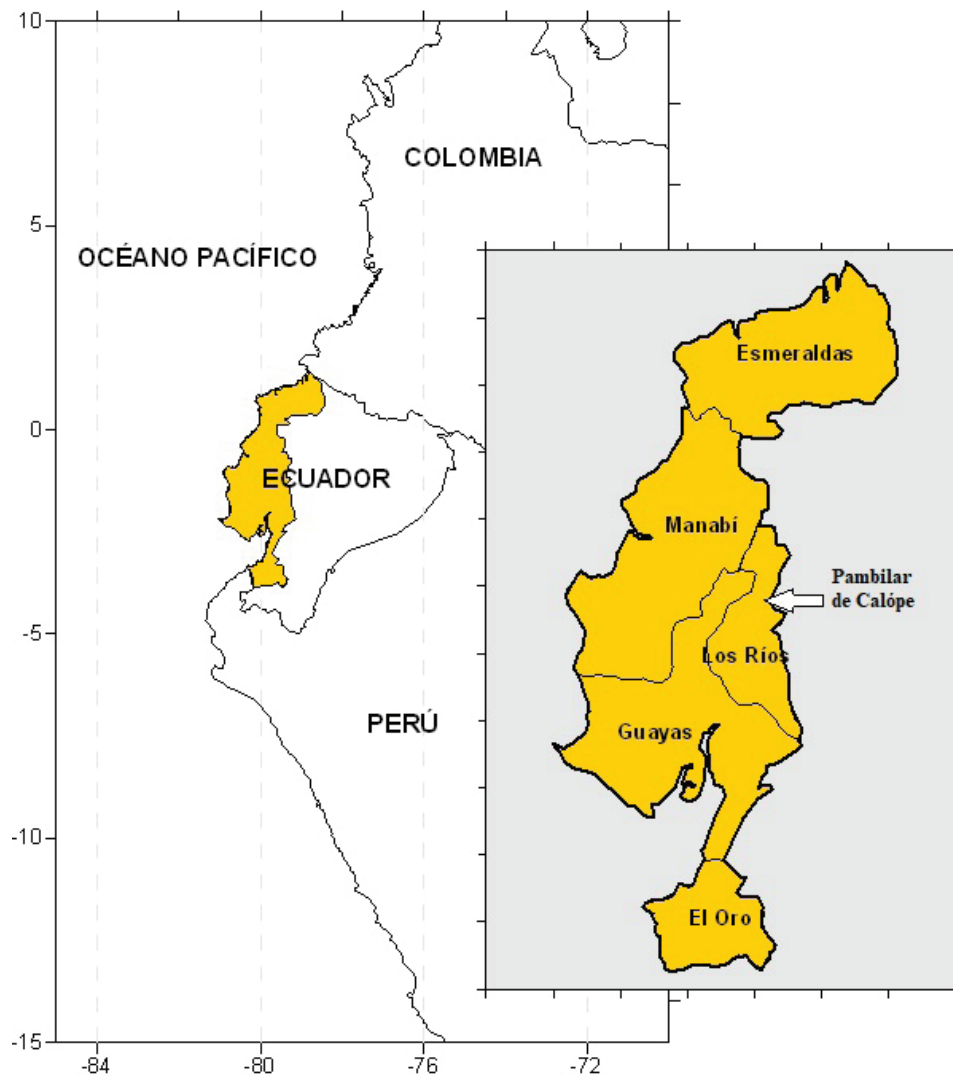


Figure 1. Location of the experimental area in the canton Quinsaloma.

pond did not have aeration equipment because it was supplied by a constant  $15 \text{ L min}^{-1}$  flow of highly oxygenated, double filtered water from a 0.25 ha reservoir.

The water temperature was  $19.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . The dissolved oxygen content of the water in the container tank was maintained at  $10 \pm 1 \text{ mg L}^{-1}$  and the pH was  $6.7 \pm 0.5$ . Nitrogenated wastes (unconsumed food and excreted organic matter) were removed daily using a Monge drainage system. The fish had seven days to adapt to the experimental cages before the start of the experiment and were fed extruded food with a high protein content to accustom them to concentrated feed. The experimental diets were offered *ad libitum* four times a day (08:15, 11:15, 13:15 and 15:15 hours) for 30 days. As prophylactic measure, the fish were also treated with a solution of methylene blue ( $0.8 \text{ g L}^{-1}$ ) after each sampling for preventing *Ichthyophthirius* fungus and pathogenic bacteria. After each sampling, a solution of methylene blue diluted in water was used to prevent contamination by fungi and bacteria.

**Determination of biological parameters.** After the experimental period (30 days feeding experimental diets), fish were transferred to metabolic aquariums for the collection of feces, where they remained for a one day fasting period. The direct method of total feces collection based on the modified Guelph system (Satoh *et al.*, 1992) was used for a period of 24 hours, with frequent collections every four hours to avoid degradation and loss of nutrients due to leaching in the water. Feces were dried and stored at  $4^\circ\text{C}$  until analysis. The metabolic aquariums were cleaned after each feces collection to avoid contamination in each of the treatments. This method used a cylindrical tank with a conical bottom (metabolic aquarium of 200 L), with a continuous supply of water and oxygen at the top and a feces collection tube at the bottom (Henry-Silva *et al.*, 2006). Subsequently, a bromatological analysis was carried out on the feces collected and on samples of the experimental diets used in the investigation. The feces were analyzed to determine their proximal composition according to methodologies indicated above (feed analysis).

Table 1. Ingredients and proximal composition of experimental diets with palm meal used for the juvenile phase of *Mesoheros festae*.

Ingredients (%) <sup>1</sup>	Experimental diets (%)				Request <sup>6</sup>
	0	4	8	12	
Corn	2.40	2.00	1.90	0.00	
Wheat bran	4.00	2.00	0.00	0.00	
Rice flour	5.90	4.00	1.90	0.00	
Soybean cake	43.00	44.00	44.00	44.30	
Fishmeal	44.00	42.00	40.00	38.00	
Soybean oil	0.00	1.30	3.50	5.00	
Palm cake	0.00	4.00	8.00	12.00	
Salt	0.10	0.10	0.10	0.10	
Antifungal <sup>2</sup>	0.05	0.05	0.05	0.05	
Methionine	0.20	0.20	0.20	0.20	
Antioxidant <sup>3</sup>	0.05	0.05	0.05	0.05	
Choline chloride	0.10	0.10	0.10	0.10	
Pre-mix <sup>4</sup>	0.10	0.10	0.10	0.10	
Enzyme <sup>5</sup>	0.10	0.10	0.10	0.10	
<b>Proximal composition (%)</b>					
Digestible dietary energy (Kcal Kg <sup>-1</sup> )	2.76	2.7	2.71	2.66	2.75
Total protein	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Fiber	3.80	4.30	4.70	5.40	---
Calcium	2.01	2.02	2.06	1.98	1.00
Phosphorus <sup>7</sup>	1.60	1.60	1.60	1.50	0.0
Arginine	2.27	2.26	2.31	2.35	1.79
Lysine	2.44	2.39	2.39	2.36	0.94
Met + Cys	1.24	1.22	1.21	1.20	0.35
Tryptophan	0.43	0.42	0.42	0.41	0.30

<sup>1</sup> Air dried food; <sup>2</sup> Mollejosanitin; <sup>3</sup> Endox; <sup>4</sup> Rovimix Pre-mix: Vitamin A, D3, K, E, B1, B2, B6, Nicotinic Acid, Calcium Pantothenate, Biotin, Folic Acid, Choline, Inositol and Vitamin C; <sup>5</sup> Avizyme 1502 (600 U g<sup>-1</sup> endo-1,4 beta xylanase EC 3,2,1,8; 8000 U g<sup>-1</sup> subtilisin - protease- EC 3,4,21,62; 800 U g<sup>-1</sup> alpha amylase EC 3,2,1,1.); <sup>6</sup> Torres-Novoa [18]; <sup>7</sup> Total phosphorus in the diet.

The performance of the Guayas cichlids was evaluated by measuring and using the following zootechnical parameters (Aguirre, 2015; Teixeira *et al.*, 2010):

Food conversion rate (FC):

$$FC = \text{Amount of food provided (g)} / \text{Weight gain of the fish (g)}$$

Weight increase (WI):

$$WI = (\text{final weight} - \text{initial weight})$$

Relative weight increase (RWI):

$$RWI (\%) = 100 \times (\text{final weight} - \text{initial weight}) / (\text{initial weight})$$

Growth rate (GR):

$$GR (\%) = 100 \times (\text{final weight} - \text{initial weight}) / \text{time period}$$

Specific growth rate (SGR):

$$SGR (\%/day) = 100 \times (\ln(\text{final weight}) - \ln(\text{initial weight})) / \text{time period}$$

The net feed consumption (NFC):

$$NFC = \text{Weight of food consumed (g)} - \text{Weight of waste (g)}$$

Digestibility coefficient:

$$\text{Digestibility (\%)} = 100 \times (\text{nutrient intake} - \text{nutrient in feces}) / \text{nutrient intake}$$

Protein efficiency rate (PER):

$$\text{PER} = \text{WI} / \text{Protein intake}$$

Productive value of the protein (PPV):

$$\text{PPV} = \text{Protein retained} / \text{protein intake}$$

The mortality rate (MR) of *Mesoheros festae* was recorded over 30 days in each experimental unit according to the following formula: MR (%) = 100 x (dead fish/initial fish).

The cost of each feeding treatment (\$ Kg<sup>-1</sup>) was calculated taking into account the unit value per kilogram of the inputs, products and by-products that were used in each of the experimental diets, multiplied by the amount of the ingredient used. The cost per fish weight gain (\$ Kg<sup>-1</sup>) was also calculated (FC x feeding cost). The fixed costs and the variable costs of the treatments were not taken into account.

**Statistical analysis.** Firstly, the normality and homoscedasticity of the data groups were checked through the Kolmogorov-Smirnov and Levene tests, respectively. All the zootechnical parameters were analyzed through an ANOVA test using the General Linear Model (GLM) of the Statistical Analysis System Software statistical package (Workflow Studio 1.3) System for Windows 11, Copyright 2016 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. The model considered the percentage of palm kernel meal as factor with four levels (0%, 4%, 8% and 12%). As post-hoc test, the Tukey test was used to detect significantly homogeneous groups ( $p=0.05$ ). Values are expressed as mean  $\pm$  standard error of the mean (SE).

## RESULTS

**Digestibility of experimental diets.** The apparent digestibility of dry matter, digestibility of crude protein and digestibility of gross energy are shown in Table 2. When comparing the control diet (0%) with diets containing 4% and 8% palm kernel meal, no significant differences were found in the apparent digestibility coefficients, though significant differences were found between 0, 4 and 8% treatments and the treatment containing 12% palm kernel meal. Moreover, it can be seen that this last treatment had the lowest digestibility coefficient compared with the other treatments. No significant differences were found in the apparent

digestibility coefficients between the control diet (0%) and diets containing 4% and 8% palm kernel meal, however the lowest value was obtained with the diet containing the highest percentage (12%).

**Productive performance.** The productive performance of Guayas cichlid fed different isoproteic and isocaloric diets of palm kernel meal is shown in Table 3.

No significant differences were found FW, GR, SGR, PER, and PPV between the control diets (0%) and the diets with 4 and 8% palm kernel meal, although the lowest value was obtained for the diet containing the highest percentage (12%). Similarly, no significant differences were found for FC values among the control diets (0%) and the diets with 4 and 8% palm kernel meal. However, the lowest value of FC was obtained for the diet containing the highest percentage (12%).

No significant differences were found the end of the experimental period in the RWI of *Mesoheros festae* for diets with 4 and 8% palm kernel meal. The control diet (0%) showed the best results and the diet with the highest percentage (12%) showed the poorest results. Regarding feeding costs, the cost per kilogram of the diet prepared with the highest soybean cake content (0% palm kernel meal) was the highest. As the soybean cake in the diet was replaced by palm kernel meal (4%, 8%, and 12% palm kernel meal), the cost was reduced. However, the values for feed cost per fish weight gain were 1.3, 1.29, 1.26, and 1.5 USD Kg<sup>-1</sup> for 0, 4, 8, and 12% diets, respectively. The mortality for the different treatments was less than 5% (Table 3).

## DISCUSSION

In general, the results of our research agree with the data of Amaya *et al.* (2003), who used fish diets in the development stage of red tilapia that included up to 8% palm kernel meal, without affecting the fish yield, suggesting that higher levels could be used. Also, Vásquez *et al.* (2013) with hybrid tilapia (*Oreochromis sp.*) and Vásquez *et al.* (2013), with cachama (*Piaractus brachypomus*) did not find negative effects in the productive parameters using up to 8% palm kernel meal, as well as Bermudez *et al.* (2012) using 7% in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). However, the worst results in the performance parameters of *Mesoheros festae* involved the diet of 12% palm kernel meal.

Table 2. Apparent digestibility coefficients, dry matter (DMD), crude protein (GPD) and gross energy (GED), in *Mesoheros festae* juveniles fed diets with palm meal.

Variable (%) <sup>†</sup>	Experimental diets (%)			
	0	4	8	12
DMD	57.7 $\pm$ 1.26 a	57.8 $\pm$ 1.26 a	57.7 $\pm$ 1.26 a	55.2 $\pm$ 1.26 b
GPD	82.8 $\pm$ 1.74 a	82.7 $\pm$ 1.74 a	82.8 $\pm$ 1.74 a	78.3 $\pm$ 1.74 b
GED	74.9 $\pm$ 1.18 a	74.9 $\pm$ 1.18 a	74.9 $\pm$ 1.18 a	72.5 $\pm$ 1.18 b

<sup>abc</sup> Averages on the same line that have different letters differ statistically according to the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup> Mean ( $\pm$  SE) of 4 replicates per treatment.

Table 3. Effect of diets having different percentages of palm meal on the productive performance indices of *Mesoheros festae* juveniles.

Variable <sup>‡</sup>	Experimental diets (%)			
	0	4	8	12
Final weight (g)	14.86 ± 3.82 a	14.88 ± 3.82 a	14.90 ± 3.82 a	12.50 ± 3.82 b
Weight increase (g)	4.86 ± 3.82 a	4.88 ± 3.82 a	4.90 ± 3.82 a	2.50 ± 3.82 b
Relative weight increase (%)	52.50 ± 48.3 a	49.90 ± 48.3 b	50.30 ± 48.3 b	24.90 ± 48.3 c
Growth rate (%)	16.22 ± 12.8 a	16.29 ± 12.8 a	16.36 ± 12.8 a	8.35 ± 12.8 b
Specific growth rate (%)	1.31 ± 0.83 a	1.32 ± 0.83 a	1.33 ± 0.83 a	0.74 ± 0.83 b
Food consumption (g)	19.60 ± 0.01 a	19.60 ± 0.01 a	19.50 ± 0.01 b	19.40 ± 0.01 c
Feed conversion rate	1.31 ± 0.42 b	1.32 ± 0.42 b	1.31 ± 0.42 b	1.55 ± 0.42 a
Protein Efficiency Rate	0.125 ± 0.11 a	0.126 ± 0.11 a	0.127 ± 0.11 a	0.065 ± 0.11 b
Productive Value of Protein	0.584 ± 0.15 a	0.585 ± 0.15 a	0.581 ± 0.15 a	0.490 ± 0.15 b
Food cost (\$ Kg <sup>-1</sup> )	0.994 ± 0.00 a	0.981 ± 0.01 b	0.963 ± 0.00 c	0.969 ± 0.00 c
Fish weight cost (\$ Kg <sup>-1</sup> )	1.3 ± 0.41 a	1.29 ± 0.41 a	1.26 ± 0.41 a	1.5 ± 0.41 b
Mortality (%)	4	3	2	3

<sup>abc</sup> Averages on the same line that have different letters differ statistically according to the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ).

<sup>‡</sup> They correspond to the average ( $\pm$  SE) of 25 fish housed in a cage (Experimental Unit) with four replications per trial.

The apparent digestibility coefficients achieved in our investigation agree in general with those described for other freshwater fish species. Concretely, similar digestibility of dry matter, digestibility of gross protein and digestibility of gross energy values have been reported by Vásquez *et al.* (2013) using a diet of 8% palm kernel meal in hybrid red tilapia (*Oreochromis* sp.) and cachama (*Piaractus brachyomus*), and Bermudez *et al.* (2012) using a diet of 7% in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*).

The results obtained for protein efficiency coefficients and productive value of protein in this study are relatively low compared to results obtained by Bermudez *et al.* (2012) in red tilapia (*Oreochromis* sp.), Yudy *et al.* (2004) in yamú (*Brycon siebenthalae*), De Souza *et al.* (2012) in Gulf Corvina (*Cynoscion othonopterus*) and Aguirre (2015) in sabaleta (*Brycon henni*). These differences may be due to the fact that *Mesoheros festae* has different feeding habits from those of other commercial species used in previous works. With the increase in the partial substitution of fishmeal by palm meal, there was no decrease in protein efficiency rates in the productive value of protein and the protein efficiency rate up to 8%, this was possibly due to a low-quality protein mixture of that feed formulation, so a low bioavailability of the protein derived in a poor degradation (Martínez & Muñoz, 2006), regardless the amount of protein available in the food (Abdel-Tawwab *et al.*, 2010). Similar effects were reported by Yudy *et al.* (2004), by a mixture of low-quality protein with a good quality in the formulation of the food supplied.

In addition, when fishmeal was replaced by palm kernel meal, lower significant growth was observed in fish feed 12% palm kernel meal. In this sense, Saad *et al.* (1994), reported that palm meal can be up to 30% of the diet for feeding catfish (*Clarias gariepinus*) and 20% for tilapia without negative effects on development or yield, much higher levels than in our work. With similar results for those species,

Wan & Alimon (2005) and Wing (2005) found satisfactory results up to a level of 20%. The yield did not change when cachama (*Piaractus brachyomus*) were fed this alternative source of protein with 7% palm kernel cake (Vásquez *et al.*, 2013).

As many ingredients based on vegetable protein and oilseed lipids, there are several factors that can limit the inclusion of palm kernel meal in fish diets. These include its relatively low protein content, possible amino acid deficiency (see composition in Material and Methods section) and antinutritional factors (Abdel-Tawwab *et al.*, 2010). Although, in experimental diets with different levels of palm kernel cake, an export fishmeal containing 59% raw protein (in dry matter), which may have provided adequate levels of amino acids, was used, despite that is synthetic methionine supplement and a premix of vitamins and minerals.

Several authors have states that the low digestibility of the palm kernel cake is normally attributed to high levels of non-starch polysaccharides (NSP) or cell wall composition (Dusterhoft & Voragen, 1991; Wing, 2005), so that deficiency of amino acids does not appear to be the cause of the poorest yields obtained with the diet containing the highest percentage (12%). Wing (2005) indicates that those antinutritional factors reduce the digestibility and uptake of the nutrients in palm kernel meal, either by direct encapsulation of the nutrients or by increasing the viscosity of intestinal contents, thus reducing the rate of hydrolysis and absorption of nutrients in the feed. The high fiber content and the inadequacy of the added enzymatic complex could also explain the poor digestibility of high palm cake content diets.

Furthermore, it is known that the addition of proteolytic, fibrolytic or carbohydrate degrading enzymes to palm kernel cake diets has great potential for releasing unavailable nutrients and energy, hence an enzyme complex was used in the experimental diet (Avizyne 1502). Ng *et al.* (2002), in studies carried out with tilapia fed palm kernel meal

pre-treated with enzymes for commercial feed, consistently showed higher growth and feed utilization efficiency compared to fish fed similar levels of raw palm kernel meal.

Regarding feed consumption, diets with higher fishmeal content were more attractive and better accepted by fish than diets formulated with increasing percentages of palm cake, possibly due to odorous substances brought by fishmeal. Similar data were reported by Shapawi *et al.* (2007) for humpback grouper (*Cromileptes altivelis*) and De Souza *et al.* (2012), for Gulf corvina (*Cynoscion athonopterus*). However, feed conversion was less efficient when the percentage of palm kernel meal was increased, which is consistent with the results obtained by Amaya *et al.* (2003), although the feed conversion enhanced in red tilapia fingerlings. Also, Vásquez *et al.* (2013) found positive effects on feed conversion using palm meal as a plant protein source up to 8% with red tilapia juveniles.

Therefore, overall, it seems that the partial substitution by palm cake can reach the 8% with no effects on the most of performance indexes. These are the first results on the on growing of the Guayas cichlid (*Mesoheros festae*) and provide specific zootechnical data for its potential culture. From the digestibility tests carried out, it is concluded that the inclusion of up to 8% palm cake meal in diets for feeding *Mesoheros festae* during juvenile stage did not affect the digestibility of protein or energy, and related parameters. Therefore, the inclusion of up to 8% palm kernel meal in the diets of *Mesoheros festae* during on growing would not affect the yield of this species.

Future research should focus on the study of new formulations in order to explore the elimination of antinutritional factors in this food, and to increase the palm kernel meal content.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The contract for this research had economic support by the Graduate Department of the State Technical University of Quevedo, Ecuador. Edison Mazón's doctoral student contract is supported by Fourth Notary of the canton Quevedo Los Rios Ecuador. M. Herrera's contract is supported by INIA-FSE.

## REFERENCES

- ABDEL-TAWWAB, M., M. AHMAD, Y. KHATTAB & A. SHALABY. 2010. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 298 (3): 267-274.
- ABIMORAD, E. & D. J. CARNEIRO. 2004. Métodos de colecta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energis dos alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus*. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33 (5): 1101-1109.
- AGUIRRE, M. 2015. Evaluación de dos niveles de proteína en dietas para juveniles de Sabaleta (*Brycon henni*). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* 2 (1): 68-69.
- AMAYA, E., G. AFANADOR, L. QUINTERO & W. BONILLA. 2003. Valor nutricional de la torta de palmiste en dietas prácticas para alevinos de tilapia roja (*Oreochromis* spp). I Congreso Nacional de Investigaciones Acuicolas, Bogotá. 10 p.
- ANDERSON, J. S., S. P. LALL, D. M. ANDERSON & M. A. MCNIVEN. 1995. Availability of amino acids from various fish meals fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 138 (1): 291-301.
- AOAC INTERNATIONAL. 2005. *Official Methods of Analysis*. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland. 58 p.
- BERMÚDEZ, A., A. P. MUÑOZ & G. WILLS. 2012. Evaluación de un sistema de alimentación orgánico sobre el desempeño productivo de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) cultivadas en estanques de tierra. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia* 59 (3): 165-175.
- BUREAU, D. P. 1996. Nutritional value of rendered animal protein ingredients for salmonids in the 90'S: The Canadian Feed Industry Association and Eastern Nutrition Conference. Nova Scotia, Canada. 8 p.
- CAVALHEIRO, O. J., O. E. DE SOUZA & B. P. SINGH. 2007. Utilization of shrimp industry waste in the formulation of tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) feed. *Bioresource Technology* 98 (1): 602-606.
- DE SOUZA, A. P., L. G. TAVARES, J. S. OLIVEIRA & S. J. RIBEIRO. 2012. Digestibility of agro-industrial byproducts in 200 and 300-g Nile tilapia. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41 (2): 462-466.
- DUSTERHOFT, E. M. & A. G. VORAGEN. 1991. Non-starch and polysaccharides from sunflower (*Helianthus annuus*) and palm kernel (*Elaeis guineensis*) meal - preparation of cell Wall material and extraction of polysaccharide fractions. *Journal Science Food Agriculture* 55 (1): 41- 42.
- EL-SAYED, A. M. 1999. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia *Oreochromis* spp. *Aquaculture* 179 (1): 149-168.
- FRANCIS, G., H. MAKAR & K. BECKER. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199 (3): 197-227.
- GONÇALVES, G. E. & D. J. CARNEIRO. 2003. Coeficientes de Digestibilidade Aparente da Proteína e Energia de Alguns Ingredientes Utilizados em Dietas para o Pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*). *Revista Brasileira de Zootecnia* 32 (4): 779-786.
- HENRY-SILVA, G., A. CAMARGO & M. PEZZATO. 2006. Eficiencia de los macrofitos acuáticos para tratar los efluentes de los estanques de tilapia del Nilo. *Scientia Agricola* 63 (5): 1-10.
- KÖPRÜCÜ, K. & Y. ÖZDEMİR. 2005. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 250 (3): 308-316.
- LUND, I., J. DALSGAARD, H. TOLDERLUND, J. HOLM & A. JOKUMSEN. 2011. Replacement of fish meal with a matrix of organic plant proteins in organic trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed, and the effects on nutrient utilization and fish performance. *Aquaculture* 321 (1): 259-266.
- MARTINEZ, O. & V. MUÑOZ. 2006. Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *Nutrición Hospitalaria* 21 (2): 1-19.
- MAZÓN-PAREDES, E., M. HERRERA-RODRÍGUEZ, C. MAZÓN-PAREDES, A. GARCÍA-MARTÍNEZ, M. DELGADO-PERTIÑEZ & J. L. GUZMÁN-GUERRERO. 2020. Bromatological Composition of Palm Kernel Meal According to its Origin and Production Periods Potential Use of Palm Kernel Meal in Animal Feed. *Journal of Oil Palm Research* 32 (4): 1-8.



- MEURER, F., C. HAYASHI & W. R. BOSCOLO. 2003. Digestibilidade aparente de alguns alimentos proteicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira Zootecnia* 32 (1): 1801-1809.
- NG, W. K., H. A. LIM, S. L. LIM & C. O. IBRAHIM. 2002. Nutritive value of palm meal pretreated with enzyme or fermented with *Trichoderma koningii* (Oudemans) as a dietary ingredient for red hybrid tilapia (*Oreochromis sp.*). *Aquaculture Research* 33 (1): 1199-1207.
- PELLETIER, N. & P. TYEDMERS. 2007. Feeding farmed salmon: Is organic better. *Aquaculture* 272 (1): 399-416.
- PEZZATO, L. E., E. CARVALHO DE MIRANDA, M. M. BARROS, P. L. G. QUINTERO, W. M. FURUYA & A. C. PEZZATO. 2002. Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia* 31 (1): 1595-1604.
- RODRÍGUEZ, J., M. GONZÁLEZ, A. MOYA, M. GALLEGOS, J. C. GÓMEZ, E. ANGÓN & C. BARBA. 2017. Efecto de la densidad de cría sobre el crecimiento del *Cichlasoma festae* en condiciones controladas de confinamiento durante su etapa juvenil. *Revista de Investigación Talentos* 4 (1): 2631-2476.
- SAAD, C., C. CHEAH & M. KAMARUDDIN. 1994. Suitability of using palm kernel cake, (PKC) in catfish practical dict. Science and Technology Congress, Kuala Lumpur. 105 p.
- SATOH, S., C. Y. CHO & T. WATANABE. 1992. Effect of Fecal Retrieval Timing on Digestibility of Nutrients in Rainbow Trout Diet with the Guelph and TUF Feces Collection Systems. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58 (6): 1123-1127.
- SHAPAWI, R., W. K. NG & S. MUSTAFA. 2007. Replacement of fish meal with poultry byproduct meal in diets formulated for the humpback grouper, *Cromileptes altivelis*. *Aquaculture* 273 (1): 118-126.
- STAWIKOWSKI, R. & U. WERNER. 1998. Die Buntbarsche Amerikas, Band 1. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 540 p.
- TEIXEIRA, E., E. OLIVEIRA, A. CASTRO, P. CARVALHO, D. VIEIRA & L. P. RIBEIRO. 2010. Coeficientes de digestibilidade aparente de alimentos energéticos para juvenis de surubim. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39 (6): 1180-1185.
- TORRES-NOVOA, D. & V. HURTADO. 2012. Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Orinoquia* 16 (1): 63-68.
- TUSCHE, K., S. WUERTZ, A. SUSENBETH & C. SHULZ. 2011. Feeding fish according to organic aquaculture guidelines EC 710/2009: Influence of potato protein concentrates containing various glycoalkaloid levels on health status and growth. *Aquaculture* 319 (1): 122-131.
- VÁSQUEZ, W., M. YOSA, G. HERNÁNDEZ & M. GUTIÉRREZ. 2013. Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 48 (8): 920-927.
- WAN, M. Z. & A. R. ALIMON. 2005. Uso de la torta de palmiste y subproductos de palma de aceite en concentrados para animales. *Revista Palmas* 26 (1): 57-64.
- WING, K. 2005. Investigación sobre el uso de la torta de palmiste en alimentos para la acuicultura. *Revista Palmas* 26 (3): 79-83.
- YUDY, M., O. LÓPEZ, W. VÁSQUEZ & F. ÁLVARO. 2004. Evaluación de diferentes porciones de energía proteína en dietas para juveniles de yamú, *Brycon siebenthalae*. *Orinoquia* 8 (1): 64-76.

## La utilidad de la forma del hueso urohial en la discriminación de especies congéneres y poblaciones locales de Pisces: Mugilidae

### The utility of urohial shape in the discrimination of Pisces: Mugilidae species and local populations

Sofía Jiménez-Reyes<sup>1</sup>✉, Eloísa Pacheco-Almánzar<sup>1</sup> y Ana Laura Ibáñez<sup>1\*</sup>

Recibido: 08 de octubre de 2020.

Aceptado: 16 de noviembre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** La exploración de nuevas estructuras que permitan acercarse aún más a la identificación de especies es importante en la ciencia pesquera porque permite una mejor administración de éstas. El urohial es una estructura específica de los peces óseos, que comienza a ser considerada un carácter para discriminar entre especies. Mugilidae es una familia con morfología muy conservada, por lo que encontrar alguna estructura que sirva para discriminar a sus especies y/o poblaciones es una tarea pendiente. **Objetivos:** El objetivo es determinar la utilidad taxonómica de la forma del hueso urohial en su vista lateral, dorsal y ventral, en ejemplares de *Mugil curema* y *M. cephalus* de distintas localidades, dos del Golfo de México y una del Pacífico Mexicano. **Métodos:** Para el análisis se utilizó el método Procrustes donde los análisis discriminantes y MANCOVA se emplearon para detectar diferencias en la forma del urohial entre especies y entre localidades ( $\alpha = 0.05$   $p < 0.05$ ). **Resultados:** Los porcentajes de discriminación entre especies por validación cruzada fueron 86.6, 96.5 y 95.1% en las vistas lateral, dorsal y ventral, respectivamente; donde la vista dorsal además de ser la que mostró mayor porcentaje de clasificación fue menos influenciada por la talla. La discriminación entre localidades para *M. curema* fue de 65.9, 54.9, y 60.4% respectivamente, y para *M. cephalus* de 66.7, 49.0 y 56.9% respectivamente, donde la talla no influyó la forma del urohial, excepto en la vista ventral para *M. cephalus*. **Conclusiones:** El hueso urohial fue útil para la discriminación de especies, en particular en su vista dorsal, mientras que resultó menos adecuado para discriminar entre localidades.

**Palabras clave:** morfometría geométrica, Pisces: Mugilidae, urohial.

<sup>1</sup> Departamento de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Ciudad de México, 09340. México.

**\*Corresponding author:**

Ana Laura Ibáñez: e-mail: ana@xanum.uam.mx

**To quote as:**

Jiménez-Reyes, S., E. Pacheco-Almánzar & A. L. Ibáñez. 2020. La utilidad de la forma del hueso urohial en la discriminación de especies congéneres y poblaciones locales de Pisces: Mugilidae. *Hidrobiológica* 30 (3): 259-267.

#### ABSTRACT

**Background:** The exploration of new structures allowing species identification is relevant for fisheries science since it permits to be managed them better. The urohial is a specific structure of bony fish, which begins to be considered a character to discriminate between species. Mugilidae is a family with very conserved morphology, so finding a structure useful to discriminate species and/or populations is a pending task. **Goals:** Thus, the objective is to determine the taxonomic usefulness of the urohial bone shape on its lateral, dorsal and ventral view in species discrimination: *Mugil cephalus* and *M. curema* and in location discrimination, two from the Gulf of Mexico and one for the Mexican Pacific. **Methods:** Urohial shape was analyzed using the Procrustes method where the relative warps were submitted to discriminant analyzes and MANCOVA in order to detect differences in lateral, dorsal and shape among species and localities ( $\alpha = 0.05$   $p < 0.05$ ). **Results:** The percentages of discrimination between species by cross validation were 86.6, 96.5, and 95.1% for lateral, dorsal and ventral views, respectively where the dorsal view in addition to being the one that showed the highest percentage of classification was less influenced by size. Discrimination between locations for *M. curema* was 65.9, 54.9, and 60.4%, respectively, and for *M. cephalus* was 66.7, 49.0, and 56.9%, respectively. Size did not influence the urohial shape, except in the ventral view for *M. cephalus*. **Conclusions:** The urohial bone was useful for the discrimination of species, particularly in its dorsal view, while it was less suitable for discriminating between localities.

**Key words:** geometric morphometry, Pisces: Mugilidae, urohial.

## INTRODUCCIÓN

El urohial es un hueso laminar alargado, es angosto en dirección anterior y ancho en dirección posterior, está incrustado en los músculos del istmo en el centro de la mandíbula inferior de los teleósteos (Ghasemzadeh, 2016). Esta estructura ha sido considerada de amplia utilidad en estudios sobre osificación en etapas larvarias (Aprieto, 1973); descripciones anatómicas (Chollet-Villalpando, 2009; Ghasemzadeh, 2016; Kobelkowsky & Resendez, 1972); determinación de edad (Johal *et al.*, 2000); identificación de restos ictioarqueológicos (Patón *et al.*, 1991); identificación de especies (De La Cruz-Agüero & Chollet-Villalpando, 2012); discriminación entre familias (principalmente Gerreidae), géneros y especies de peces, describiendo su morfología con fines taxonómicos y filogenéticos (Arratia & Schultze, 1990; Chollet-Villalpando, 2012; Chollet-Villalpando *et al.*, 2014; González-Acosta *et al.*, 2014; Jawad *et al.*, 2016); y también su probable rol en el movimiento y comportamiento de alimentación en teleósteos (Khaah *et al.*, 2014).

La relación entre la forma de las estructuras de los organismos y el papel de las especies en su comunidad permite conocer la variación morfológica existente entre especies y taxa derivados de la variación adquirida en el medio ambiente (Leisler & Winkler, 1985). Es así como, dada la enorme variedad de tipos de presas disponibles para los peces, el funcionamiento en la alimentación, definido por la forma y el desempeño de éstos, establece límites discretos en lo que pueden ingerir las especies, definiendo además lugares preferentes de alimentación (Bohórquez-Herrera, 2009).

De acuerdo con Cardona (2016) la dieta de la mayoría de las especies del género *Mugil*, se basa en materia orgánica presente en el sedimento, aunque también pueden consumir invertebrados bentónicos, macroalgas verdes filamentosas y plancton, siendo el microfitorbentos un componente importante de su dieta. Según Sánchez-Rueda *et al.* (1997), *M. curema* y *M. cephalus* se caracterizan por presentar un espectro trófico y un hábitat muy similar, no obstante, *M. Curema* presenta afinidad por los limos gruesos 63-32 mm mientras que *M. cephalus* tiende a consumir una mayor proporción de arenas muy finas 125-63 mm lo que confirma su carácter selectivo. Igualmente, la selectividad en el espectro trófico posiblemente se relacione con diferentes zonas de alimentación lo que evitaría la competencia interespecífica por alimento. A lo largo de las zonas costeras mexicanas ambas especies coexisten, pero los picos máximos de desove se presentan desfasados (muestran tres meses de retraso en el norte del Golfo de México), dando como resultado retrasos en el reclutamiento de juveniles a las zonas estuarinas posiblemente para evitar la sobreposición en la alimentación de los juveniles que consumen el zooplankton limitante en las zonas costeras (Ibáñez & Colín, 2014; Ibáñez & Gutiérrez-Benitez, 2004).

De acuerdo con Kusaka (1974) citado en González-Acosta *et al.* (2014) el hueso urohial constituye un elemento fundamental para el mecanismo de apertura bucal de los peces, por lo que la morfología de esta estructura podría sugerir un acoplamiento causal tanto entre los mecanismos de alimentación como en la discriminación entre especies y poblaciones de distintas localidades. En este sentido sería útil en la discriminación entre especies y posiblemente también entre localidades.

Con el objeto de determinar la utilidad de la forma del hueso urohial se analizaron ejemplares de *Mugil curema* y *M. cephalus* de distin-

tas localidades, dos del Golfo de México y una del Pacífico Mexicano, con el objeto de discriminar entre especies y localidades.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los ejemplares se obtuvieron de la pesca comercial ribereña de tres zonas de estudio: una del Pacífico Mexicano, Puerto Madero, Chiapas; y dos del Golfo de México, Puerto La Frontera, Tabasco; y Laguna de Alvarado, Veracruz (Fig. 1).

Los organismos fueron congelados y transportados al laboratorio de Biología Pesquera de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, para su posterior análisis. Se obtuvieron 142 ejemplares en total; 91 de los cuales fueron de *M. curema* y 51 de *M. cephalus* (Tabla 1).

La extracción del urohial se llevó a cabo por medio de una serie de incisiones en la parte ventral del organismo, separando las membranas branquiostegas hasta la altura del istmo y desprendiendo los ligamentos anteriores que lo unen con los basibranchiales (Bemis *et al.*, 2004). Posteriormente, se realizó la extracción de cada urohial junto con su paquete muscular. Cada urohial se sometió a cocción en una parrilla eléctrica modelo American 6185, con agua corriente dentro de un frasco metálico durante 10 minutos a una temperatura aproximada de 80°C. Subsecuentemente se retiró por completo cualquier tipo de residuo empleando una aguja de disección, un bisturí, solución de agua con jabón convencional y agua corriente para su enjuague. Finalmente, cada urohial se preservó en frascos plásticos y alcohol al 70%.

Para el análisis morfométrico se emplearon tres vistas de la estructura ósea urohial: lateral izquierda, dorsal y ventral. Los urohiales fueron fotografiados con una cámara digital marca Sony, modelo DSC-W650, usando un trípode para cámara, una escala de medición y fondo oscuro. Cada imagen obtenida fue renombrada con respecto al número de ejemplar, especie, localidad de origen y vista de la estructura.

La definición de landmarks se realizó con respecto a la homología observada de la estructura del urohial de todos los ejemplares, es decir, aquellas partes consistentes y de clara identificación visual, así se seleccionaron solamente landmarks tipo I. Aquellos urohiales que estuvieron rotos e incompletos fueron descartados para el análisis.

Al no contar con estudios de esta índole y metodología previa, se consideraron apropiadas seis landmarks para las tres vistas, lateral, dorsal y ventral (Fig. 2). Los landmarks se registraron utilizando el software tpsDig2 versión 2.31 (Rohlf, 2017).

Con el programa Morphologika2 versión 2.5 (O'Higgins & Jones, 2007) se realizó el análisis generalizado de Procrustes (AGP) el cual consistió en escalar, trasladar y rotar el conjunto de landmarks para generar una imagen consenso y obtener los componentes principales (CP) con los cuales se realizaron los análisis discriminantes para explorar patrones de agrupación en los datos y reducción de la dimensionalidad de los datos multivariados (Zelditch *et al.*, 2004). También se realizó un análisis multivariado de la covarianza (MANCOVA) utilizando como covariable y factores de agrupación la longitud estándar, especie y localidad, respectivamente. Finalmente, la forma fue visualizada en los extremos de las funciones discriminantes (Bookstein, 1989).



Figura 1. Localidades de colecta. Puerto Madero, Chiapas; Frontera, Tabasco y laguna de Alvarado, Veracruz. Modificada de INEGI, Ita-Rubio, Escamilla-Herrera, C. & Soto-Núñez (1990).

Tabla 1. Tamaño de muestra por especie y localidad. LS= Longitud standard (mm).

	Fecha de colecta	No. Huesos urohiales	LS (mm)	
			Rango (min-máx)	Media $\pm \sigma$
<i>M. curema</i>				
Puerto Madero, Chiapas	Oct-2019	31	163 - 255	212 $\pm$ 21.9
Frontera, Tabasco	Nov-2018	31	222 - 300	267 $\pm$ 22.4
Alvarado, Veracruz	Oct-2018	29	210 - 283	239 $\pm$ 17.3
<i>Total</i>		91		
<i>M. cephalus</i>				
Puerto Madero, Chiapas	Oct-2019	8	294 - 373	327 $\pm$ 25.3
Frontera, Tabasco	Oct-Dic-2018	17	248 - 354	308 $\pm$ 36.3
Alvarado, Veracruz	Oct-2018 y Jul-2019	26	323 - 468	398 $\pm$ 39.5
<i>Total</i>		51		

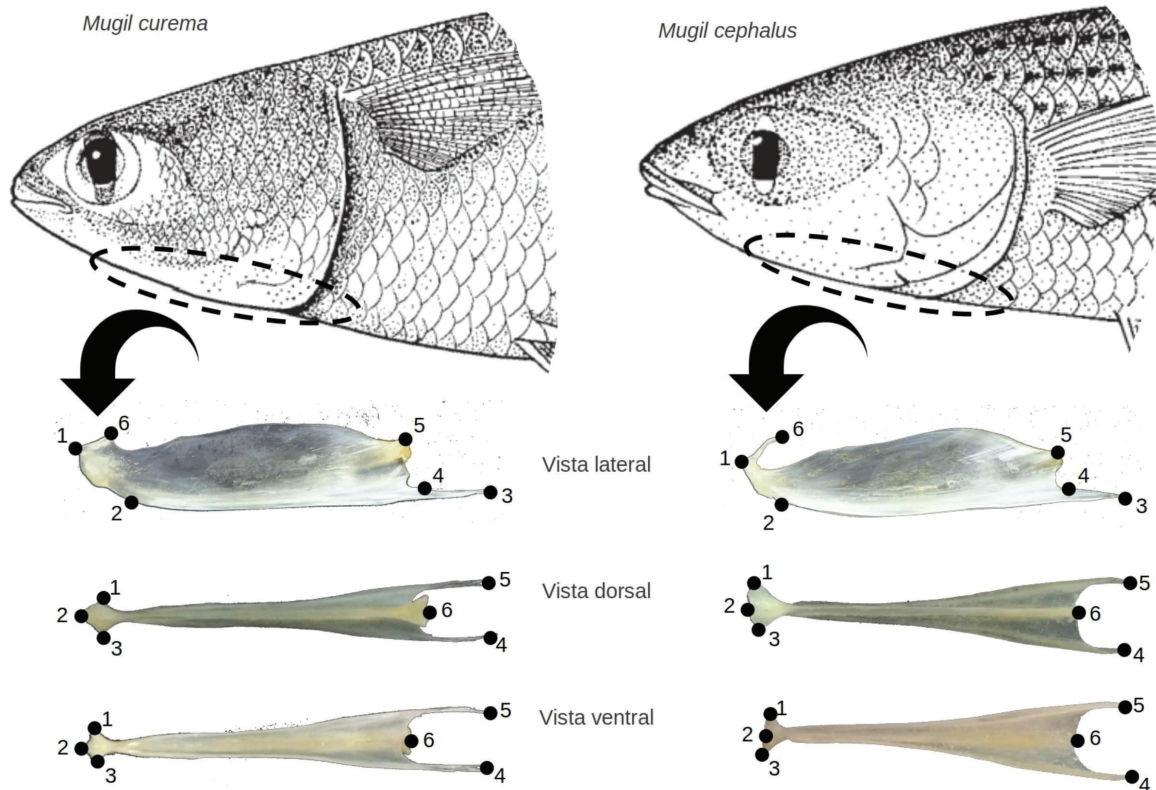


Figura 2. Landmarks empleadas para cada vista del hueso urohial.

## RESULTADOS

**Discriminación entre especies.** El primer CP explicó 39.5, 55.4 y 43.7% de la varianza total mientras que el segundo CP explicó 25.8, 18.4 y 25.9% en las tres vistas del urohial, lateral, dorsal y ventral respectivamente. En la figura 3 A, B y C se observa claramente la separación de las dos especies, donde la variación de la forma del hueso urohial se aprecia en la representación de las cuadrículas en cada figura, así para *M. curema* la forma de la vista lateral del urohial (Fig. 3A) muestra que dicho hueso es cóncavo en dirección ventro-dorsal donde la distancia entre la ubicación relativa de los landmark 1 y 6 es muy corta, mientras que en *M. cephalus* el urohial es convexo en dirección dorso-ventral y los landmark 1 y 6 tienen una ubicación relativa más alejada entre sí. La forma del hueso urohial de *M. curema*, en la vista dorsal (Fig. 3B) y ventral (Fig. 3C), se diferencia de la de *M. cephalus* por ser más angosto, es decir, todos los landmarks tienen distancias relativas muy cercanas entre sí, mientras que en *M. cephalus* la forma del hueso es más ancho (Fig. 3).

La discriminación entre especies fue de 86.6, 96.5 y 95.1% (Wilks'  $\lambda = 0.422$ ; 0.234 y 0.252, respectivamente y  $p < 0.001$  para los tres casos), para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente. Los análisis de MANCOVA confirman diferencias significativas en la forma del urohial entre especies de todas las vistas donde la longitud estándar mostró diferencias significativas para la vista lateral y ventral y no para la vista dorsal (Tabla 2). El porcentaje de la forma explicada

por la longitud estándar fue 10.81, 2.38 y 5.45% para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente.

**Discriminación entre localidades.** El porcentaje de varianza explicada por el primer CP para las localidades en *M. curema* fue de 47.3, 61 y 60.9% mientras que el segundo CP mostró 16.1, 15.3 y 17.5%, con una varianza total acumulada de 63.4, 76.3 y 78.4%, para la vista lateral, dorsal y ventral respectivamente. El resultado del análisis discriminante por localidades, de esta especie, fue de 65.9, 54.9 y 60.4% (Wilks'  $\lambda = 0.354$ ; 0.478 y 0.448, respectivamente y  $p < 0.001$  para los tres casos), para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente donde el mejor porcentaje de clasificación para todas las vistas del urohial fue la localidad de Chiapas (Tabla 3). El MANCOVA confirma diferencias significativas en la forma del urohial de todas las vistas entre localidades para *M. curema*, mientras que la longitud estándar no resultó ser significativa para la forma. El porcentaje de la forma explicada por la longitud estándar fue 4.39, 5.07 y 6.97% para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente.

El porcentaje de varianza explicada por el primer CP para las localidades en *M. cephalus* fue de 45.4, 58 y 37.7% mientras que el segundo explicó 17.3, 18.4 y 23.7%, con una varianza total acumulada de 62.7, 76.5 y 61.4%, para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente. El resultado del análisis discriminante por localidades fue de 66.7, 49 y 56.9% (Wilks'  $\lambda = 0.316$ ; 0.468 y 0.351 respectivamente con  $p < 0.001$  y  $p < 0.05$ , este último en la vista dorsal) para la vis-



Tabla 2. Resultados de la clasificación empleando validación cruzada entre las especies *M. curema* y *M. cephalus*. LS= Longitud standard (mm).

Vista	%	Predicción de pertenencia al grupo			MANCOVA				
		<i>M. curema</i>	<i>M. cephalus</i>	Total	Wilks' $\lambda$	p	Efecto	Wilks' $\lambda$	p<0.05
Lateral <sup>a</sup>	<i>M. curema</i>	89.0		100	0.422	<0.001	LS	0.874	0.020
	<i>M. cephalus</i>		82.4	100			Especie	0.650	<0.001
Dorsal <sup>b</sup>	<i>M. curema</i>	95.6		100	0.234	<0.001	LS	0.906	0.102
	<i>M. cephalus</i>		98.0	100			Especie	0.404	<0.001
Ventral <sup>c</sup>	<i>M. curema</i>	93.4		100	0.252	<0.001	LS	0.812	<0.001
	<i>M. cephalus</i>		98.0	100			Especie	0.443	<0.001

<sup>a</sup> 86.6% de la validación cruzada correctamente clasificada.

<sup>b</sup> 96.5% de la validación cruzada correctamente clasificada.

<sup>c</sup> 95.1% de la validación cruzada correctamente clasificada.

ta lateral, dorsal y ventral, respectivamente; con mejor porcentaje de discriminación las localidades Veracruz y Chiapas (Tabla 4). Los MANCOVA confirman diferencias significativas en la forma del urohial de todas las vistas entre localidades, mientras que la longitud estándar no resultó ser significativa para la forma con excepción de la vista ventral. El porcentaje de la forma explicada por la longitud estándar fue 7.28, 6.99 y 5.57% para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La forma del urohial permitió discriminar entre especies, donde la vista dorsal fue la que mostró mayor porcentaje de discriminación (96.5%) sin influencia de la talla. Este resultado es relevante considerando que, cuando se quiere discriminar entre especies, las diferencias en la talla

suelen ser notorias. Para las especies en este estudio, en las costas del Atlántico, *Mugil cephalus* es la de mayor talla con un valor máximo de 120 cm de longitud estándar, mientras que *M. curema* alcanza un máximo 91 cm (Harrison, 2002).

Nuestros resultados son similares a los encontrados con métodos que utilizan escamas y en los cuales se han constatado altos porcentajes de discriminación (98.1%) en identificación de las mismas especies analizadas en este estudio (Ibañez *et al.*, 2007; Ibañez *et al.*, 2009). Asimismo, los resultados se comparan razonablemente con tasas entre 70% y 86% registradas en otros estudios que utilizan otolitos para el mismo fin (Leguá *et al.*, 2013; Tuset *et al.*, 2006), así como con el patrón de escamación rómbica que ha mostrado porcentajes de clasificación entre 70 y 76% en la discriminación entre especies (Ibañez *et al.*, 2020).

Tabla 3. Resultados de la discriminación con validación cruzada entre las localidades de *Mugil curema*. LS= Longitud standard (mm).

Vista	%	Predicción de pertenencia al grupo			MANCOVA					
		Chiapas	Tabasco	Veracruz	Total	Wilks' $\lambda$	p	Efecto	Wilks' $\lambda$	p<0.05
Lateral <sup>a</sup>	Chiapas	77.4			100	0.354	<0.001	LS	0.926	0.607
	Tabasco		54.8		100			Localidad	0.471	<0.001
	Veracruz			65.5	100					
Dorsal <sup>b</sup>	Chiapas	77.4			100	0.478	<0.001	LS	0.840	0.070
	Tabasco		38.7		100			Localidad	0.546	<0.001
	Veracruz			48.3	100					
Ventral <sup>c</sup>	Chiapas	77.4			100	0.448	<0.001	LS	0.922	0.560
	Tabasco		48.4		100			Localidad	0.474	<0.001
	Veracruz			55.2	100					

<sup>a</sup> 65.9% de la validación cruzada correctamente clasificada.

<sup>b</sup> 54.9% de la validación cruzada correctamente clasificada.

<sup>c</sup> 60.4% de la validación cruzada correctamente clasificada.

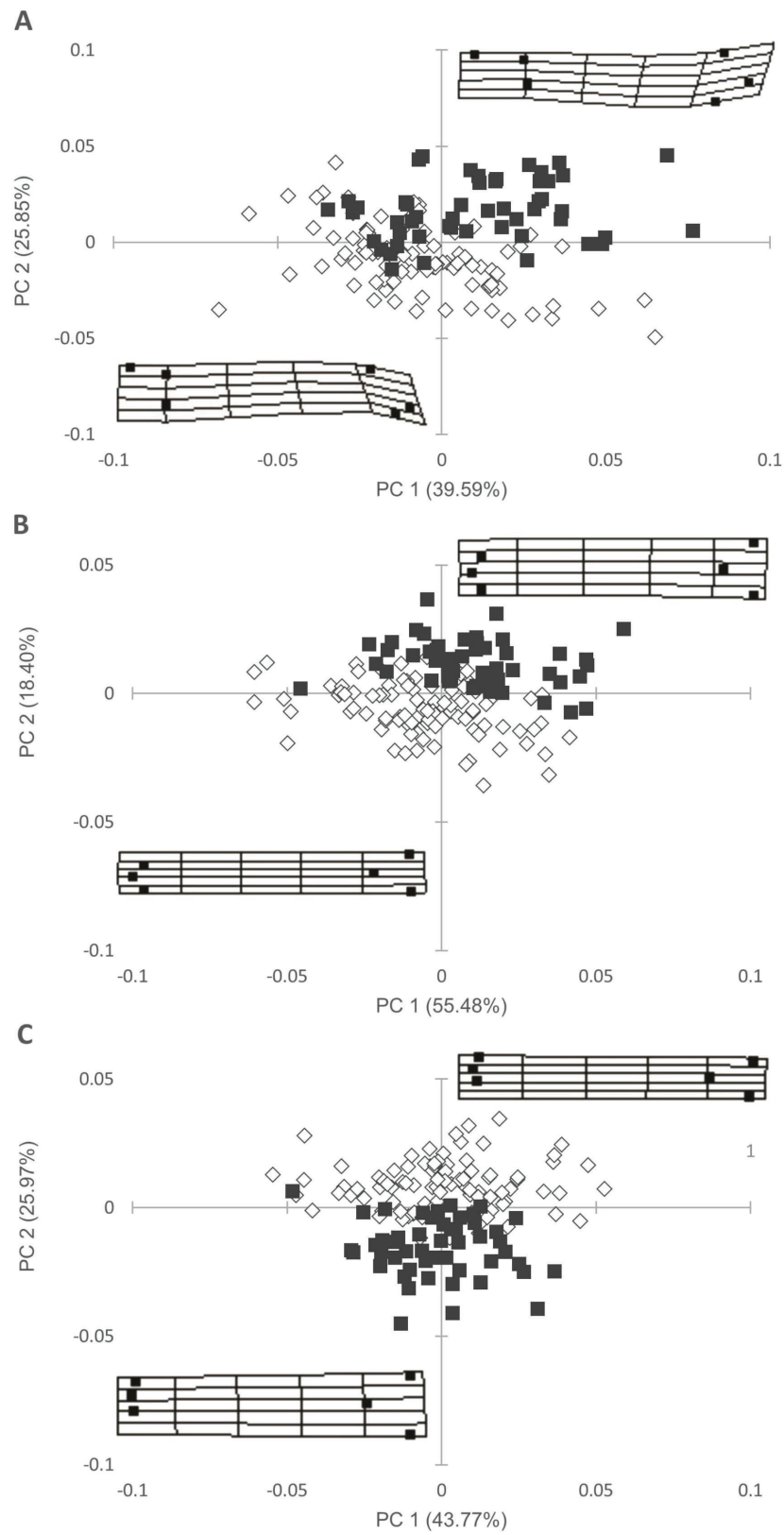


Figura 3. Análisis de componentes principales entre especies; A, vista lateral; B, vista dorsal; C, vista ventral; *M. curema* (rombo) y *M. cephalus* (cuadrado).

Tabla 4. Resultados de la discriminación con validación cruzada entre las localidades de *Mugil cephalus*. LS = Longitud standard (mm).

Predicción de pertenencia al grupo					MANCOVA					
Vista	%	Chiapas	Tabasco	Veracruz	Total	Wilks' $\lambda$	p	Efecto	Wilks' $\lambda$	P<0.05
Lateral <sup>a</sup>	Chiapas	50			100			LS	0.766	0.180
	Tabasco		52.9		100	0.316	<0.001	Localidad	0.450	0.005
	Veracruz			80.8	100					
Dorsal <sup>b</sup>	Chiapas	50			100			LS	0.782	0.227
	Tabasco		41.2		100	0.468	<0.05	Localidad	0.472	0.008
	Veracruz			53.8	100					
Ventral <sup>c</sup>	Chiapas	75			100			LS	0.688	0.042
	Tabasco		47.1		100	0.351	<0.001	Localidad	0.380	<0.001
	Veracruz			57.7	100					

<sup>a</sup> 66.7% de la validación cruzada correctamente clasificada.

<sup>b</sup> 49.0% de la validación cruzada correctamente clasificada.

<sup>c</sup> 56.9% de la validación cruzada correctamente clasificada.

A diferencia de la discriminación entre especies, utilizando la forma de escamas y otolitos se han reportado valores de discriminación entre localidades generalmente superiores al 70% (Ibáñez *et al.*, 2007; Ibáñez *et al.*, 2012; Ibáñez *et al.*, 2017). En este estudio la forma del hueso urohial mostró menores porcentajes de discriminación entre localidades (66.3% como promedio de los valores más altos en ambas especies). La vista del urohial que resultó más exitosa en la discriminación de localidades fue la vista lateral seguida por la ventral y por último la dorsal, lo cual se atribuye posiblemente a los hábitos alimenticios, pues se considera una estructura importante en el mecanismo de apertura y cierre de la boca en los peces (Jawad *et al.*, 2016), no obstante, debido a la cercanía entre localidades del Golfo de México y posible entrecruzamiento no hay variación morfológica significativa entre las localidades analizadas. Cabe destacar que en términos genéticos se han reportado que las diferencias entre especies y entre localidades pueden deberse a que *Mugil curema* ha mostrado estructura en los estudios genéticos poblacionales (Pacheco-Almanzar *et al.*, 2017; Pacheco-Almanzar, 2019) además de mostrar comportamiento filopátrico tanto en el Pacífico como en el Golfo de México (Colín, 2020) a diferencia de *M. cephalus* que muestra una población panmíctica en el Golfo de México (Colín *et al.*, 2020).

Gauldie (1988) explica la estabilidad intraespecífica como aquello que obedece a una limitación biológica específica debido a su función, en este caso está claramente asociada con una mayor discriminación interespecífica que con la diferenciación entre localidades debido a la permanencia de sus características que lo colocan como un buen marcador interespecífico. Para algunos investigadores, el sistema óseo constituye el fundamento sobre el cual se apoya la definición de los grandes grupos y la discusión de afinidades y diferencias entre los mismos (Greenwood *et al.*, 1966). De esta manera, la osteología

de peces ha permitido aportar elementos para la descripción y diferenciación de especies (Campello & Bemvenuti, 2002). Consecuentemente, fue posible determinar la utilidad de la forma del urohial como un método sencillo para discriminar entre las especies *Mugil curema* y *M. cephalus*, este resultado es relevante considerando que esta familia presenta una morfología muy similar con amplia problemática para distinguir especies. En este sentido es que se sugiere contar con un catálogo de referencia de urohiales para diferentes especies de la familia Mugilidae.

## AGRADECIMIENTOS

El estudio contó con el apoyo de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAMI) y de la Secretaría de Educación Pública.

## REFERENCIAS

- APRIETO, V. L. 1973. Early development of carangid fishes of the Gulf of Mexico and the South Atlantic Coast of the United States. PhD thesis in Philosophy (Marine Sciences), Marine Sciences, University of Miami, USA. 182 p.
- ARRATIA, G. & H. P. SCHULTZE. 1990. El urohial: desarrollo y homología dentro de los osteictios. *Journal of Morphology* 203 (3): 247-282. DOI:10.1002/jmor.1052030302
- BEMIS, W. E., E. J. HILTON, E. J. BROWN, B. ARRINDELL, R. RICHMOND, A. M. LITTLE, C. D., L. GRANDE, P. L. FOREY, G. J. NELSON & J. W. ARMBRUSTER. 2004. Methods for Preparing Dry, Partially Articulated Skeletons of Osteichthyans, with Notes on Making Ridewood Dissections of the Cranial Skeleton. *Copeia* 2004 (3): 603-609. DOI:10.1643/ci-03-054r1

- BOHÓRQUEZ-HERRERA, J. 2009. Ecomorfología alimentaria de algunas especies de peces asociadas a fondos blandos. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 132 p.
- BOOKSTEIN, F. L. 1989. Principal warps: thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 11 (6): 567-585. DOI:10.1109/34.24792
- CAMPELLO, F. D. & M. D. A. BEMVENUTI. 2002. Diferenciação morfométrica e osteológica entre *Ramnogasterarcuata* (Jenyns) e *Platanichthys platana* (Regan) (Teleostei, Clupeidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 19 (3): 757-766. DOI:10.1590/S0101-81752002000300013
- CARDONA, L. 2016. Food and Feeding of Mugilidae. In: Crosetti, D. & S. Blaber (eds.). *Biology, Ecology and Culture of Grey Mullet (Mugilidae)*. CRC Press, pp.165-195.
- CHOLLET-VILLALPANDO, J. G. 2009. Morfología comparada del hueso urohial en especies de la familia Gerreidae (Perciformes). Tesis de Licenciatura (Biología Marina), Departamento académico de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 63 p.
- CHOLLET-VILLALPANDO, J. G. 2012. El hueso urohial en la familia Gerreidae (Teleostei: Perciformes): análisis taxonómico y filogenético. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 90 p.
- CHOLLET-VILLALPANDO, J. G., J. DE LA CRUZ-AGÜERO & F. J. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2014. Comparison of urohial bone morphology among gerreid fish (Perciformes: Gerreidae). *Italian Journal of Zoology* 81(2): 246-255. DOI:10.1080/11250003.2014.912681
- COLÍN, A. 2020. Evaluación de la filopatría en *Mugil cephalus* y *M. curema* para el Golfo de México y el Pacífico Mexicano. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana, México. 116 p.
- COLÍN, A., HERNÁNDEZ-PÉREZ, Z., GUEVARA-CHUMACERO, L. M., CASTAÑEDA-RICO, S., SERRATO-DÍAZ, A. & IBÁÑEZ, A. L. 2020. Are striped mullet (*Mugil cephalus*) philopatric? *Marine Biology* 167: 10. DOI:10.1007/s00227-019-3622-1
- DE LA CRUZ-AGÜERO, J. & J. G. CHOLLET-VILLALPANDO. 2012. Catálogo sinóptico del hueso urohial de las especies de la familia Gerreidae de México. In: Instituto Politécnico Nacional (ed.). *Investigación Ictiológicas en México*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México, pp. 57-73.
- GAULDIE, R. W. 1988. Function, form and time-keeping properties of fish otoliths. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 91 (2): 395-402. DOI:10.1016/0300-9629(88)90436-7
- GHASEMZADEH, J. 2016. Musculoskeletal Anatomy of the Flathead Grey Mullet *Mugil cephalus*. In: Crosetti, D. & S. Blaber (eds.). *Biology, Ecology and Culture of Grey Mullet (Mugilidae)*. CRC Press, pp. 128-164.
- GONZÁLEZ-ACOSTA, A. F., U. RUBIO-RODRÍGUEZ & G. RUIZ-CAMPOS. 2014. El Hueso Urohial de los Peces Gerreidae (Teleostei: Percoidae) de América y su Aplicación Taxonómica. *International Journal of Morphology* 32 (3): 923-929. DOI:10.4067/S0717-95022014000300029
- GREENWOOD, P. H., D. E. ROSEN, S. H. WEITZMAN & G. S. MYERS. 1966. Phyletic studies of teleostean fishes, with a provisional classification of living forms. *Bulletin of the American Museum of Natural History Library* 131(4): 339-456. Available online at: <https://archive.org/details/bulletin-american-museum-natural-history-131-341-455/mode/1up>
- HARRISON, I. J. 2002. Mugilidae. In: Carpenter, K.E. (ed.). *The living marine resources of the Western Central Atlantic*. FAO species identification guide for fishery purpose, vol. 2, Rome, FAO, pp. 602-1373.
- IBÁÑEZ, A. L. & O. GUTIÉRREZ-BENÍTEZ. 2004. Climate variables and spawning migrations of the striped mullet and white mullet in the north-western area of the Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology* 65: 822-831. DOI:10.1111/j.0022-1112.2004.00488.x
- IBÁÑEZ, A. L., I. G. COWX & P. O'HIGGINS. 2007. Geometric morphometric analysis of fish scales for identifying genera, species, and local populations within the Mugilidae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64 (8): 1091-1100. DOI:10.1139/F07-075
- IBÁÑEZ, A. L., I. G. COWX & P. O'HIGGINS. 2009. Variation in elasmoid fish scale patterns is informative with regard to taxon and swimming mode. *Zoological Journal of the Linnean Society* 155: 834-844.
- IBÁÑEZ, A. L., E. ESPINO-BARR & M. GALLARDO-CABELLO. 2012. Population connectivity among geographic variants within the Lutjanidae (Pisces) of the Mexican Pacific coast through fish scale shape recognition. *Scientia Marina* 76 (4): 667-675. DOI:10.3989/scimar.03675.09C
- IBÁÑEZ, A. L. & A. COLIN. 2014. Reproductive biology of *Mugil curema* and *Mugil cephalus* from western Gulf of Mexico waters. *Bulletin of Marine Science* 90 (4): 941-952. DOI:10.5343/bms.2014.1004
- IBÁÑEZ, A. L., K. HERNÁNDEZ-FRAGA & S. ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ. 2017. Discrimination analysis of phenotypic stocks comparing fish otolith and scale shapes. *Fisheries Research* 185: 6-13. DOI:10.1016/j.fishres.2016.09.025
- IBÁÑEZ, A. L., E. GUERRA & E. PACHECO-ALMANZAR. 2020. Fish Species Identification Using the Rhombic Squamation Pattern. *Frontiers in Marine Science* 7 (211): 1-8. DOI:10.3389/fmars.2020.00211
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA), L. Ita-Rubio, I. Escamilla-Herrera, C. García-De León & M. C. Soto-Núñez. 1990. Límite nacional 1:4000000. In: División política estatal. Tomo I, Sección I, 1.2. Disponible en línea en: [https://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/conto4mgw.xml?\\_httpcache=yes&\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](https://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/conto4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no) (consultado el 21 junio 2019).
- JAWAD, L. A., J. L. F. KHAHE, A. TEIMORI, H. MEHRABAN & H. R. ESMAEILI. 2016. Comparative morphology of the urohial bone offishes collected from the Persian Gulf and Oman Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 97 (6): 1317-1333. DOI:10.1017/s0025315416000680
- JOHAL, M. S., H. R. ESMAEILI & K. K. TANDON. 2000. Reliability of urohial bone of silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Val. 1844) for age determination. *Current Science* 79 (1): 27-28.
- KHAAH, J. F. L., H. MEHRABAN, A. TEIMORI & H. ESMAEILI. 2014. Morphology of urohial bone and its relationship with feeding habits and

- habitats of some species of the order Pleuronectiformes. Paper presented at the The Second Iranian Conference of Ichthyology Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.
- KOBELKOWSKY, A. D. & A. RESENDEZ. 1972. Estudio comparativo del endosqueleto de *Mugil cephalus* y *Mugil curema* (Pisces, Perciformes). *Anales Instituto Biología Universidad Nacional Autónoma de México* 43 (1): 33-84.
- LEGUÁ, J., G. PLAZA, D. PÉREZ & A. ARKHIPKIN. 2013. Otolith shape analysis as a tool for stock identification of the southern blue whiting, *Micromesistius australis*. *Latin American Journal of Aquatic Research* 41(3): 479-489.
- LEISLER, B. & H. WINKLER. 1985. Ecomorphology. In: Johnston R. F. (ed.). *Current Ornithology*. Current Ornithology Springer Vol. 2, Boston, pp. 155-186. DOI:10.1007/978-1-4613-2385-3\_5
- O'HIGGINS, P. & N. JONES. 2007. Morphologika2 v2.5. Available online at: <http://sites.google.com/site/hymsfme/downloadmorphologica> (downloaded September, 2017)
- PACHECO-ALMANZAR, E., H. RAMÍREZ-SAAD, J. A. VELÁZQUEZ-ARAGÓN, A. SERRATO & A. L. IBÁÑEZ. 2017. Diversity and genetic structure of white mullet populations in the Gulf of Mexico analyzed by microsatellite markers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 198: 249-256. DOI:10.1016/j.ecss.2017.09.015
- PACHECO-ALMANZAR, E. 2019. Conectividad entre poblaciones de *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae) en el Golfo de México y Pacífico Mexicano. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, México. 169 p.
- PATÓN, D. D., I. E. ROSELLÓ & P. M. A. CEREJO. 1991. Aplicación de la programación a la identificación de restos ictioarqueológicos. *Complutum* 1: 153-160.
- ROHLF, F. J. 2017. tpsDig2. Disponible en: <https://es.freedownloadmanager.org/Windows-PC/tpsDig2.html>
- SÁNCHEZ-RUEDA, P., M. I. GONZÁLEZ, A. L. IBÁÑEZ & G. A. MÁRQUEZ. 1997. Sedimento en el contenido estomacal de *Mugil cephalus* y *Mugil curema* (Mugiliformes: Mugilidae) en la laguna de Tamiahua, México. *Revista de Biología Tropical* 45 (3): 1163-1166.
- TUSET, V. M., P. L. ROSIN & A. LOMBARTE. 2006. Sagittal otolith shape used in the identification of fishes of the genus *Serranus*. *Fisheries Research* 81 (2): 316-325. DOI:10.1016/j.fishres.2006.06.020
- ZELDITCH, M. L., D. L. SWIDERSKI, H. D. SHEETS & W. L. FINK. 2004. *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Elsevier Academic Press, USA. 488 p. Also available at: <https://www.sciencedirect.com/book/9780127784601/geometric-morphometrics-for-biologists>





## Biología reproductiva del pez vela *Istiophorus platypterus* en la Bahía de Acapulco, México

### Reproductive biology of the sailfish *Istiophorus platypterus* in the Acapulco Bay, Mexico

Hernández-Aguilar, Sandra Berenice<sup>1</sup> , Abitia-Cárdenas, Leonardo Andrés<sup>1\*</sup>, Moreno-Sánchez, Xchel Gabriel<sup>1</sup>, Cruz-Escalona Víctor Hugo<sup>1</sup>, Villalejo Fuerte Marcial<sup>1</sup>, Arellano Martínez Marcial<sup>1</sup> y Ceballos Vázquez Bertha Patricia<sup>1</sup>

Recibido: 22 de octubre de 2020.

Aceptado: 03 de diciembre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** El pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw, 1792) es una especie ovípara (familia Istiophoridae), objeto de pesca por la flota deportiva de pesca en México. Aún y cuando los aspectos reproductivos de cualquier especie representan información esencial para el diseño de planes de manejo, a la fecha no existe información sobre los principales aspectos reproductivos del pez vela en la Bahía de Acapulco, Guerrero, México. **Objetivo.** Aportar información sobre la biología reproductiva de las hembras de pez vela *I. platypterus* de la Bahía de Acapulco, México, a partir de un análisis histológico de sus gónadas. **Métodos.** Durante el período 2008-2009, se obtuvo un total de 561 peces. Mediante análisis histológicos se describieron las características reproductivas de los ovarios del pez vela. **Resultados.** El 55.8% de los organismos analizados fueron machos, mientras que el 44.2% fueron hembras, la proporción de sexos (1.26 M:1H) fue significativamente diferente de la proporción 1:1. El análisis histológico de los ovocitos de 155 hembras permitió corroborar que el desarrollo gonádico de *I. platypterus* es sincrónico por grupos, y el pez vela puede ser clasificado como un desovador parcial múltiple. *I. platypterus* se reproduce de julio a diciembre, aunque con mayor intensidad en los meses más cálidos (julio a septiembre), lo cual fue corroborado con los altos valores del IGS. La fecundidad estimada en 14 hembras con presencia de ovocitos hidratados varió entre  $0.330-2.092 \times 10^6$  ovocitos, con un promedio de  $1.07 \times 10^6$  ovocitos. **Conclusiones.** La población de pez vela en la Bahía de Acapulco está compuesta principalmente por machos, con un máximo reproductivo en el caso de las hembras durante los meses cálidos del año, así como una fecundidad relativamente alta.

**Palabras clave:** Istiophoridae, peces de pico, desovador parcial múltiple, fecundidad, índice gonadosomático.

#### ABSTRACT

**Background.** The sailfish *Istiophorus platypterus* is an oviparous billfish species (family Istiophoridae); it is caught by trolling in the sports fishery in Mexico. However, to date, there have been no reproductive biology studies of sailfish in Acapulco Bay, although the reproductive aspects of any species represent essential information for the design of management plans. **Goals.** Provide information on aspects of the reproductive biology of sailfish in waters off Acapulco, Bay. **Methods.** During the period 2008–2009, a total of 561 fish were sampled. Macroscopy analysis and quantitative histology was used to describe reproductive characteristics of the sailfish gonads. **Results.** 55.8% of the analyzed organisms were males, the remaining 44.2% were females, the sex ratio (1.26 M: 1 H) was different from the expected theoretical ratio. The ovaries of 155 females were classified into five ovarian development phases based on histological analysis of the most advanced group of oocytes. Sailfish is a multiple spawn with asynchronous oocyte development. Batch fecundity for 14 females with the presence of hydrated oocytes ranged from  $0.330$  to  $2.092 \times 10^6$  oocytes with an average of  $1.07 \times 10^6$  oocytes. Gonadosomatic index (GSI) indicated that sailfish have a reproductive period with peaks in August and October (mean monthly GSI= 4.3% and 5.4%, respectively). **Conclusions.** Population sailfish in the Bay of Acapulco is composed mainly of males, with a reproductive maximum in the case of females during the warm months of the year, as well as a relatively high fecundity.

**Keywords:** Istiophoridae, billfish, multiple partial spawners, fecundity, gonadosomatic index.

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. La Paz, Baja California Sur, 23096. México

**\*Corresponding author:**

Leonardo Andrés Abitia-Cárdenas: e-mail: labitia@ipn.mx; Phone: 52 (612) 1225366; Fax number: 52 (612) 1225322

**To quote as:**

Hernández-Aguilar, S. B., L. A. Abitia-Cárdenas, X. G. Moreno-Sánchez, V. H. Cruz-Escalona, M. Villalejo-Fuerte, M. Arellano-Martínez & B. P. Ceballos-Vázquez. 2020. Biología reproductiva del pez vela *Istiophorus platypterus* en la Bahía de Acapulco, México. *Hidrobiológica* 30 (3): 269-280.

## INTRODUCCIÓN

El pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw, 1792) se encuentra ampliamente distribuido en las aguas superficiales tropicales y templadas de todos los océanos del mundo (Nakamura, 1985). En aguas internacionales es capturado principalmente con redes de enmalle de deriva, redes fijas y arpones, también es parte de la captura incidental en las pesquerías comerciales con palangre y redes de cerco (Chiang, 2004; Chiang *et al.*, 2006a; Mourato *et al.*, 2018). En México, su captura está reservada a la pesca deportiva (NOM-017-PESC-1994). Dentro del grupo de los peces de pico (familia Isthiophoridae y Xiphiidae) representa una de las especies con volúmenes de captura más importantes (Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez, 1998; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013).

La Bahía de Acapulco, Guerrero, México, es una zona que presenta altos niveles de esfuerzo de pesca para este recurso, ya que tiene un valor económico elevado y es aprovechado para consumo humano, taxidermia y artesanías (Osuna-Flores, 1991; Hernández-Aguilar *et al.*, 2013).

Se han publicado diversos estudios sobre los aspectos reproductivos del pez vela para la región oriental del Océano Pacífico, estas investigaciones han utilizado métodos indirectos como el índice gonadosomático para estimar la temporada reproductiva y la distribución geográfica de ejemplares maduros (Kume & Joseph, 1969; Shingu *et al.*, 1974; Miyabe & Bayliff, 1987; Nakano & Bayliff, 1992; Uosaki & Bayliff, 1999). Sin embargo, pocos estudios reportan información sobre la proporción de sexos y fecundidad parcial (Chiang *et al.*, 2006a, 2006b).

En el caso particular del Pacífico mexicano, los estudios de reproducción de *I. platypterus* han sido realizados por Eldridge & Wares (1974) quienes utilizaron el índice gonádico y el número de modas en la distribución del diámetro de los ovocitos intraováricos para definir la madurez sexual y la época de desove de las hembras, específicamente en las costas de Baja California Sur, México y California, Estados Unidos.

Por otro lado, Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez (1998) analizaron la proporción sexual y porcentaje de hembras maduras del pez vela en las costas del Pacífico mexicano. Asimismo, Hernández-Herrera *et al.* (2000), estimaron la fecundidad y frecuencia del desove en organismos capturados en algunas localidades frente a las costas del Pacífico mexicano (Baja California Sur, Sinaloa, Jalisco y Colima), durante el periodo de 1989-1991. González-Armas *et al.* (2006) describieron aspectos de la reproducción del pez vela en organismos capturados en la boca del Golfo de California entre enero de 1990 y diciembre de 2004, concluyeron que la temporada de reproducción se presenta de julio a noviembre. Finalmente, Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.* (2013), describieron algunos rasgos reproductivos del pez vela en el sureste del Pacífico mexicano (costas de Oaxaca) y concluyeron que la especie presenta un desarrollo ovárico asincrónico y la época de desove ocurre durante los meses de julio y septiembre.

Considerando que, en la Bahía de Acapulco, Guerrero, México no se cuenta con antecedentes de estudios sobre aspectos reproductivos del pez vela (Hernández-Aguilar *et al.*, 2013) y que esta información es esencial para el diseño de planes de manejo de cualquier especie, el objetivo del presente trabajo fue describir el ciclo reproductivo de las hembras del pez vela con énfasis en la temporada de desove, la talla promedio de madurez y la fecundidad parcial, durante los años 2008 y 2009.

## MATERIAL Y METODOS

Los ejemplares fueron recolectados de marzo de 2008 a diciembre de 2009 en las áreas de desembarco de la flota deportiva de la Bahía de Acapulco, Guerrero, México (99°52'57" latitud norte, 16°51'59" longitud oeste; Fig. 1). Las medidas biométricas registradas incluyeron: el peso total (PT en g), la longitud posorbital (LP en cm) y el peso de las gónadas (PG en g). Las gónadas fueron preservadas en formaldehído al 10% para su posterior análisis histológico. El sexo de los peces fue identificado a partir de cortes histológicos. Las gónadas de las hembras se procesaron empleando la técnica histológica convencional. El proceso consistió en la deshidratación, inclusión en parafina, cortes de 7µm de grosor en un micrótopo (Leica RM2155) y tinción con hematoxilina-eosina, posteriormente los cortes histológicos fueron montados en portaobjetos para su observación al microscopio (Carl Zeiss, AxioLab A1). Se consideraron cinco etapas de desarrollo gonádico (reposo, desarrollo, madurez, desove y posdesove), considerando la descripción del desarrollo de ovocitos propuesta por Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez (1998).

La proporción de sexos de los organismos fue analizada de forma mensual y total, comparándose con la proporción teórica esperada (1H:1M) a través de una prueba de bondad de ajuste de  $\chi^2$  (Sokal & Rohlf, 1979).

El índice gonadosomático (IGS) de las hembras se calculó para evaluar cambios en su actividad reproductiva, considerando que los valores altos representan periodos de madurez y valores bajos denotan inactividad reproductiva. Este índice se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$IGS = \frac{pg}{PT} * 100$$

dónde: IGS= Índice gonadosomático; pg= peso gónada; PT= peso total eviscerado del pez.

La época reproductiva de la especie se estableció considerando las mayores frecuencias de organismos en fase de madurez y los valores más altos del IGS.

La talla media de madurez fue estimada utilizando las frecuencias de hembras maduras y en desove, agrupadas por intervalos de 5 cm de longitud pos orbital. Los datos fueron ajustados a una función de distribución logística mediante la siguiente función (Taylor & Murphy, 1992):

$$FHM = 1 / (1 + e^{(a - b \cdot LP)})$$

Dónde: FHM es la frecuencia de hembras maduras y en desove por intervalo de talla, a y b son coeficientes de la distribución logística; LP es el intervalo de longitud posorbital de las hembras en fase de madurez y desove. Los valores de a y b calculados se utilizaron para obtener la  $LP_{50}$  con la siguiente ecuación:  $(LP_{50} = \frac{a}{b})$ . Las variables de distribución logística se obtuvieron con el programa Statistica v.8.

Para estimar la fecundidad se empleó el método gravimétrico, teniendo como base a las hembras con ovocitos hidratados que no presentaron folículos posovulatorios. Con la finalidad de definir el peso mínimo de muestra a utilizar en la estimación de la fecundidad, se tomaron muestras por triplicado (0.06, 0.2, 0.6, 0.8 y 1.0 gramos) de la gónada más grande de las 14 consideradas para el análisis.

Para obtener la fecundidad parcial se utilizó el peso mínimo de muestra (0.8 g), se contó el número de ovocitos hidratados para cada una de las submuestras de las gónadas que estaban en fase de madurez y sin folículos posovulatorios y se extrapolo al peso total de cada una de las gónadas, de acuerdo al método propuesto por Hunter *et al.* (1985).

Una vez estimada la fecundidad parcial, se realizaron análisis de regresión para conocer la relación entre la fecundidad y longitud posorbital, y entre la fecundidad y el peso total del pez. La fecundidad relativa (FR), medida como ovocitos hidratados por gramo de peso corporal fresco, fue determinada como la fecundidad parcial dividida por el peso total fresco de los peces.

La temperatura superficial del mar fue obtenida de imágenes compuestas, adquiridas de los sensores Aqua-MODIS y Terra-MODIS (Scripps Institution of Oceanography). Las imágenes de alta resolución (HRTP) fueron procesadas utilizando el programa Image Manager de Windows© (WIMSoft). Se utilizó una prueba de Spearman (Statistica

v.8) para identificar si existía una correlación entre la temperatura superficial del mar y el índice gonadosomático.

## RESULTADOS

En total se obtuvieron 561 individuos del pez vela, de los cuales 313 fueron machos (55.8 %) y 248 hembras (44.2 %). El intervalo de talla y peso fluctuó entre 101 y 212 cm de longitud posorbital y 15 y 47 kg de peso total (Fig. 2a y b). Las hembras presentaron tallas y pesos promedios significativamente mayores que los machos ( $F_1 = 668.0676$ ,  $p = 0.000$  y  $F_1 = 2738.686$ ,  $p = 0.0000$ , respectivamente) en todo el periodo de estudio (Tabla 1).

La proporción de sexos total fue de 1.26 M: 1 H, y fue significativamente diferente de la proporción 1:1 ( $\chi^2 = 7.53$ ,  $P < 0.05$ ). El análisis de la proporción de sexos por mes, indicó diferencias significativas en seis de los 21 muestreos realizados (junio 2008, octubre 2008, diciembre 2008, abril 2009, julio 2009 y octubre 2009); en todos los casos los machos fueron más abundantes (Tabla 2).

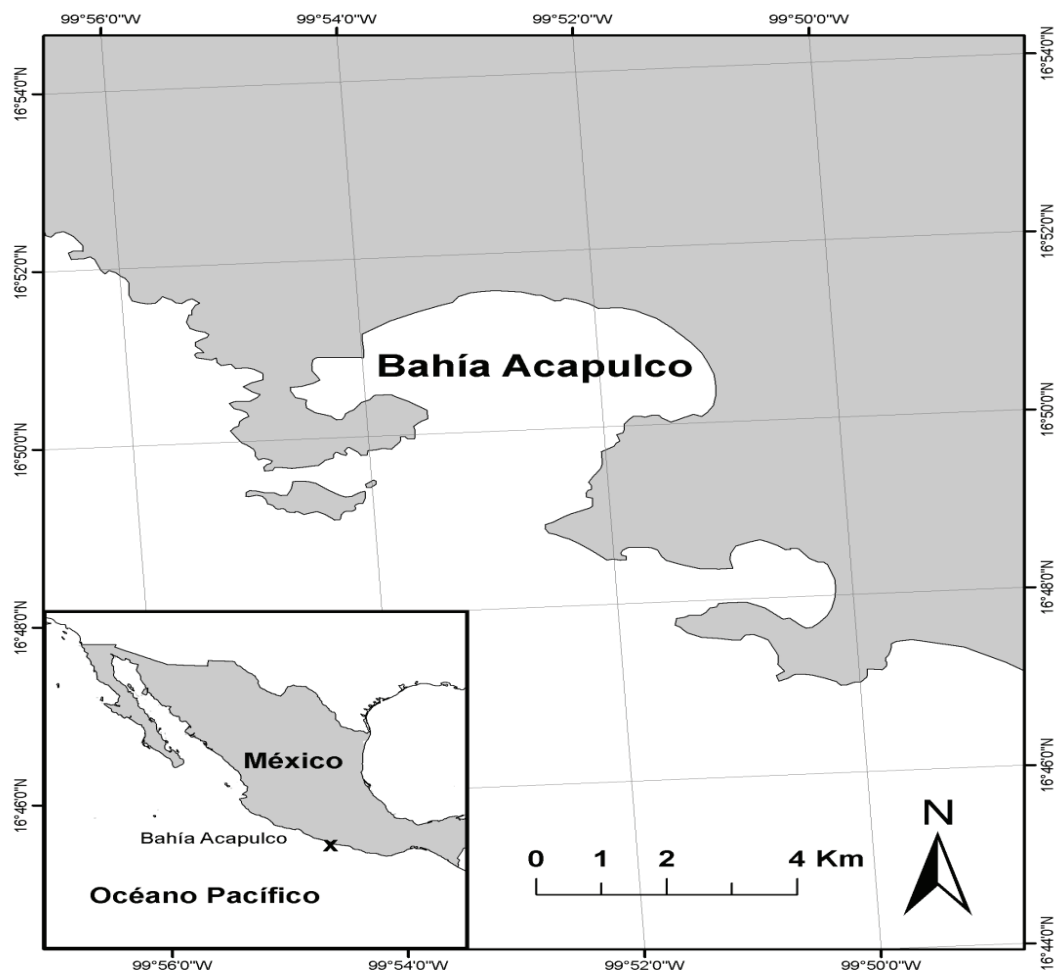


Figura 1. Área de estudio, zona de pesca de *I. platypterus* en Bahía de Acapulco, México

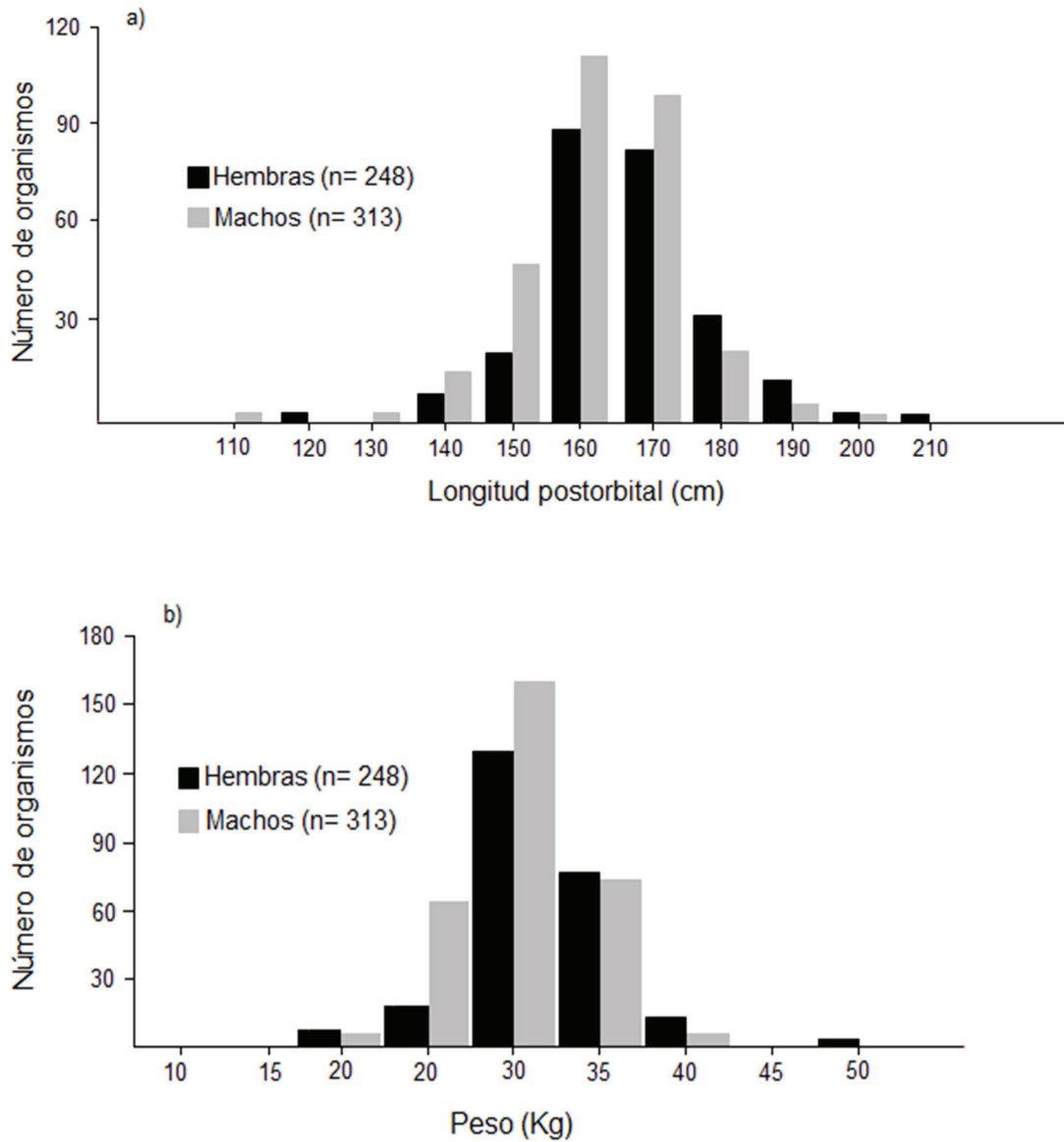


Figura 2. Distribución de frecuencia de clases de tallas y pesos de *I. platypterus*. a) Tallas (cm). b) Peso (kg).

**Tabla 1.** Análisis de varianza para contrastar las tallas y los pesos de hembras y machos de *I. platypterus*.

Talla	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	553.469	1	553.469	668.076	0.001
Intra-grupos	449.664	559	0.804		
Total	1003.113	560			
Peso	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	1694.998	1	1694.998	2738.686	0.001
Intra-grupos	345.970	559	0.619		
Total	2040.969	560			



**Tabla 2.** Frecuencia de hembras y machos, valores de  $\chi^2$  y proporción de sexos mensual durante el periodo de estudio de *I. platypterus*.

Mes	Hembras	Machos	Total	$\chi^2$	Proporción H/M	p
mar-08	4	5	9	0.11	0.80:1	>0.05
abr-08	9	4	13	1.92	2.25:1	>0.05
may-08	8	8	16	0	1.00:1	>0.05
jun-08	39	21	60	<b>5.4*</b>	1.85:1	<0.05
jul-08	17	10	27	1.81	1.70:1	>0.05
ago-08	16	7	23	3.52	2.28:1	>0.05
sep-08	2	7	9	2.78	0.28:1	>0.05
oct-08	9	26	35	<b>8.26*</b>	0.34:1	<0.05
nov-08	13	20	33	1.48	0.65:1	>0.05
dic-08	21	41	62	<b>6.45*</b>	0.51:1	<0.05
ene-09	11	18	29	1.69	0.61:1	<0.05
mar-09	7	6	13	0.08	1.16:1	>0.05
abr-09	10	21	31	<b>3.90*</b>	0.47:1	<0.05
jul-09	4	15	19	<b>6.36*</b>	0.26:1	<0.05
ago-09	5	10	15	1.67	0.50:1	>0.05
sep-09	6	12	18	2	0.50:1	>0.05
oct-09	5	21	26	<b>9.85*</b>	0.23:1	<0.05
nov-09	26	26	52	0	1.00:1	>0.05
dic-09	36	24	60	2.4	1.5:1	>0.05

Nota: El asterisco indica diferencia significativa de la proporción 1:1 ( $p < 0.05$ ), en negrita los meses con proporción sexual significativamente diferente.

La variación de los valores del IGS y su relación con la temperatura se presenta en la figura 3, el coeficiente de correlación entre ambas variables fue  $r_s = 0.338$ ,  $p = 0.183913$ . Los valores más bajos del IGS se presentaron de marzo a junio de 2008 (menores a 1%), cuando los valores promedio de la temperatura del agua fluctuaron entre los 27.5

y 29 °C. Durante 2008 los valores más elevados del IGS se presentaron de agosto a octubre (4.3% y 5.4% respectivamente. En el año 2009, los valores más altos del IGS ocurrieron en agosto) (entre 4.3% y 5.4%), en donde se registraron temperaturas promedio entre los 29 y 31.5°C.

**Tabla 3.** Características histológicas de las fases de desarrollo de los ovarios de *I. platypterus*.

Fase de desarrollo ovárico	Descripción de ovocitos	Fases de ovocitos	Diámetro de los ovocitos
Reposo	Ovogonias y ovocitos en crecimiento primario, incluye cromatina nuclear y ovocitos perinucleares.	Cromatina nuclear	27.44±0.14
		Ovocito perinuclear	42.47±0.1
Desarrollo	Ovocitos en crecimiento primario pero con alveolos corticales, fase temprana de producción de vitelo y citoplasma visiblemente granuloso.	Alveolo cortical	52.15±0.08
		Vitelogénesis primaria	75.15±0.08
Madurez	Ovocitos vitelogénicos presentes, con alto potencial de desove. Están hidratados y con un visible crecimiento con respecto a la fase anterior.	Vitelogénesis avanzada	245.22±0.07
		Núcleo migratorio	157.41±0.17
Desove	Se presentan folículos posovulatorios y en menor proporción ovocitos hidratados, por tanto la fecundidad es indeterminada.	Hidratados	182.41±0.14
Posdesove	Atresias delta presentes, vasos sanguíneos y paredes de los ovocitos considerablemente dilatados, ovogonias y ovocitos en crecimiento primario.		

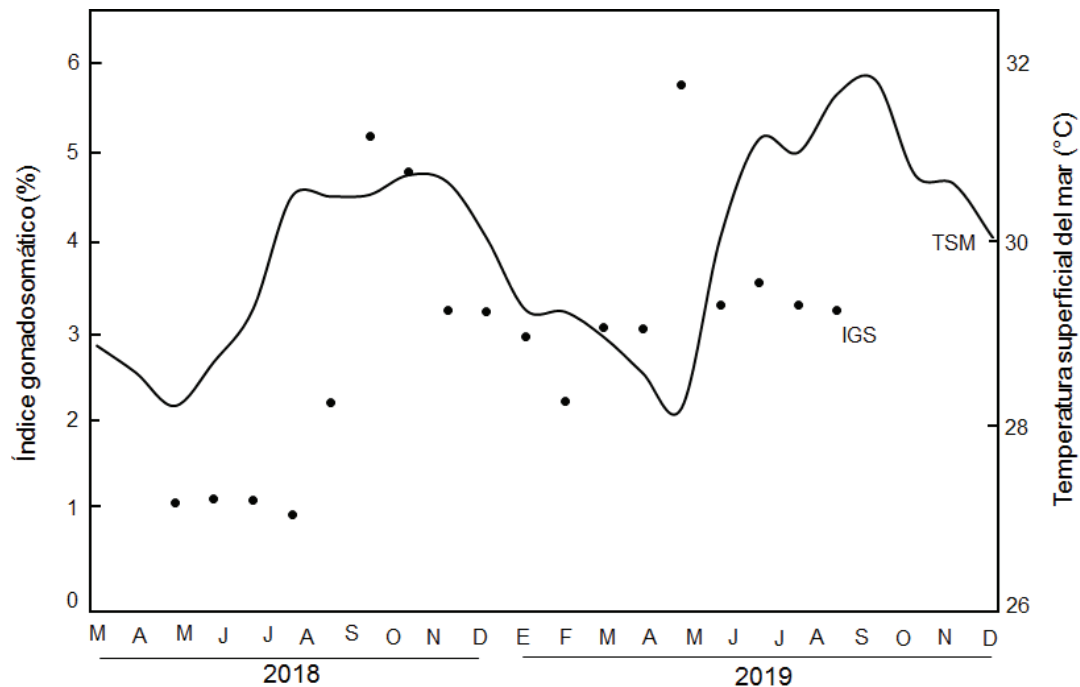


Figura 3. Variación mensual del índice gonadosomático de hembras de *I. platypterus* en la Bahía de Acapulco, México. En algunos meses no fue posible obtener datos biométricos.

En la Tabla 3 se muestra una descripción detallada de las cinco fases de desarrollo identificadas y los promedios de los diámetros de los ovocitos. Asimismo, en la figura 4 se presentan las características histológicas de las cinco fases de desarrollo.

En la figura 5 se presentan los porcentajes de hembras de *I. platypterus* en las diferentes fases de desarrollo gonádico y los registros de temperaturas promedio durante el periodo de estudio. Así durante los dos años de muestreo se observaron hembras en fase de madurez de julio a diciembre; sin embargo, la mayor frecuencia (>60%) se presentó durante los meses más cálidos (agosto, septiembre y octubre), en donde se registraron temperaturas promedio entre 29 y 31.5°C. Los organismos en reposo se presentaron en casi todos los meses, pero con mayor frecuencia durante los meses con menor temperatura (marzo a mayo y octubre diciembre).

La talla de primera madurez ( $LP_{50\%}$ ) para las hembras de pez vela capturados en la Bahía de Acapulco fue a los 164.8 cm de longitud posorbital (Fig. 6). Sin embargo, se encontraron peces que maduraron desde los 133 cm de LP y 19 kg peso húmedo.

Para la estimación de la fecundidad parcial, fueron seleccionados 14 ovarios los cuales presentaron ovocitos con elevado grado de hidratación (todos clasificados dentro de categoría hembras maduras). Las tallas y pesos de dichas hembras fluctuaron entre 139 y 169 cm de longitud postorbital y entre 26 y 36 kg de peso húmedo. La fecundidad parcial estimada osciló entre  $0.330$  y  $2.092 \times 10^6$  ovocitos con un promedio de  $1.07 \times 10^6$  ovocitos por temporada de desove (Tabla 4). No se encontró una relación lineal significativa de la talla y el peso con la fecundidad parcial de los organismos (Fig. 7).

## DISCUSIÓN

Durante los años 2008 y 2009 se obtuvieron un total de 561 organismos, con un porcentaje mayor de machos ( $n=313$ ) que de hembras ( $n=248$ ), esta mayor proporción de machos ha sido reportada previamente en otras áreas de distribución del pez vela (Jolley, 1977; Chiang *et al.*, 2004; Chiang *et al.*, 2006a; Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2006; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013). Se argumenta que esta proporción puede beneficiar el evento reproductivo al tener mayor probabilidad de fertilización, debido a que se ha observado que varios machos pueden fecundar a la misma hembra durante un solo evento reproductivo (Beardsley *et al.*, 1975; Hempel, 1979).

Basados en análisis histológicos, algunos estudios han identificado entre cinco (Jolley 1977; Hernandez-Herrera & Ramírez-Rodríguez 1998; González-Armas *et al.* 2006; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.* 2013; Mourato *et al.* 2018) y siete fases de desarrollo ovárico en el pez vela (De-Sylva & Breder, 1997; Chiang *et al.*, 2006a). Sin embargo, ninguno de estos trabajos es estrictamente comparable debido a la diversidad de estrategias y diseños de muestreo utilizados para la obtención de los organismos analizados, así como por diferencias en las metodologías empleadas para la estimación de los parámetros reproductivos de la especie. En este contexto la clasificación descrita en el presente estudio es el resultado de un trabajo de revisión de clasificaciones publicadas de la especie y de las características propias de las hembras de la Bahía de Acapulco, México. Con base en lo anterior fue posible diferenciar cinco fases de desarrollo gonádico: 1) reposo, 2) desarrollo, 3) madurez, 4) desove y 5) posdesove).

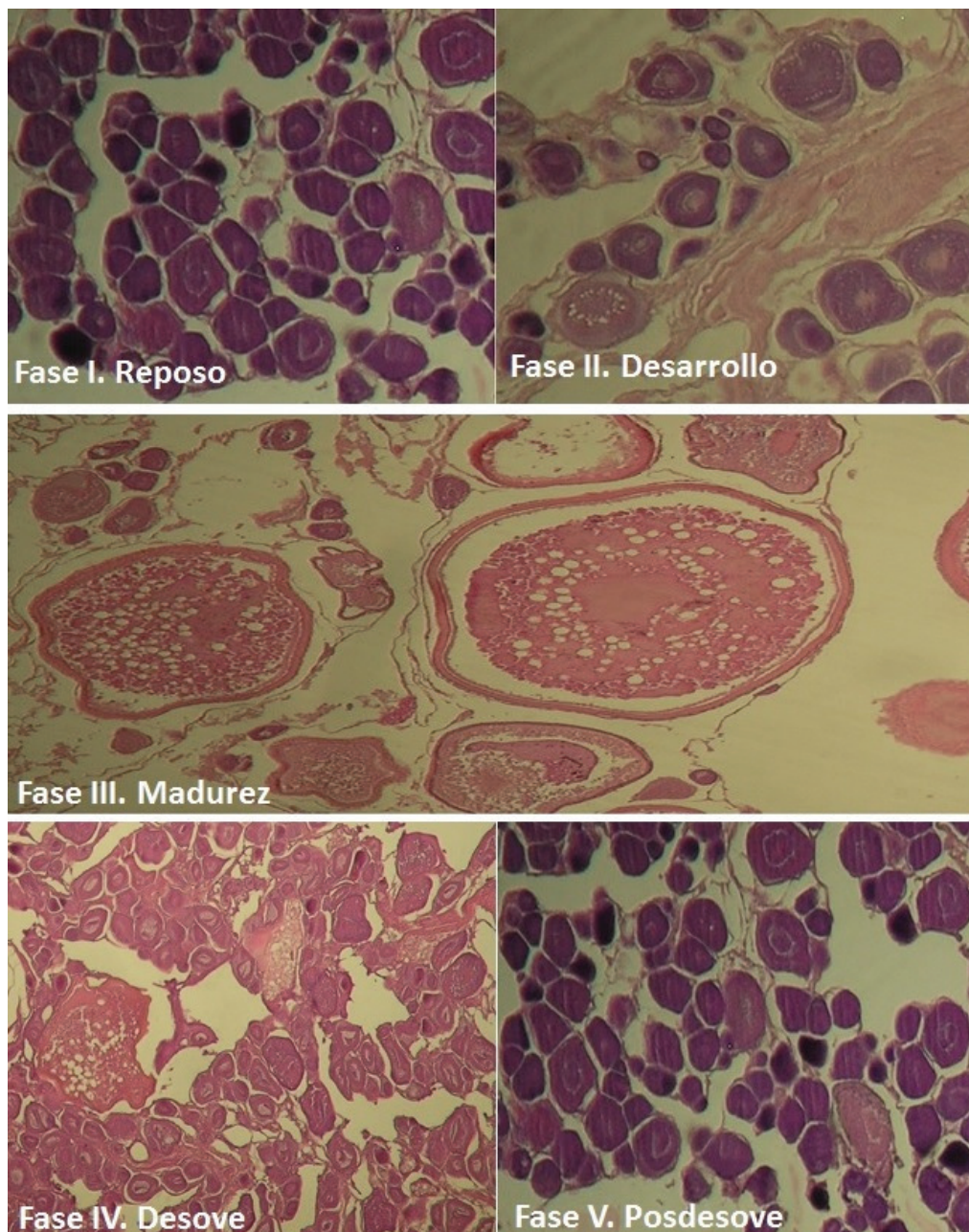


Figura 4. Fotomicrografías del ovario de *I. platypterus* mostrando las diferentes fases del desarrollo de las gónadas.

El análisis histológico permitió identificar ovocitos en diferentes grados de desarrollo en una misma hembra, lo anterior ya ha sido reportado por Jolley (1977), Chiang *et al.* (2006b), González-Armas *et al.* (2006), Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.* (2013) y Mourato *et al.* (2018), lo cual valida de alguna manera la condición de un desarrollo sincrónico por grupos de la especie. Asimismo, se pudo observar que en una misma gónada se presentaron ovocitos en máximo grado de hidratación y folículos posovulatorios, lo cual se constituye como evidencia de un desove reciente y la inminente liberación de ovocitos. Este hecho permite definir al pez vela como un desovador parcial múltiple, ya que en una misma temporada reproductiva puede desovar en varias ocasiones.

En este sentido, Jolley (1977) reportó que el pez vela puede desovar al menos tres veces durante una temporada reproductiva y el desfase entre un desove y otro es de alrededor de dos días (Chiang *et al.*, 2006b). Sin embargo, Hernández-Herrera *et al.* (2000) propusieron que la presencia de ovocitos hidratados y folículos posovulatorios recientes en una misma gónada (condición del presente estudio), es evidencia de un periodo entre desoves, más corto, tal y como se presenta en el barrilete negro *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758), donde se ha estimado un periodo de tiempo entre desoves de 12 a 24 horas (Hunter *et al.*, 1986).

Una primera aproximación para describir algunos aspectos reproductivos en teleósteos es el uso de diferentes índices morfofisiológicos, entre ellos el índice gonadosomático (IGS), el cual ha sido utilizado ampliamente en estudios dirigidos a la descripción de los aspectos reproductivos del pez vela, desde los trabajos pioneros hasta los más recientes (*e.g.* Eldridge & Wares, 1974; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013). En el presente estudio el IGS permitió confirmar la época reproductiva de las hembras del pez vela, ya que durante el periodo de agosto a octubre se registró un elevado porcentaje de gónadas con IGS altos (IGS= 6.9), mientras que las gónadas en estado de reposo (IGS= 0.33) se presentaron principalmente en los meses menos cálidos.

Diversos autores han considerado que la temporada reproductiva de *I. platypterus* se presenta durante los meses más cálidos del año, los cuales corresponden a las estaciones de verano y otoño en el hemisferio norte, hecho que pudiera estar directamente relacionado con la temperatura superficial del mar (TSM) (Voss, 1953; Merret, 1970; Eldridge & Wares, 1974; Beardsley *et al.*, 1975; Jolley, 1977; Barcelata-Ortiz *et al.*, 1990; Pimenta *et al.*, 1995; De-Sylva & Breder, 1997; Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez, 1998; Chiang *et al.*, 2006b; González-Armas *et al.*, 2006; Cerdaneres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013).

**Tabla 4.** Valores estimados de fecundidad parcial por hembra de *I. platypterus* capturadas en la Bahía de Acapulco, México.

Hembra	Longitud posorbital (cm)	Peso (kg)	Peso ovario (g)	Fecundidad parcial
1	139	26	3,354	1,915,013
2	153	30	985	630,201
3	156	28	2,300	1,518.755
4	156	29	2,530	1,151,614
5	157	28	1,250	593,654
6	157	28	1,250	557,261
7	159	27	1,775	1,002,410
8	160	31	2,315	1,508,317
9	160	26	3,660	2,092,178
10	161	31	777	330,314
11	167	36	3,420	1,441,758
12	167	35	976	364,191
13	167	28	982	394,530
14	169	36	1,850	1,528,494

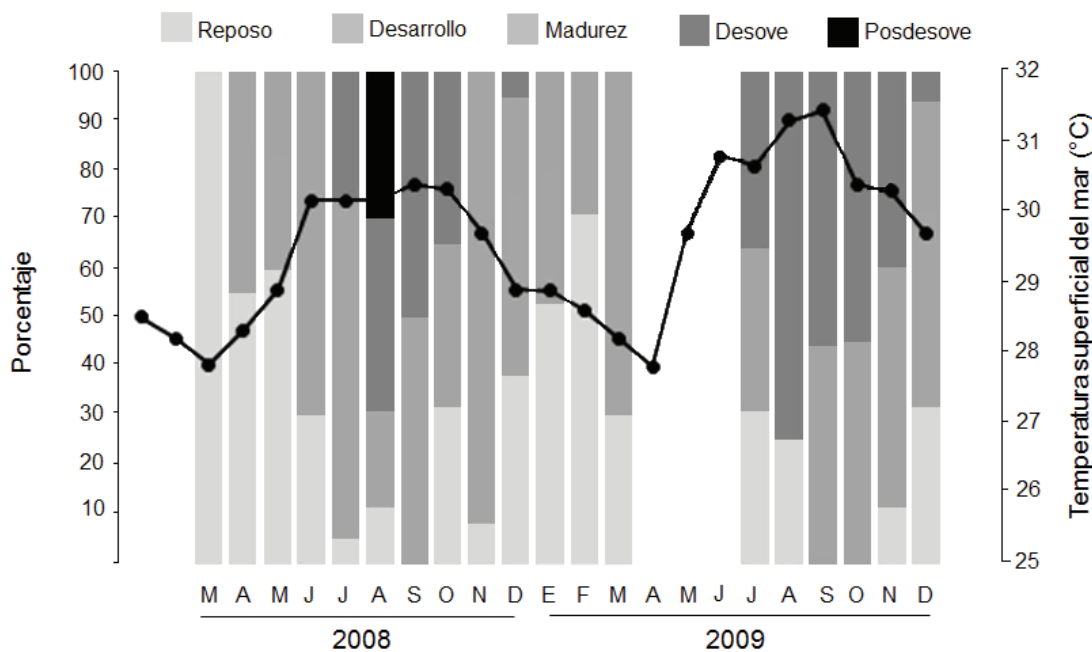


Figura 5. Porcentaje de hembras de *I. platypterus* en las diferentes fases de desarrollo gonádico y registros de temperaturas promedio durante el periodo de muestreo (2008 y 2009).



**Tabla 5.** Época reproductiva, talla promedio de madurez y fecundidad de *I. platypterus* en diferentes sitios de su distribución. En el caso de lo reportado por Jolley (1977) y González-Armas *et al.* 2006, los datos se refieren a la talla de inicio de madurez.

Estudio	Área	Época reproductiva	Talla promedio de madurez (cm)	Fecundidad (millones)
Jolley (1977)	Sureste de Florida	Verano y otoño	120	4.8
Hernández-Herrera y Ramírez-Rodríguez (1998)	Pacífico mexicano	Verano y otoño	175	N/D
González-Armas <i>et al.</i> , (2006)	Sur del Golfo de California	Julio y septiembre	146	N/D
Chiang <i>et al.</i> (2006a)	Este de Taiwan	Abril a septiembre	166	N/D
Cerdenares-Ladrón de Guevara <i>et al.</i> (2013)	Golfo de Tehuantepec, México	Septiembre y octubre	150.2	N/D
Mourato <i>et al.</i> (2018)	Brasil	Abril a octubre (pico en verano)	146.2	0.436-2.4
*Presente estudio	Bahía de Acapulco, México	Verano y otoño	162	1.07 (promedio)

Nota: N/D (Fecundidad no determinada)

En la literatura se ha propuesto que la TSM es uno de los principales factores que promueven la ovogénesis y vitelogénesis (*e.g.* Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez, 1998; Chiang *et al.*, 2006b, Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013). La presencia de hembras maduras se detectó durante la temporada cálida (agosto, septiembre y octubre), cuando los valores de temperatura variaron entre los 29 y los 31.5°C, valores que son ligeramente superiores a los reportados por Hernández-Herrera & Ramírez-Rodríguez (1998) de 27 a 30°C frente a las costas del Pacífico de mexicano (Baja California Sur, Sinaloa, Jalisco y Colima).

Lo anterior demuestra la necesidad de realizar una mayor cantidad de estudios enfocados a comprender de mejor forma la estructura vertical y las características físicas de las masas de agua, lo cual pudiera a su vez ayudar a explicar el por qué el pez vela se reproduce en esta área durante un periodo determinado del año (Jalabert, 2005; Chiang *et al.*, 2006a).

La talla promedio de madurez o talla media, se define como la talla a la cual el 50% de los individuos están maduros. Esta talla puede variar dentro de una misma especie y puede variar espacial o temporalmente (Sparre & Venema, 1995). Ejemplo de esto son los diferentes estudios enfocados en el pez vela donde se determinan tallas de primera madurez muy variables entre sí (Tabla 5); como el realizado por Eldridge & Wares (1974) quienes reportan un intervalo de 160 a 165 cm de longitud furcal, por otro lado, Jolley (1977) menciona que el pez vela madura al llegar a los 120 cm; Nakano & Bayliff (1992) indicaron que la hembra madura más pequeña se encontró dentro de la clase de talla de 121 a 130 cm de longitud ojo-furca y Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.* (2013) documentaron una talla de 150.2 cm de longitud posorbital en las costas de Oaxaca, México.

La talla promedio de madurez (LP<sub>50%</sub>) estimada en el presente estudio fue de 164.8 cm de longitud posorbital, la cual en términos generales está por encima de los valores reportados por otros au-

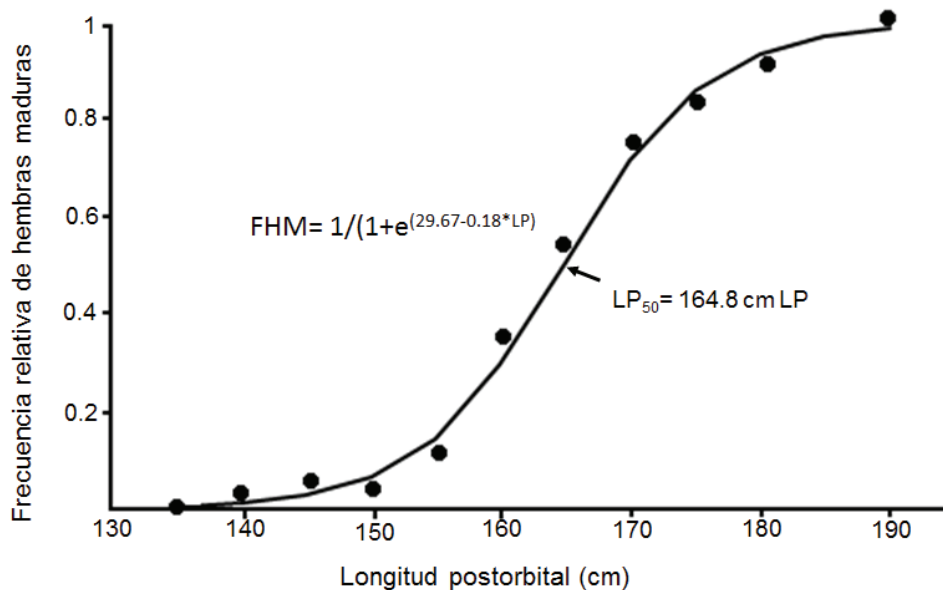


Figura 6. Talla promedio de madurez (LP<sub>50%</sub>) de hembras de *I. platypterus* capturados en la Bahía de Acapulco, México.



tores (Eldridge & Wares, 1974; Jolley, 1977; Nakano & Bayliff, 1992; Cerdanarés-Ladrón de Guevara *et al.*, 2013). Un factor importante a considerar para explicar estas diferencias es el origen de las muestras en cada uno de los diferentes estudios. Por ejemplo, en el estudio de Cerdanarés-Ladrón de Guevara *et al.* (2013), la mayoría de los peces provienen de la pesca artesanal, mientras que en la presente investigación las muestras tienen origen en la pesca deportiva, la cual tiene por objetivo conseguir ejemplares de tallas grandes, situación que pudiera influir en la estimación de la talla promedio de madurez; esto es,

en el presente estudio las tallas de los ejemplares analizados son las más grandes de todos los estudios realizados. También es importante tomar en consideración lo señalado por Saborido & Junquera (2000), quienes mencionaron que los cambios en las tallas de maduración, pueden estar relacionados a diversos factores como son las variaciones en los parámetros de crecimiento por individuos y por cohorte, aunado al comportamiento de los factores ambientales y a la disponibilidad del alimento.

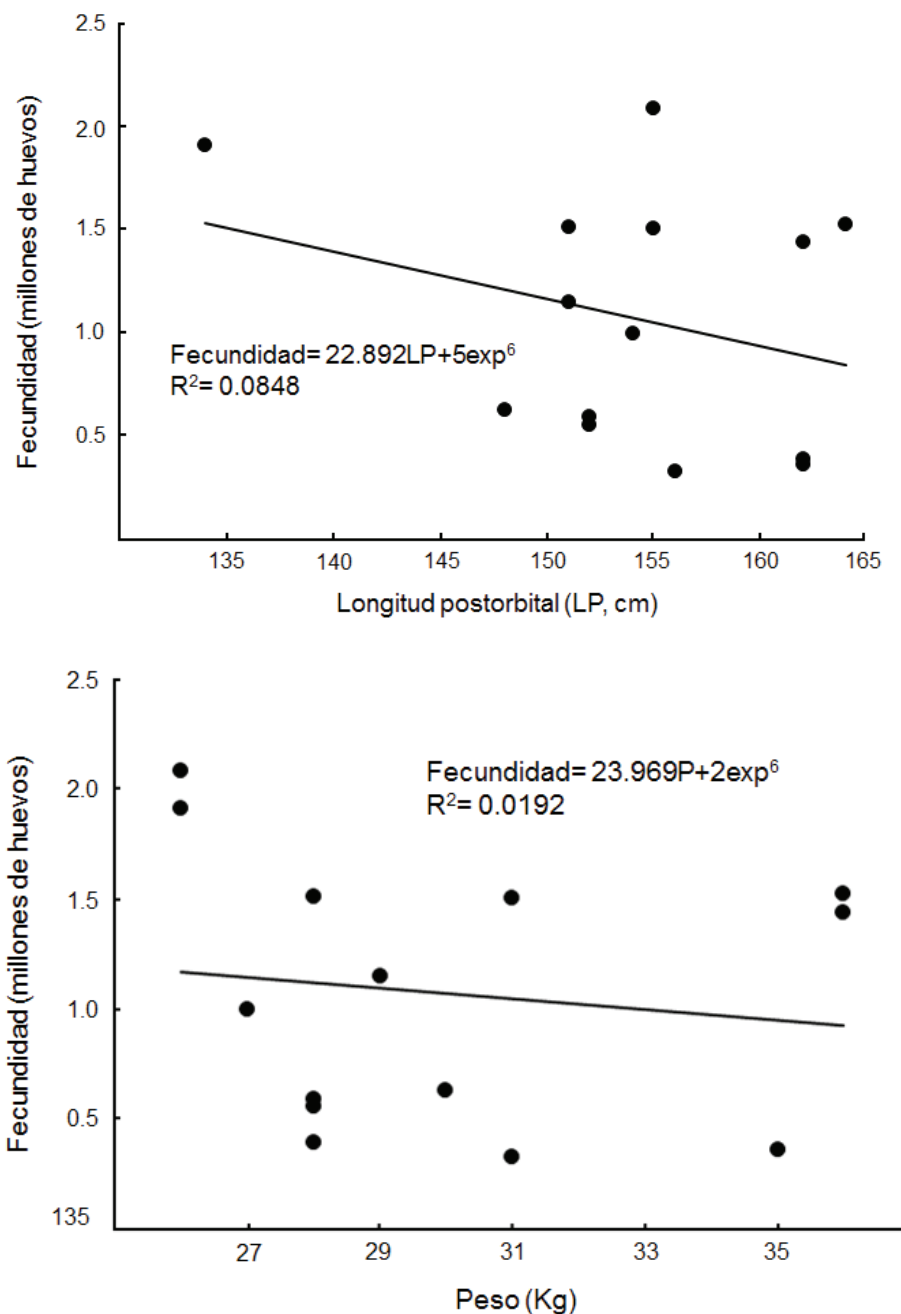


Figure 7. Relación entre la fecundidad parcial de *I. platypterus* y la longitud posorbital y el peso total.

Por otro lado, se contempla de forma particular el aspecto de los cambios latitudinales, por ejemplo, información derivada del proyecto “Biología y dinámica poblacional del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw & Nodder, 1792) en el Pacífico mexicano (SEP/CONACYT 60376)”, evidenció un gradiente latitudinal en el factor de condición corporal del pez vela, dicho patrón resume que los peces de mayor tamaño son capturados en las costas más sureñas del Pacífico mexicano (Anónimo, 2012).

La fecundidad estimada para el pez vela ha sido muy variable entre los diversos estudios; las cuales van de entre 0.436 y 19.500 x 10<sup>6</sup> ovocitos por desove (Ovchinnikov, 1970; Eldridge & Wares, 1974; Jolley, 1974; Beardsley *et al.*, 1975; Jolley, 1977; Hernández-Herrera *et al.*, 2000; Chiang *et al.*, 2006a; Mourato *et al.*, 2018). Esta variación puede estar relacionada a la metodología utilizada en cada estudio, o al grupo de talla-edad utilizada, o incluso a las variaciones microambientales de cada sitio de estudio. Diversos estudios han mostrado que la fecundidad está estrechamente relacionada con la edad o el tamaño de los individuos analizados, lo cual ha sido reportado también para el pez vela *I. platypterus* (Chiang *et al.*, 2006a). Sin embargo, en este estudio se encontró que la fecundidad del pez vela no tuvo una relación significativa con la talla, lo cual ya ha sido reportado para esta especie en varias localidades del Pacífico mexicano (Hernández-Herrera *et al.* (2000), que incluyen las costas de Puerto Vallarta y Manzanillo, dos sitios relativamente cercanos al del presente estudio. Una explicación a esta falta de relación de la fecundidad con la talla, tal vez se deba a que no se analizaron las tallas más grandes reportadas para esta especie (Hernández-Herrera *et al.*, 2000). Los resultados del presente trabajo al igual que a los reportados por Hernández-Herrera *et al.* (2000) coincidieron en el hecho de que no hay significancia estadística en la aparente relación entre las mayores tallas con los valores más altos de fecundidad.

En conclusión, se puede establecer que la población del pez vela que se desembarca en la localidad de Acapulco, México, está compuesta de machos (55.8%) y hembras (44.2%), en donde el desarrollo gonádico por grupos puede ser descrito en cinco fases de desarrollo ovárico, con un máximo reproductivo durante los meses cálidos del año y una fecundidad relativamente alta.

## AGRADECIMIENTOS

Todos los autores agradecen el financiamiento económico para la realización de la presente investigación recibido a través de los proyectos IPN-SIP 20091357 y 2010723 y SEP-CONACYT/60376. SBHA agradece al Instituto Politécnico Nacional y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, por las becas recibidas para realizar sus estudios de posgrado. LAAC, XGMS, VHCE, MTFV, MAM y BPCV, agradecen los apoyos recibidos a través de los Programas Institucionales del IPN: Estímulo al Desempeño de los Investigadores (EDI) y Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas (COFAA).

## LITERATURA CITADA

- ARIZMENDI-RODRÍGUEZ, D., L. A. ABITIA-CÁRDENAS, F. GALVÁN-MAGAÑA & I. TREJO-ESCAMILLA. 2006. Food habits of sailfish *Istiophorus platypterus* of Mazatlan, Sinaloa, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 79 (3): 777-791.
- BARCELATA-ORTIZ, M., DE LA O-GIRÓN J. & L. GONZÁLEZ-MARQUEZ. 1990. Aspectos reproductivos de las especies: pez vela *Istiophorus platypterus* y dorado *Coryphaena hippurus* capturados en costas de Mazatlán Sinaloa en 1988. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa. Sinaloa, México. 85 p.
- BEARDSLEY, G., N.R. MERRET & W. RICHARDS. 1975. Synopsis of the biology of the sailfish *Istiophorus platypterus*. (Shaw & Nodder, 1971). In: Shomura, R. S. & F. Williams (eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium. Parte 3. Species synopses*. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech. Rep. NMFS-SSRF-675, Washington DC, pp. 95-120.
- CERDENARES-LADRÓN DE GUEVARA, G., E. MORALES-BOJÓRQUEZ, C. RODRÍGUEZ-JARAMILLO, A. HERNÁNDEZ-HERRERA & L. A. ABITIA-CÁRDENAS. 2013. Seasonal reproduction of sailfish *Istiophorus platypterus* from the southeast Mexican Pacific. *Marine Biology* 9 (4): 407-420. DOI:10.1080/17451000.2012.742545
- CHIANG, W. C., C. L. SUN, S. Z. YEH & W. C. SU. 2004. Age and growth of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan. *Fishery Bulletin* (102): 251-263.
- CHIANG, W. C., C. L. SUN, S. Z. YEH, W. C. SU, D. C. LIU & W. Y. CHEN. 2006a. Sex ratios, size at sexual maturity, and spawning seasonality of sailfish *Istiophorus platypterus* from Eastern Taiwan. *Bulletin of Marine Science* (79): 727-737.
- CHIANG W. C., C. L. SUN, S. Z. YEH, W. C. SU & D. C. LIU. 2006b. Spawning frequency and batch fecundity of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan. *Zoological Studies* (45): 483-490.
- DE-SYLVA, D. P. & P. R. BREDER. 1997. Reproduction, gonad histology, and spawning cycles of north Atlantic billfishes (Istiophoridae). *Bulletin of Marine Science* (60): 668-697.
- ELDRIDGE, M. B. & P. G. WARES. 1974. Some biological observations of billfish taken in the eastern Pacific Ocean 1967-1970. In: Shomura, R. S. & F. Williams (eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium. Part 2*. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech. Rep. NMFS-SSRF-675, Washington DC, pp. 89-101.
- GONZÁLEZ-ARMAS, R., A. KLETT-TRAUlsen & A. HERNÁNDEZ-HERRERA. 2006. Evidence of billfish reproduction in the southern Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science* (79): 705-717.
- HEMPEL, G. 1979. *Early life history of marine fish: the egg stage*. University of Washington Press, Seattle. 70 p.
- HERNÁNDEZ-AGUILAR, S. B., L. A. ABITIA-CÁRDENAS, X. G. MORENO-SÁNCHEZ, M. ARELLANO-MARTÍNEZ & E. GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ. 2013. Trophic spectrum of the sailfish *Istiophorus platypterus* caught off the Acapulco in the southern Mexican Pacific. *Journal of Marine Biological Association United Kingdom* 93 (4): 1097-1104. DOI:10.1017/S0025315412001622
- HERNÁNDEZ-HERRERA, A. & M. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ. 1998. Spawning seasonality and length maturity of sailfish (*Istiophorus platypterus*) off the Pacific coast of Mexico. *Bulletin of Marine Science* (63): 459-467.
- HERNÁNDEZ-HERRERA, A., M. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ & A. MUHLIA-MELO. 2000. Batch fecundity and spawning frequency of sailfish *Istiophorus platypterus* off the Pacific coast of Mexico. *Pacific Science* (54): 189-194.

- HUNTER, J. R., N. LO & R. LEONG. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: Lasker, R. (ed.). *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy*. NOAA Technical Report 36, pp. 67-77.
- HUNTER, J. R., B. J. MACEWICZ & J. R. SIBERT. 1986. The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the south Pacific. *Fishery Bulletin* (84): 895-903.
- JALABERT, B. 2005. Particularities of reproduction and oogenesis in teleost fish compared to mammals. *Reproduction, Nutrition and Development* (45): 261-279. DOI:10.1051/rnd:2005019
- JOLLEY, JR. J. W. 1974. On the biology of Florida east coast Atlantic sailfish (*Istiophorus platypterus*). In: Shomura, R. S. & F. Williams (eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium. Part 2*. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech. Rep. NMFS-SS-RF-675, Washington DC, pp. 81-88.
- JOLLEY, JR. J. W. 1977. The biology and fishery of Atlantic sailfish *Istiophorus platypterus* from southeast Florida. St. Petersburg, FL. *Florida Marine Research Publications* (28): 1-31.
- KUME, S. & J. JOSEPH. 1969. The Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the Eastern Pacific Ocean, East of 130°W, 1964-1966. *Inter-American Tropical Tuna Commission* 13 (2): 277-418.
- MERRET, N. R. 1970. Gonad development in billfish (Istiophoridae) from Indianocean. *Journal of Zoology* 160 (3): 355-370. DOI:10.1111/j.1469-7998.1970.tb03086.x
- MİYABE, N. & W. H. BAYLIFF. 1987. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1971-1980. *Inter-American Tropical Tuna Commission* 19 (1): 1-163.
- MOURATO, B. L., M. NARVAEZ, A. F. DE AMORIM, H. HAZIN, F. CARVALHO, F. HAZIN & F. AROCHA. 2018. Reproductive biology and space-time modelling of spawning for sailfish *Istiophorus platypterus* in the Eastern Atlantic Ocean. *Marine Biology Research* 14 (3): 269-286. DOI:10.1080/17451000.2017.1407873
- NAKAMURA, I. 1985. *FAO, Species catalogue Vol. 5 Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfish, spearfish and swordfish know to date*. FAO Fish Synopsis. Rome. 65 p.
- NAKANO, N. & W. H. BAYLIFF. 1992. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1981-1987. *Inter-American Tropical Tuna Commission* (20): 187-355.
- Norma Oficial Mexicana NOM-017-PESC-1994. Para regular las actividades de pesca deportiva recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Agosto 23: 1-4.
- OSUNA-FLORES, I. 1991. Análisis de la pesquería del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1791) en el océano Pacífico oriental con énfasis en la zona económica exclusiva de México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). B.C.S, México. 100 p.
- OVCHINNIKOV, V. 1970. *Swordfishes and billfishes in the Atlantic Ocean: ecology and functional morphology*. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. 77 p.
- SHINGU, C., P. K. TOMLINSO & C. L. PETERSON. 1974. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970. *Inter-American Tropical Tuna Commission* (16): 65-230.
- SOKAL, R. R. & F. J. ROHLF. 1979. *Biometry*. H. Blume Editors. Barcelona. 832 p.
- PIMENTA, E., G. LIMA, C. CORDEIRO, M. TARDELLI & A. AMORIM. 2005. Reproduction and stomach content analysis of sailfish, *Istiophorus platypterus* off Rio de Janeiro State, R. J. Brazil. *ICCAT: Collective Volume of Scientific Papers* 58 (5): 1589-1596.
- SABORIDO, F. & S. JUNQUERA. 2000. *Ecología de la Reproducción y Potencial Reproductivo en las Poblaciones de Peces Marinos*. Universidad de Vigo. 72 p.
- SPARRE, P. & S. C. VENEMA. 1995. *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. Parte I. FAO Documentos Técnicos de Pesca, Roma. 420 p.
- TAYLOR, R. & M. MURPHY. 1992. Reproductive biology of the swordfish *Xiphias gladius* in the Straits of Florida and adjacent waters. *Fishery Bulletin* (90): 809-816.
- UOSAKI, K. & W. H. BAYLIFF. 1999. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1988-1992. *Inter-American Tropical Tuna Commission* 21 (6): 273-488.
- VOSS, G. L. 1953. A contribution to the life history and biology of the sailfish, *Istiophorus americanus* Cuv. and Val., in Florida Waters. *Bulletin of Marine Science* (3): 206-240.

## Catálogo de calamares de la Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB)

### An annotated catalogue of squids of the Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos of the Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB)

Rocío Anaid Bravo-Muñoz<sup>1</sup>, Ricardo Pliego-Cárdenas<sup>2</sup> y Marina Sánchez-Ramírez<sup>1\*</sup>

**Recibido:** 05 de agosto de 2020.

**Aceptado:** 30 de noviembre de 2020.

**Publicado:** diciembre de 2020.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** Los calamares son un importante recurso pesquero en el mundo. De acuerdo con la literatura, que mayormente no está basada en registros puntuales, en México existen 117 especies de calamares. Aunque existen esfuerzos taxonómicos por conocer a las especies que habitan en México aún es necesario realizar estudios que permitan la determinación correcta de las especies. **Objetivo:** Realizar un catálogo de calamares que habitan en aguas mexicanas a partir de ejemplares depositados en la Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB) del Instituto Politécnico Nacional. **Métodos:** La identificación de los ejemplares fue llevada a cabo con claves y descripciones especializadas. **Resultados:** Fueron revisados 420 individuos correspondientes a 2 órdenes (Myopsida y Oegopsida), 4 familias (Loliginidae, Cranchidae, Enoploteuthidae y Ommastrephidae) y 13 especies. La mayoría de los ejemplares provienen del golfo de California y suroeste del golfo de México. **Conclusiones:** Se amplía el intervalo de distribución de *Lolliguncula diomedea* hasta el noroeste de la península de Baja California.

**Palabras clave:** Decapodiformes, diagnosis, inventario, taxonomía

#### ABSTRACT

**Background:** Squids are an important fishery resource around the world. According to references, which, generally, are not based on formal records, there are 117 species of squids in Mexico. Although taxonomic efforts to study squids from Mexico exist, research that allow the correct determination of species are still required. **Goals:** Make a catalogue of the species of squids inhabiting Mexican waters using specimens housed at the Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos of Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB), Instituto Politécnico Nacional. **Methods:** To identify specimens, we used taxonomic keys and descriptions. **Results:** The collection has 420 specimens corresponding to 2 orders (Myopsida and Oegopsida), 4 families (Loliginidae, Cranchidae, Enoploteuthidae and Ommastrephidae) and 13 species. Most individuals were collected in the Gulf of California and southwestern Gulf of Mexico. **Conclusions:** Geographic distribution range of *Lolliguncula diomedea* was extended to Northwest of Baja California peninsula.

**Keywords:** Decapodiformes, diagnosis, inventory, taxonomy

<sup>1</sup> Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos, Laboratorio de Ecología, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas. Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas. Alcaldía Miguel Hidalgo, Ciudad de México, 11340. México.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad 3000, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, 04510. México.

**\*Corresponding author:**

Marina Sánchez-Ramírez: e-mail: masanchezra@ipn.mx

**To quote as:**

Bravo-Muñoz, R. A., R. Pliego-Cárdenas & M. Sánchez-Ramírez. 2020. Catálogo de calamares de la Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB). *Hidrobiológica* 30 (3): 281-290.

## INTRODUCCIÓN

Sin lugar a duda la importancia de las colecciones científicas cada vez toma mayor relevancia por dos causas principales: 1) el peligro de extinción de las especies y 2) la conservación de éstas. Paradójicamente, el apoyo a estos recintos de información taxonómica y sistemática ha disminuido (Pyke & Ehrlich, 2010). Las colecciones biológicas son reservorios de especímenes recolectados en diferentes lugares y en distintos tiempos, de tal forma que representan la biodiversidad de una zona, región o país en un tiempo determinado. Esta información es relevante para la planeación de medidas de conservación e indudablemente, para estudios de biodiversidad (Ward, 2012).

La Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB), anteriormente Colección del Laboratorio de Ecología de la ENCB, tuvo su primer ingreso con material recolectado el 28 de julio de 1939 (Guzmán, 2011). El acervo provino de las prácticas de campo realizadas en los cursos de la Licenciatura de Biología que se imparten en la ENCB, de las investigaciones realizadas por los profesores y de donaciones de diversas instituciones académicas y del sector público. La colección también alberga lotes con ejemplares provenientes de otros países como Estados Unidos, Colombia, Cuba, Venezuela y Francia. La sección malacológica tiene aproximadamente 4,500 lotes con más de 20,000 ejemplares y a su vez está dividida en la colección de conchas y la colección “en espíritu” (organismos preservados en alcohol).

La diversidad de calamares en aguas territoriales mexicanas no está determinada del todo, pero de acuerdo con las distribuciones geográficas de especies registradas por Jereb & Roper (2010), Okutani (2015) y Judkins *et al.* (2009, 2016) existen aproximadamente 117 especies de calamares en aguas mexicanas. Ha habido una creciente especulación de que las poblaciones de cefalópodos están proliferando en respuesta a un entorno cambiante (Doubleday *et al.*, 2016); con base en lo anterior y considerando su importancia económica (Jereb & Roper, 2010) es relevante conocer y determinar las especies de calamares que habitan los océanos. Estudios sobre calamares distribuidos en México resaltan la necesidad de determinar correctamente a los taxones (Granados-Amores *et al.*, 2014; Díaz-Santana-Iturrios *et al.*, 2019). Los pocos estudios taxonómicos que existen han sido enfocados a la familia Loliginidae (Alejo-Plata *et al.*, 2001; Granados-Amores *et al.*, 2014; Hendrickx *et al.*, 2014; Díaz-Santana-Iturrios *et al.*, 2019) y a las especies de aguas profundas (Hendrickx *et al.*, 2015; Urbano & Hendrickx, 2018). Por tal motivo en este trabajo se presenta un catálogo de las especies de calamares depositados en la CPIME-ENCB, con el objetivo de contribuir a la taxonomía de este recurso pesquero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron revisados 420 ejemplares de calamares preservados en alcohol al 70%, en 111 lotes pertenecientes a la CPIME-ENCB. Los ejemplares fueron determinados con la siguiente literatura: Okutani (1980, 2015), Jereb & Roper (2010) y Granados-Amores *et al.* (2014). El arreglo sistemático presentado es el propuesto por Young *et al.* (2019) para niveles superiores a orden y por Vecchione & Young (2016) para las categorías inferiores. Las especies fueron determinadas utilizando los datos morfométricos e índices morfológicos: la longitud del manto (LM); la longitud y el ancho de las aletas (LA y AA, respectivamente); el ancho de la vaina (AV); el ancho del raquis (AR); índice del ancho de las aletas

(AA/LMx100); índice de la longitud de las aletas (LA/LMx100); índice del gladio (AV/AR). Para algunas especies son registrados, debido a su importancia taxonómica, los siguientes datos merísticos: el número de filas de ventosas en el tentáculo, el número de dientes en los anillos de las ventosas, el número de fotóforos presentes en los ojos y la fórmula de los brazos. Con los ejemplares depositados se realizaron descripciones utilizando los datos merísticos, morfométricos e índices morfológicos señalados anteriormente. Así mismo son mencionadas la localidad y el número de lote asignados en dicha colección.

## RESULTADOS

Los ejemplares de calamares alojados en la CPIME están incluidos en 111 lotes y están representados en dos órdenes, cuatro familias y 13 especies (Tabla 1). *Lolliguncula panamensis* (Berry, 1911) es la especie con más representantes en la colección para el Pacífico mexicano, seguida de *Doryteuthis opalescens* (Berry, 1911) y *Lolliguncula diomedae* (Hoyle, 1904). Para el golfo de México *Lolliguncula brevis* (Blainville, 1823) es la que tiene más ejemplares en la colección.

Los ejemplares de este estudio fueron recolectados mayormente en los estados del noroeste de México. Por litoral mexicano: Veracruz en el golfo de México (31) y Sinaloa en el Pacífico mexicano (27), son los que tienen más registros de calamares (Fig. 1).

### Elenco sistemático

#### Clase Cephalopoda

#### Subclase Coleoidea

#### Orden Myopsida

#### Familia Loliginidae

#### *Doryteuthis opalescens* (Berry, 1911) (Fig. 2 A)

Tabla 1. Especies depositadas en la Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos de la ENCB-IPN.

Orden	Familia	Especie	*A/B
Myopsida	Loliginidae	<i>Doryteuthis opalescens</i> (Berry, 1911)	78/8
		<i>Doryteuthis pealeii</i> (Lesueur, 1821)	35/ 12
		<i>Doryteuthis plei</i> (Blainville, 1823)	34/11
		<i>Lolliguncula brevis</i> (Blainville, 1823)	53/19
		<i>Lolliguncula diomedae</i> (Hoyle, 1904)	64/13
		<i>Lolliguncula panamensis</i> (Berry, 1911)	132/35
		<i>Sepioteuthis sepioidea</i> (Blainville, 1823)	1/1
Oegopsida	Cranchiidae	<i>Cranchia scabra</i> (Leach, 1817)	1/1
		<i>Leachia danae</i> (Joubin, 1931)	2/1
		<i>Leachia pacifica</i> (Issel, 1908)	4/1
		<i>Abrialopsis affinis</i> (Pfeffer, 1912)	4/2
		<i>Abrialopsis falco</i> (Young, 1972)	5/2
Ommastrephidae	<i>Dosidicus gigas</i> (d'Orbigny, 1835)	7/5	
		Total	420/111

\*A/B. A= Número de ejemplares; B= Número de registros



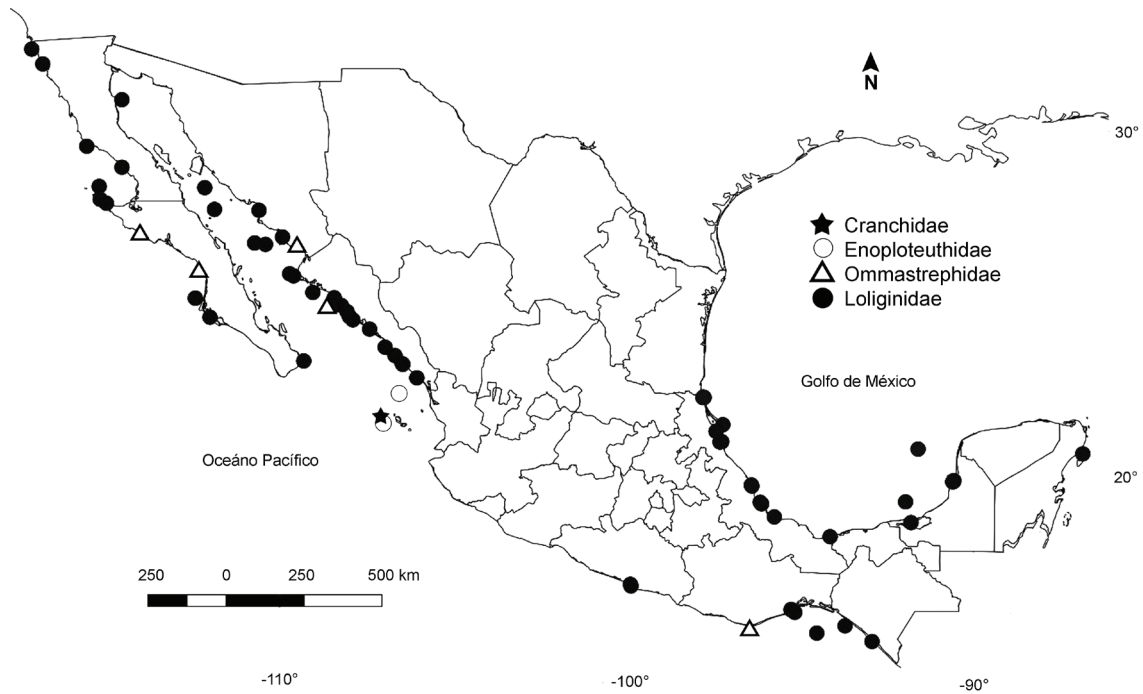


Figura 1. Localidades de recolecta de las cuatro familias de calamares presentes en la CPIME-ENCB.

Manto delgado y alargado, la punta del manto es ancha, los ejemplares presentan una LM de 39 a 101 mm. El brazo IV izquierdo hectocotilizado presenta ventosas muy pequeñas a lo largo de un tercio distal y los pedicelos de las ventosas están ensanchados formando papilas. Las aletas son de formas romboidales, largas (de 42 a 56% de la LM) y anchas (de 34 a 71% de la LM). Maza tentacular estrecha, los anillos de las ventosas con 30 dientes. Brazos cortos, los anillos de las ventosas con 9 a 12 dientes triangulares. Además del hectocótilo, otro carácter para diferenciar a los machos de las hembras son la longitud de los brazos y tentáculos, y el ancho de la cabeza. En hembras los brazos son más cortos y delgados, y tienen una cabeza angosta.

**Material examinado.** Baja California: Ensenada (CPIME 4947); punta Eugenia 1.4 km al norte de islas Chesters (CPIME 4375); bahía Falsa (bahía de San Quintín) (3.2 km WNW de punta María) (CPIME 6253); extremo norte de isla Cedros (a 10km de la costa) (CPIME 3481); extremo sur de isla Cedros (CPIME 4930); isla Santa Margarita (CPIME 4969). Baja California Sur: 25°8.7' N, 112° 24.81' W (CPIME 5506 A). Golfo de California (CPIME 3068 A).

**Comentarios taxonómicos.** *Doryteuthis opalescens* puede confundirse en estado de conservación con *L. diomedae* porque ambas especies presentan un manto delgado. Sin embargo *D. opalescens* solo presenta el brazo IV izquierdo hectocotilizado y *L. diomedae* presenta los 2 brazos IV hectocotilizados, además sus aletas son redondas y cortas. La máxima LM documentada es de 190 mm en machos y 170 mm en hembras (Roper *et al.*, 1984).

***Doryteuthis pealeii* (Lesueur, 1821)** (Figs. 2B; 4A)

Manto largo, moderadamente delgado, cilíndrico, con el extremo posterior muy agudo, los ejemplares presentan una LM entre 30 y 161 mm. Las aletas son romboidales, con costados casi rectos y son lige-

ramente más largas (de 33 a 62% de la LM) que anchas (de 36 a 54% de la LM). El hectocótilo presenta hasta 12 ventosas modificadas, que no llegan hasta la punta del brazo, redondeadas y progresivamente se van haciendo triangulares hacia la punta del brazo. Gladio largo. La vaina bastante ancha, en forma de pluma. La relación entre el ancho de la vaina/ancho del raquis (AV/ AR) es de 2.8 a 4. Los anillos de las ventosas de los brazos presentan 6 dientes rectangulares y de 35 a 65 dientes afilados alternados en tamaño (Okutani, 1980). En la maza tentacular las series de ventosas están dispuestas en 4 filas, de las cuales las 2 filas longitudinales centrales son más grandes que las marginales.

**Material examinado.** Tamaulipas: noroeste de la barra, Tampico (CPIME 3662); desembocadura del río Panuco (CPIME 8548). Veracruz: 506 km al este del arrecife de la isla de Lobos (CPIME 3104 A); isla de Lobos (CPIME 4143); laguna Verde (CPIME 6435, CPIME 6781A, CPIME 6805A, CPIME 6823A, CPIME 6833A, CPIME 6783A). Campeche: Campeche (CPIME 4941); 64.4 km al noreste de Ciudad del Carmen (CPIME 8547).

**Comentarios taxonómicos.** *Doryteuthis pealeii* puede distinguirse de *D. pleii* (Blainville, 1823), porque las ventosas modificadas del hectocótilo no terminan hasta la punta del brazo y su gladio es redondo y corto. La relación entre el ancho de la vaina y la anchura de raquis (AV/ AR) combinado con la forma general del gladio es otra buena forma de diferenciarlos. La relación AV/AR es de 1.5 a 2.6 para *D. pleii* y de 2.8 a 4 para *D. pealeii*. Además, Okutani (1980) señala que pueden ser distinguidos por los dientes o cúspides de los anillos quitinosos presentes en sus ventosas debido a que *D. pealeii* tiene de 35 a 65 dientes alternados entre pequeños y grandes y *D. pleii* presenta de 30 a 40 dientes romboidales de tamaño uniforme. La máxima LM documentada es de 465 mm en machos y 303 mm para hembras (Roper *et al.*, 1984).

***Doryteuthis pleii* (Blainville, 1823)** (Figs. 2C; 4B)

Manto delgado, largo y cilíndrico, con el extremo posterior agudo, los especímenes presentan una LM de 42 a 230 mm. Las aletas son largas (28 a 69% de la LM) y poco anchas (28 a 51% de la LM). El brazo hectocotilizado presenta ventosas modificadas (de 42 a 82) mucho más pequeñas que las ventosas de los brazos normales y que se extienden hasta la punta del brazo. Las ventosas modificadas son pedicelos pequeños, estrechos y triangulares. Gladio delgado, con forma de pluma, borde de la vaina recta y ligeramente engrosada en el margen. La relación AV/AR es de 1.5 a 2.6. La maza tentacular presenta 4 filas de ventosas y los anillos de las ventosas presentan de 26 a 45 dientes triangulares y afilados, mientras que, en los brazos, los anillos de las ventosas tienen de 6 a 7 dientes rectangulares. En estado fresco presenta rayas violáceas a los lados del manto (Okutani, 2015).

**Material examinado.** Tamaulipas: Tampico (CPIME 4950); al este de la barra, Tampico (CPIME 7185 A). Veracruz: laguna Verde (CPIME 5161, CPIME 6864A, CPIME 6257, CPIME 6757, CPIME 6775D); playa Norte (Villa Rica) (CPIME 6768). Campeche: Lerma (sonda de Campeche) (CPIME 4951); muelle de Lerma, Ciudad del Carmen (CPIME 6432); sonda de Campeche entre cayo Arcas y Ciudad Campeche (CPIME- 4142).

**Comentarios taxonómicos.** *Doryteuthis pleii*, puede distinguirse de *D. pealeii* porque las ventosas modificadas del hectocótilo terminan hasta la punta del brazo y su gladio es alargado. Ver comentarios de *D. pealeii*. La máxima LM es de 370 mm en machos y 260 mm en hembras (Roper *et al.*, 1984).

***Lolliguncula brevis* (Blainville, 1823)** (Figs. 2D; 4G)

Manto más ancho en la parte media, la LM es de 32 a 126 mm. Aletas cortas (de 32 a 63% de la LM), más anchas (de 50 a 84% de la LM) que largas y muy redondeadas. El brazo IV izquierdo hectocotilizado presenta aproximadamente 24 ventosas modificadas que se van alargando como papilas aplanadas y después se van reduciendo hasta la punta del brazo. Las ventosas de los brazos presentan anillos con 5 a 7 dientes anchos y romos. En la maza tentacular los dientes (de 18 a 53) de los anillos de las ventosas son pequeños y afilados, pero en las ventosas de mayor diámetro los dientes son variables y con un patrón de disposición de un diente grande seguido por 3 dientes pequeños.

**Material examinado.** Veracruz: laguna de Tamiahua (CPIME 4929, CPIME 7408A); río Pantepec Tuxpan (barra de Tuxpan) (CPIME 4068); estero de Jacome, Tuxpan (CPIME 2497); desembocadura del río Tuxpan (CPIME 4948, CPIME 4923A, CPIME 7257A, CPIME 4937); desembocadura río Pantepec Tuxpan (CPIME 6433); laguna de Tampamachoco (CPIME 6215); playa Norte, Villa Rica (CPIME 5160); laguna Verde (CPIME 6774A, CPIME 6780, CPIME 6780A, CPIME 6789A); laguna de Alvarado (CPIME 4560). Campeche: muelle de Lerma (CPIME 6269); playa Caracol, Ciudad del Carmen (barra del Carmen) (CPIME 7296).

**Comentarios taxonómicos.** Aunque *L. brevis* es la única especie del género que se distribuye en el Atlántico podría ser confundida con *L. panamensis*, especie del océano Pacífico. Sin embargo, difieren en las características del hectocótilo porque *L. brevis* presenta papilas aplanadas largas hasta la punta mientras que en *L. panamensis* las ventosas están reducidas en tamaño y no forman papilas alargadas, además en algunas ocasiones el hectocótilo es más largo que los demás brazos. Adicionalmente, la maza tentacular de *L. brevis* es más angosta que la de *L. panamensis* y las ventosas proximales son más grandes que las distales, mientras que en *L. panamensis* las ventosas centrales son

agrandadas y el resto son pequeñas. La máxima LM en las hembras es 120 mm y 85 mm en machos (Roper *et al.*, 1984).

***Lolliguncula diomedea* (Hoyle, 1904)** (Figs. 2E; 4C, E, F)

Manto largo y estrecho; la LM es entre 45 y 119 mm. Las aletas son cortas (23 al 50% de la LM) y angostas (33 a 48% de la LM). Ambos brazos IV de los machos presentan modificaciones. El brazo IV izquierdo es más largo que los demás, presenta pequeñas ventosas en la base del brazo y los pedicelos de las ventosas adquieren forma de papilas en la parte distal del brazo. En el brazo IV derecho presenta ventosas de tamaño reducido a lo largo del brazo y una proyección de piel o membrana semicircular aproximadamente en la mitad del brazo. La hembra es más grande que el macho, pero con brazos más cortos. En la parte central de la maza tentacular presenta 6 ventosas más grandes que el resto de las ventosas, éstas no presentan dientes, a diferencia de las ventosas más pequeñas que presentan dientes triangulares afilados. Los anillos de las ventosas de los brazos presentan de 10 a 11 dientes cuadrados.

**Material examinado.** Baja California: golfo de California, a la altura de Atambo (CPIME 3204); golfo de California (CPIME 4003); 16 km al sur de punta Estrella (CPIME 4064), 29°32' N, 115° 33' W (CPIME 4523). Baja California Sur: 25°8.7' N, 112° 24.81' W (CPIME 5506); playa Calerita, 20km S.W. de la Paz (CPIME 5596). Sonora: 28° 20' 7" N, 112°09' W isla San Pedro Martir (CPIME 4152). Sinaloa: 25°18' 0" N, 109°02'09" W cerca de Los Mochis (CPIME 3068); Altata (CPIME 4940 B); Los Mármoles (CPIME 3530); Los Mochis (CPIME 6258); frente a la boca del río Presidio (Barrón) (CPIME 6442). Oaxaca: entre punta Conejo a playa Azul (punta Guelaguichi al norte de Salina Cruz) (CPIME 3520).

**Comentarios taxonómicos.** *Lolliguncula diomedea* puede ser confundida con *L. panamensis* porque comparten distribución geográfica, pero se pueden diferenciar porque *L. diomedea* tiene un cuerpo fusiforme y más delgado, las aletas más cortas y angostas que *L. panamensis* (Brakoniecki, 1980). Otras características para separarlas son los 2 brazos IV modificados y las 6 ventosas engrandecidas en la parte central de la maza tentacular de *L. diomedea*. La máxima LM documentada es de 115 mm (Roper *et al.*, 1984).

***Lolliguncula panamensis* (Berry, 1911)** (Figs. 2F; 4D)

Manto muy ancho y redondeado en hembras y ligeramente ancho y redondeado en machos (Roper *et al.*, 1984). La LM es de 41 a 130 mm. Las aletas son redondas, anchas (de 42 al 87% de la LM) y largas (de 31 a 61% de la LM). El brazo IV izquierdo (hectocótilo) algunas veces es mucho más largo que los demás brazos y con ventosas que se reducen a lo largo del brazo, tanto que a veces es muy fácilmente que se desprendan. Cuando es del mismo tamaño que su brazo opuesto presenta los pedicelos de las ventosas en forma de papilas anchas y cortas y en la parte más distal del brazo puede presentar pequeñas ventosas. Los tentáculos son largos y anchos, las mazas tentaculares son grandes y expandidas, con ventosas grandes que presentan anillos con 23 a 27 dientes pequeños afilados, triangulares. Los dientes (de 11 a 15) de las ventosas de los brazos son cortos, anchos y truncados, prominentes en la parte distal y oscuros en la parte proximal.

**Material examinado.** Baja California Sur: bahía Magdalena (CPIME 3238); bahía Magdalena, frente a la isla Margarita (CPIME 5567). Golfo de California: (CPIME 3204B). Sonora: Cajeme (CPIME 1122); 136.80 km S.E. de Guaymas, Huatabampo (CPIME 1123); Los Algodones (CPIME 4944); Yavaros (CPIME 4856). Sinaloa: Macapule (CPIME 2340);

entre Lechuguilla y Piedras (CPIME 6441); isla Altamura (CPIME 6436); Altata (CPIME 4940); la Palma, Sola (CPIME 4934); San Lorenzo (CPIME 4945, CPIME 5165); San Ignacio (CPIME 4448); desembocadura del río Sinaloa (CPIME 6437); isla de la Piedra (punta Barrón) Mazatlán (CPIME 4977); isla de la Piedra (playa Barrón) (CPIME 5994 A); puerto Mazatlán (boca del embarcadero) (CPIME 6250); Los Claros (CPIME 4932); frente a la boca del río Baluarte (CPIME 4365); Los Mochis (CPIME 4787); bajos de la Tonina (CPIME 4577, CPIME 4927); El Tambor (Altata) (CPIME 6438). Guerrero: Acapulco (CPIME 4952); playa Hornos, Acapulco (CPIME 6439). Oaxaca: entre punta Conejo a playa Azul (punta Guelaguichi al norte de Salina Cruz) (CPIME 3520); Salina Cruz (CPIME 4527, CPIME-4935); entre Salina Cruz, Oaxaca y San Benito, Chiapas (CPIME 6440). Chiapas: San Marcos (CPIME 4926); barra de Zacapulco (CPIME 4936); Zacapulco (CPIME 4942).

**Comentarios taxonómicos.** Ver comentarios de *L. brevis* y *L. diomedae*. La máxima LM es de 110 mm en hembras y 93 mm en machos (Guzmán-Intzin *et al.*, 2020).

***Sepioteuthis sepioidea* (Blainville, 1823)** (Fig. 2G)

Manto más ancho en la parte anterior que en la posterior, presenta una LM de 117 mm. Las aletas son elípticas o ligeramente romboidales, anchas (56% de la LM) y muy largas (89% de la LM). El IV brazo izquierdo, que corresponde al hectocótilo, presentan ventosas modificadas que ocupan una cuarta parte de la longitud del brazo, la parte más distal del brazo no tiene ventosas, pero si los pedicelos que forman papilas anchas y carnosas (Roper *et al.*, 1984; Okutani, 2015). Es la única especie de la familia Loliginidae que no presenta ventosas en la membrana bucal. En la maza tentacular las ventosas se acomodan en 4 filas y los anillos de éstas, así como en los brazos, presentan 22 dientes triangulares afilados.

**Material examinado.** Quintana Roo: isla Cozumel (CPIME 3666).

**Comentarios taxonómicos.** Puede ser confundido como miembro de la familia Sepiidae, sin embargo, carece de concha quitinosa y esto facilita su ubicación dentro de la familia Loliginidae (Okutani, 1980). El tamaño máximo documentado del manto en las hembras es 120 mm y 85 mm para los machos (Jereb & Roper, 2010).

**Orden Oegopsida**

**Familia Cranchidae**

***Cranchia scabra* (Leach, 1817)** (Figs. 3A; 4H)

Manto grueso, con forma de barril, cubierto por tubérculos cartilaginosos de tamaño variable con forma estrellada, la LM es de 65 mm. Las aletas son redondeadas, cortas (15% de la LM) y angostas (31% de la LM), cada una con un lóbulo posterior libre. Presenta 2 líneas cartilaginosas cortas de igual longitud con forma de "V" en la fusión del manto con el sifón. Ventosas en 4 series en la porción media del brazo IV derecho hectocotilizado. Mientras que los demás brazos presentan 2 filas longitudinales de ventosas. Gladio con vaina corta en forma de triángulo. Tentáculo frágil con 2 series de ventosas en la base de la maza tentacular que después se convierten en 4 series de ventosas. Cada ojo presenta 14 fotóforos (Jereb & Roper, 2010). Brazos cortos (10% al 30% con respecto a la LM), la fórmula de los brazos, según su tamaño, es: III>IV>II>I.

**Material examinado.** Nayarit: a 40.23 km al oeste de isla María Madre (CPIME 6118F)

**Comentarios taxonómicos.** El género *Cranchia* es monotípico, representado solo por *C. scabra* (Jereb & Roper, 2010). La máxima LM documentada es de 130 mm (Okutani, 2015).

***Leachia danae* (Joubin, 1931)** (Figs. 3C; 4L)

Manto alargado cónico cartilaginoso. Sus medidas de LM fueron de 120 y 160 mm. Aletas circulares, de similar longitud (52 y 66% de la LM) y anchura (68% y 63% de la LM). El brazo IV derecho es el hectocótilo, enroscado y con 2 filas de ventosas separadas, una de la otra, por costillas carnosas y con un espacio amplio entre ellas. Las ventosas del hectocótilo son globosas. El globo ocular presenta 21 fotóforos, 8 periféricos o externos, 5 en medio y 8 dentro cerca de la pupila (Hoving *et al.*, 2014). Las ventosas de los brazos presentan anillos con 3 dientes afilados con forma de gancho y que sobresalen del anillo. La maza tentacular es gruesa en la parte proximal pero distalmente es más angosta. Las ventosas pequeñas de la maza tentacular presentan aproximadamente 6 dientes mientras que las más grandes no presentan. Los brazos son de variable longitud (de 20% al 63% de la LM) y la fórmula de los brazos según su tamaño es: III>II>IV>I.

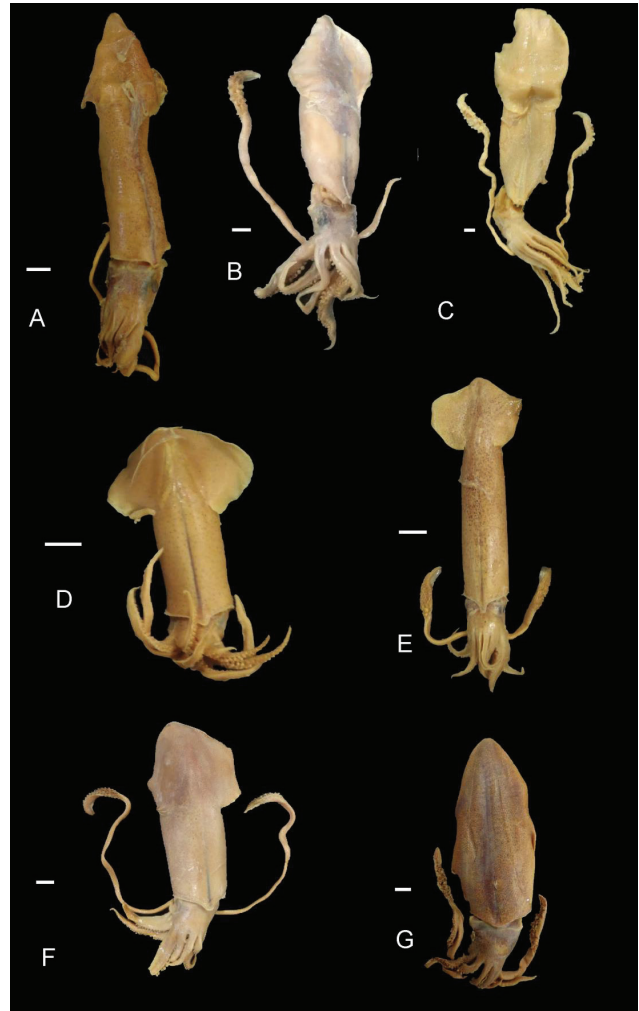


Figura 2. Calamares del orden Myopsida de la CPIME. A) *Doryteuthis opalescens*. B) *D. pealeii*. C) *D. plei*. D) *Lolliguncula brevis*. E) *L. diomedae*. F) *L. panamensis*. G) *Sepioteuthis sepioidea*. barra blanca=10 mm.



**Material examinado.** Nayarit: a 40.23 km al oeste de isla María Madre (CPIME- 6118 B).

**Comentarios taxonómicos.** *Leachia danae* puede ser confundida con *Leachia pacifica* (Issel, 1908) y *Leachia dislocata* (Young, 1972), porque la similitud en la forma de aletas y en el manto cónico, sin embargo, estas dos últimas especies presentan brazos muy pequeños. Adicionalmente, *L. dislocata* y *L. pacifica* no presentan dientes que sobresalgan del anillo de las ventosas y tienen una cantidad diferente de fotóforos en el globo ocular (Hoving *et al.*, 2014). La máxima LM documentada es 180 mm (Okutani, 2015).

***Leachia pacifica* (Issel, 1908)** (Figs. 3B; 4I)

Manto gelatinoso con 2 filas de tubérculos en su superficie ventral que se encuentran en la unión del sifón con el manto. La LM fue de 60 a 82 mm. La longitud de la línea de tubérculos es de 12 al 17% de la LM, los tubérculos pueden ser estrellados o con espinas. Las aletas son elípticas de similar longitud (de 50 al 57% de la LM) y anchura (de 50 al 75% de la LM). El brazo IV derecho hectocotilizado (Okutani, 2015) y el brazo III es musculoso y más largo que los demás brazos (de 32 al 35% de la LM). Ojos grandes bulbosos, con 6 fotóforos (5 externos y 1 interno) (Okutani, 2015). En la maza tentacular hay 4 filas de ventosas, de las cuales las centrales tienen ventosas más grandes que las laterales. Las ventosas de la maza tentacular presentan de 17 a 28 anillos con dientes triangulares y afilados del mismo tamaño. El brazo III presenta ventosas con 3 dientes, el diente central es más grande que los laterales.

**Material examinado.** Nayarit: a 40.23 km al oeste de isla María Madre (CPIME-6118 B).

**Comentarios taxonómicos.** *Leachia pacifica* puede confundirse con *L. dislocata*, sin embargo, esta última presenta tubérculos estrellados en medio del manto mientras que *L. pacifica* solo los presenta a los lados del sifón (Okutani, 2015). Además *L. pacifica* presenta 6 fotóforos en el globo ocular y *L. dislocata* presenta 8 (Jereb & Roper, 2010). Ver comentarios taxonómicos de *L. danae*. La máxima LM documentada es de 80 mm (Okutani, 2015).

#### Familia Enoptleuthidae

***Abraliopsis affinis* (Pfeffer, 1912)** (Figs. 3D; 4J, M)

Manto en forma de cono, la LM fue de 24 a 40 mm. En la región ventral del manto presenta de 6 a 8 filas de fotóforos y una franja en la parte central sin fotóforos que se extiende hasta la mitad del manto y que termina en forma de media luna. Las aletas son más anchas (de igual a similar LM) que largas (74 al 80% de la LM). Las puntas de los brazos IV de ambos sexos presentan 3 fotóforos de gran tamaño. En el caso de los machos, ambos brazos están modificados: el derecho presenta 3 proyecciones de la membrana con forma de media luna, el izquierdo presenta trabéculas muy desarrolladas puntiagudas y que forman papilas que se enroscan y se extienden hasta la punta del brazo. Los brazos del I a III presentan de 15 a 30 ganchos en 2 filas, trabéculas en las membranas protectoras de ambos márgenes y tubérculos pequeños a lo largo de los brazos. La maza tentacular presenta 2 filas de ganchos, una constituida por 3 ganchos grandes y la otra por 3 ganchos pequeños, y en la base es notoria una membrana con forma de media luna.

**Material examinado.** Sinaloa: a 48.28 Km del río Baluarte (CPIME-3881). Nayarit: a 40.23 km al oeste de isla María Madre (CPIME- 6118 D).

**Comentarios taxonómicos.** *Abraliopsis affinis* puede ser confundido con *Abraliopsis falco* (Young, 1972) y *Abraliopsis felis* (McGowan & Okutani 1968), pero lo que lo diferencia de estas dos especies son la membrana basal pequeña en la maza tentacular y la franja sin fotóforos en la región ventral del manto que termina con forma de media luna. Además, el hectocótilo de *A. falco* tiene trabéculas poco notorias, mientras que el de *A. felis* no las presenta. La máxima LM en los machos es de 35 mm y de las hembras es de 40 mm (Burgess *et al.*, 2013).

***Abraliopsis falco* (Young, 1972)** (Figs. 3E; 4K)

Manto en forma de cono. La LM fue de 30 a 37 mm. Los fotóforos presentes en la parte ventral del manto se acomodan en 5 a 6 filas, con un espacio central sin fotóforos que se extienden regularmente hasta la punta. Las aletas son romboidales, más anchas (de igual LM) que largas (69 al 73% con respecto a la LM). La punta de los brazos IV de ambos sexos presentan 3 fotóforos de gran tamaño. En el caso de los machos ambos brazos IV están modificados: el derecho presenta 3 proyecciones de la membrana, el brazo izquierdo presenta trabéculas pequeñas enroscadas que al final del brazo terminan en papilas. Los brazos del I al III presentan 15 a 34 ganchos en 2 filas. La maza tentacular presenta 2 filas de ganchos una constituida por 3 a 4 ganchos grandes y la otra por 3 o 4 ganchos pequeños. Presenta una membrana pequeña en forma de media luna en la base de la maza tentacular.

**Material examinado.** Sinaloa: a 48.28 Km del río Baluarte (CPIME-3881 A). Nayarit: a 40.23 km al oeste de isla María Madre (CPIME-6118 E).

**Comentarios taxonómicos.** La máxima LM documentada es de 46 mm (Burgess *et al.*, 2013). Ver comentarios taxonómicos de *A. affinis*.

#### Familia Ommastrephidae

***Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835)** (Figs. 3F; 4N)

Manto grande, robusto y de paredes gruesas. La LM es de 97 a 340 mm. Aletas romboidales, muy musculosas más anchas (62 al 88% de la LM) que largas (43 al 59% de la LM). El brazo IV derecho o izquierdo está modificado (no ambos en el mismo espécimen), sin ventosas en la punta del brazo, pero en la parte proximal del brazo presenta ventosas pequeñas con anillos que tienen un diente grande afilado y otros más pequeños. Las membranas protectoras de los brazos están expandidas y perforadas con 10 orificios. Las puntas de los brazos son muy largas. Los brazos presentan una membrana dorsal protectora muy débilmente desarrollada, pero con trabéculas bien resaltadas y musculares. La parte anterior del gladio es trilobulada; el gladio carece de vaina, es muy estrecho como una varilla y luego se ensancha un poco posteriormente hasta formar un pequeño cono terminal. En la maza tentacular presenta inicialmente 2 filas de ventosas agrandadas y termina en la parte distal con 4 filas de ventosas pequeñas; los anillos de las ventosas más grandes presentan de 17 a 28 dientes con un patrón alternado de un diente grande y 3 dientes más pequeños. De igual manera los 5 a 12 dientes de los anillos de las ventosas de los brazos son alternados. El cartílago del sifón es profundo con forma de "T" invertida.

**Material examinado.** Baja California Sur: 26°055. 5' N 144° 15' W (CPIME-5553); costa occidental (CPIME-5552). Sonora: barra de Yavaros (CPIME-4946). Sinaloa: Sinaloa (CPIME-6255). Oaxaca: puerto Ángel (CPIME-6443).

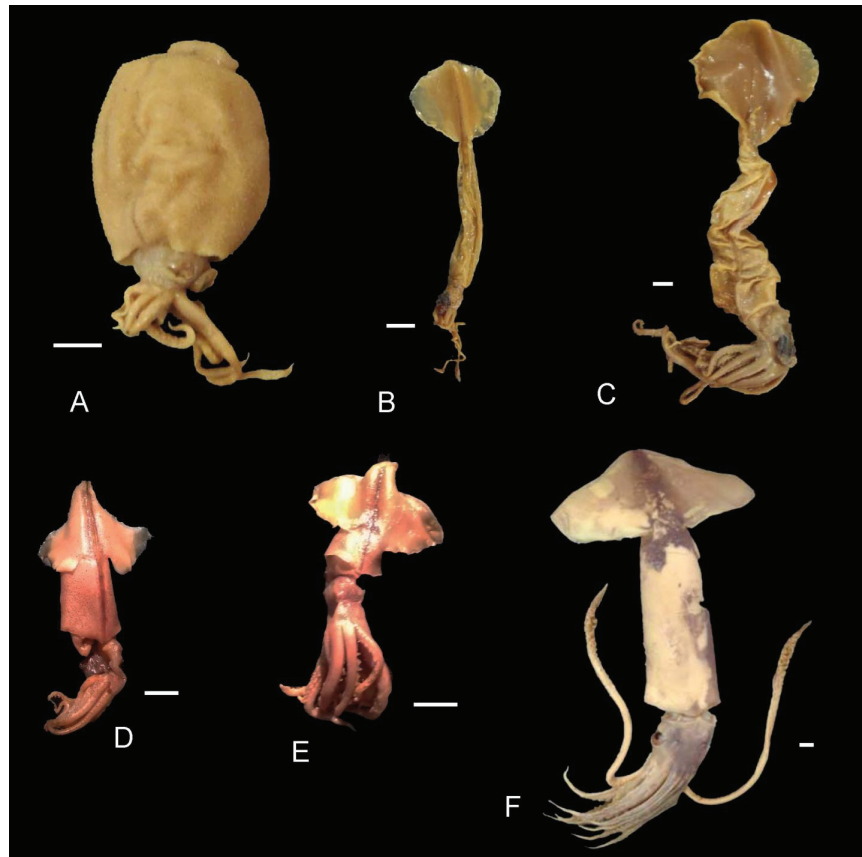


Figura 3. Calamares del orden Oegopsida de la CPIME-ENCB. A) *Cranchia scabra*. B) *Leachia pacifica* C) *L. danae*. D) *Abraliopsis affinis*. E) *A. falco*. F) *Dosidicus gigas*. barra blanca=10 mm.

**Comentarios taxonómicos.** *Dosidicus gigas* no puede ser confundido con otras especies en su estado adulto. La máxima LM documentada es de 4 m (Roper *et al.*, 1984).

## DISCUSIÓN

La CPIME alberga el 11% de las especies y 4 de las 24 familias de calamares que habitan los mares mexicanos (Jereb & Roper, 2010; Okutani, 2015; Judkins *et al.* 2009, 2016). Los loliginidos *L. panamensis*, *D. opalescens* y *L. diomedea* son los que tienen más especímenes alojados en la colección. Estas especies son más fáciles de recolectar porque son de aguas someras, raramente se desplazan a más de 100 metros fuera de la costa (Semmens *et al.*, 2007) y frecuentemente son parte de la fauna de acompañamiento de la pesquería de camarón (Alejo-Plata *et al.*, 2001).

Aunque los miópsidos fueron los más abundantes en el número de especies, el orden Oegopsida fue el más representativo en la CPIME en lo que se refiere a familias. Esto no es de sorprender dado que los oegópsidos son el grupo de cefalópodos más diverso (Boyle & Rodhouse, 2005). Los lotes de la colección de las familias Cranchidae, Enoplateuthidae y Ommastrephidae son del Pacífico mexicano; mientras que los de loliginidos (Myopsida) provienen de ambos litorales. Los ejemplares de este estudio fueron recolectados en aproximadamente 85 sitios (Fig. 1), la mayor parte de ellos localizados en los estados del noroeste de

México. Esta representación no equitativa del esfuerzo de captura se debe porque los ejemplares de la CPIME provienen de diferentes fuentes: 1) donaciones hechas por otras instituciones (Instituto Nacional de la Pesca, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas), 2) la pesca comercial y 3) investigaciones biológicas hechas por los propios investigadores de la ENCB.

En general, las especies fueron recolectadas dentro de su respectivo intervalo de distribución registrado en la literatura (Jereb & Roper, 2010; Okutani, 2015). Sin embargo, en este estudio se extiende la distribución de *Lolliguncula diomedea* hasta el noroeste de Baja California. Previamente, la distribución de esta especie incluía desde el norte de Baja California Sur en México hasta Perú (Jereb & Roper, 2010).

La mayoría de los lotes requirieron de una actualización nomenclatural, varios tuvieron que ser determinados y otros más fueron corregidos taxonómicamente. Por ejemplo, todos los lotes de *Doryteuthis* estaban previamente determinados como *Loligo*, pero este género es del Atlántico oriental de acuerdo con Anderson (2000). De la misma forma, los especímenes identificados como *Loliolopsis* fueron actualizados a *Lolliguncula* debido a que *Loliolopsis* no tiene validez taxonómica evidenciado por la cercana relación filogenética entre estos dos taxones (Sales *et al.*, 2014). Los lotes identificados como *Lolliguncula tydeus* (Brakoniecki, 1980), fueron cambiados a *L. panamensis* debido a que el primero es sinónimo junior del segundo (Brakoniecki, 1986).



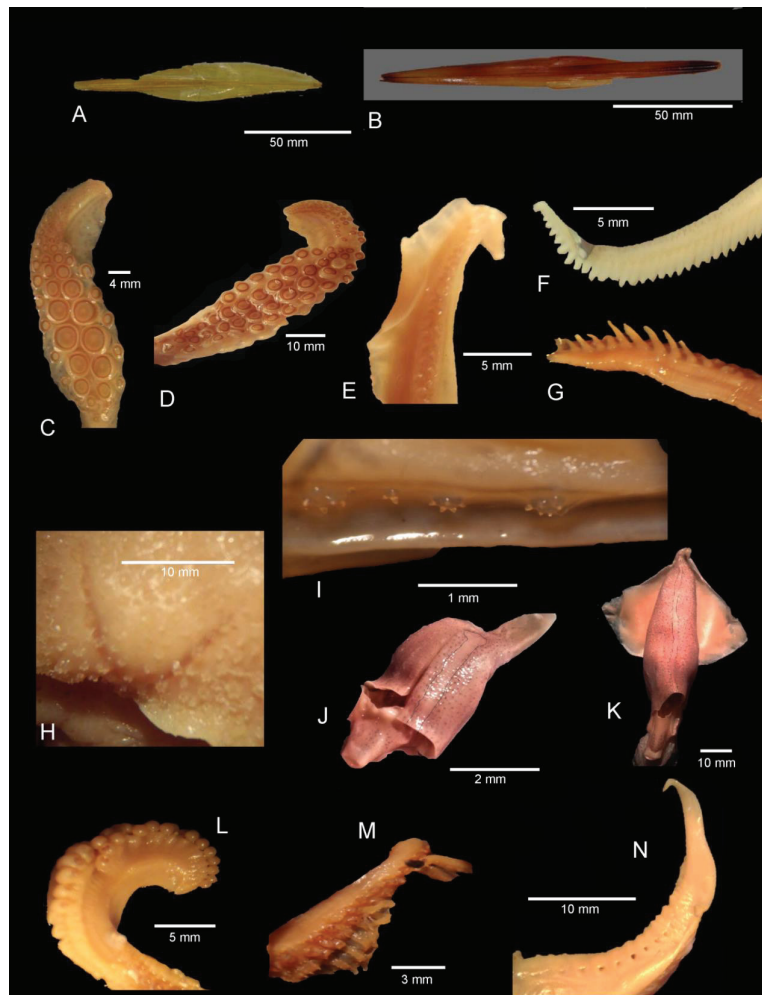


Figura 4. Caracteres diagnósticos de los calamares miópsidos y oegópsidos de la CPIME. Gladios de A) *Doryteuthis pealeii* y B) *D. plei*. Maza tentacular de C) *Lolliguncula diomedae* y D) *L. panamensis*. E) Cuarto brazo derecho de *L. diomedae*. Hectocótilos de F) *Lolliguncula diomedae* y G) *L. brevis*. H) Líneas cartilaginosas con forma de "V" en la región ventral de *Cranchia scabra*. I) Tubérculos de *Leachia pacifica*. Región ventral sin fotóforos de J) *Abraliopsis affinis* y de K) *A. falco*. Hectocótilos de L) *Leachia danae*, M) *Abraliopsis affinis* y N) *Dosidicus gigas*.

En este estudio fue observado que el hectocótilo de *L. panamensis* puede sobresalir en longitud de los demás brazos, rasgo que no es mencionado por Jereb & Roper (2010) pero que es importante para su identificación. Asimismo, fue registrado una LM máxima de 119 mm para *L. diomedae*, de 130 mm para *L. panamensis* y de 126 mm para *L. brevis*. Mientras que en la monografía de Jereb & Roper (2010) señalan una LM de 115 mm, de 110 mm y de 120 mm, respectivamente.

Aunque el acervo de calamares en la colección no ha sido incrementado desde 1991, fecha en que fue incorporado el último lote, la información que presentamos en este estudio es relevante, por el hecho de que no existen publicaciones previas que documenten los especímenes examinados.

Esfuerzos por incorporar más especies a la colección son necesarios para conocer, estudiar y resolver identidades taxonómicas debido a la posible existencia de especies crípticas de *Doryteuthis* y *Lolliguncula* señaladas por Sales *et al.* (2013, 2014).

## AGRADECIMIENTOS

A José Alberto Ocaña Luna curador de la CPIME-ENCB por las facilidades otorgadas para el manejo de los ejemplares de calamares. Igualmente agradecemos a Edna Naranjo García y a los revisores por sus comentarios y sugerencias realizadas a este manuscrito que contribuyeron a la mejora del mismo.

## REFERENCIAS

- ALEJO-PLATA, M. C., G. CERDENARES-LADRÓN DE GUEVARA & J. HERRERA. 2001. Cefalópodos loliginidos en la fauna de acompañamiento del camarón. *Ciencia y Mar* 5: 43-48.
- ANDERSON, F. E. 2000. Phylogenetic relationships among loliginid squids (Cephalopoda: Myopsida) based on analyses of multiple data

- sets. *Zoological Journal of the Linnean Society* 130: 603-633. DOI:10.1111/j.1096-3642.2000.tb02203.x
- BOYLE, P. & P. RODHOUSE. 2005. *Cephalopods: Ecology and Fisheries*. Blackwell Science, Oxford, UK. 464 p.
- BRAKONIECKI, T. F. 1980. *Lolliguncula tydeus*, a new species of squid (Cephalopoda: Myopsida) from the pacific coast of central America. *Bulletin of Marine Science* 30: 424-430.
- BRAKONIECKI, T. F. 1986. A generic revision of the family Lolliginidae (Cephalopoda: Myopsida) based primarily on the comparative morphology of the hectocotylus (Zoogeography). Ph. D. Dissertation. University of Miami, Miami Florida. 163 p.
- BURGESS, L., R. E. YOUNG & K. TSUCHIYA. 2013. *Abrialopsis affinis* (Pfeffer 1912). Tree of Life. Disponible en línea en: [http://tolweb.org/Abrialopsis\\_affinis/19682/2013.11.03](http://tolweb.org/Abrialopsis_affinis/19682/2013.11.03) (consultado el 11 septiembre 2018)
- DÍAZ-SANTANA-ITURRIOS, M., C. A. SALINAS-ZAVALA, J. GRANADOS-AMORES, DE LA CRUZ-AGÜERO & F. J. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2019. Taxonomic considerations of squids of the family Lolliginidae (Cephalopoda: Myopsida) supported by morphological, morphometric, and molecular data. *Marine Biodiversity* 49: 2401-2409. DOI:10.1007/s12526-019-00979-3
- DOUBLEDAY, Z., T. A. A. PROWSE, A. ARKHIPKIN, G. J. PIERCE, J. SEMMENS, M. STEER, S. C. LEPORATI, S. LOURENÇO, A. QUETGLAS, W. SAUER & B. M. GILLANDERS. 2016. Global proliferation of cephalopods. *Current Biology* 26: R387-R407. DOI:10.1016/j.cub.2016.04.002
- GRANADOS-AMORES, J., F. J. GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. G. HOCHBERG & C. A. SALINAS-ZAVALA. 2014. The taxonomy and morphometry of squids in the family Lolliginidae (Cephalopoda: Myopsida) from the Pacific Coast of Mexico. *American Malacological Bulletin* 32: 198-208. DOI:10.4003/006.032.0209
- GUZMÁN, A. F. 2011. Catálogo de los ejemplares tipo de peces depositados en la colección del Laboratorio de Ecología del Departamento de Zoología, ENCB, IPN. *Hidrobiológica* 21:168-177.
- GUZMÁN-INTZIN, H. A., M. C. ALEJO-PLATA, A. F. GONZÁLEZ-ACOSTA & S. S. LEÓN-GUZMÁN. 2020. Distribución, tallas y proporción sexual del calamar *Lolliguncula panamensis* del Golfo de Tehuantepec, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7: 1-11. DOI:10.19136/era.a7n1.2484
- HENDRICKX, M. E., J. SALGADO-BARRAGÁN, A. TOLEDANO-GRANADOS & M. CORDEIRO-RUIZ. 2014. Los moluscos (Pelecypoda, Gastropoda, Cephalopoda, Polyplacophora y Scaphopoda) recolectados en el SE del Golfo de California durante las campañas SIPCO a bordo del B/O "El Puma". Elenco faunístico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 682-722. DOI:10.7550/rmb.43077
- HENDRICKX, M. E., B. URBANO & P. ZAMORANO. 2015. Distribution of pelagic squids *Abrialopsis* Joubin, 1896 (Enoploteuthidae) and *Pterygioteuthis* P. Fischer, 1896 (Pyroteuthidae) (Cephalopoda, Decapodiformes, Oegopsida) in the Mexican Pacific. *ZooKeys* 537: 51-64. DOI:10.3897/zookeys.537.6023
- HOVING, H. J., S. BUSH & R. E. YOUNG. 2014. *Leachia danae* (Joubin, 1931). Version 21 January 2014 (under construction). Disponible en línea en: [http://tolweb.org/Leachia\\_danae/19587/2014.01.21](http://tolweb.org/Leachia_danae/19587/2014.01.21) (Consultado el 5 febrero 2019)
- JEREB, P. & C. F. E. ROPER. 2010. *Cephalopods of the World. An annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date. Volume 2. Myopsid and Oegopsid Squids*. FAO, Rome. 605 p. También disponible en la página web: <http://www.fao.org/3/i1920e/i1920e.pdf>
- JUDKINS, H. L., M. VECCHIONE & C. F. E. ROPER. 2009. Cephalopoda (Mollusca) of the Gulf of Mexico. In: Felder, D. L. & D. K. Camp. (eds). *Gulf of Mexico Origin, Waters and Biota. Volumen 1 Biodiversity*. Texas A & M University Press, Texas, pp. 701-709.
- JUDKINS, H. L., M. VECCHIONE, A. COOK & T. SUTTON. 2016. Diversity of midwater cephalopods in the northern Gulf of Mexico: comparison of two collecting methods: recent advances in the knowledge of cephalopod biodiversity. *Marine Biodiversity* 47: 619-620. DOI:10.1007/s12526-016-0597-8
- OKUTANI, T. 1980. *Calamares de las aguas mexicanas. Breve descripción de los calamares existentes en aguas mexicanas*. Secretaria de Pesca, México. 64 p.
- OKUTANI, T. 2015. *Cuttlefishes and Squids of the World [New Edition]*. National Cooperative Association of Squid Processors, Tokyo, Japan. Disponible en línea en: <http://www.zen-ika.com/zukan/index-e.html> (consultado el 29 marzo 2018)
- PYKE, G. H. & P. R. EHRLICH. 2010. Biological collections and ecological/environmental research: a review, some observations and a look to the future. *Biological Reviews* 85: 247-266. DOI:10.1111/j.1469-185X.2009.00098.x
- ROPER, C. F. E., M. J. SWEENEY & C. E. NAUEN. 1984. *FAO species catalogue. Vol. 3. Cephalopoda of the world. An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries*. FAO Fisheries Synopsis. 277 p. También disponible en la página web: <http://www.fao.org/3/ac479e/ac479e00.htm>
- SALES, J. B., P. W. SHAW, M. HAIMOVICI, U. MARKAIDA, D. V. CUNHA, J. READY, W. M. B. FIGUEIREDO-READY, H. SCHNEIDER & I. SAMPAIO. 2013. New molecular phylogeny of the squids of the family Lolliginidae with emphasis on the genus *Doryteuthis* Naef, 1912: Mitochondrial and nuclear sequences indicate the presence of cryptic species in the southern Atlantic Ocean. *Molecular Genetics and Evolution* 68: 293-299. DOI:10.1016/j.ympev.2013.03.027
- SALES, J. B., U. MARKAIDA, P. W. SHAW, M. HAIMOVICI, J. S. READY, W. M. B. FIGUEIREDO-READY, F. ANGIOLETTI, M. A. CARNEIRO, H. SCHNEIDER & I. SAMPAIO. 2014. Molecular phylogeny of the genus *Lolliguncula* steenstrup, 1881 based on nuclear and mitochondrial DNA sequences indicates genetic isolation of populations from north and south Atlantic, and the possible presence of further cryptic species. *PLoS ONE* 9: e88693. DOI:10.1371/journal.pone.0088693
- SEMMENS, J. M., G. T. PECL, B. M. GILLANDERS, C. M. WALUDA, E. K. SHEA, D. JOUFFRE, T. ICHI, K. ZUMHOLZ, O. N. KATUGIN, S. C. LEPORATI & P. W. SHAW. 2007. Approaches to resolving cephalopod movement and migration patterns. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 17: 401-423. DOI:10.1007/s11160-007-9048-8

- URBANO, B. & M. E. HENDRICKX. 2018. Offshore cephalopods (Mollusca: Cephalopoda) collected off the west coast of Mexico during the TALUD cruises. *Molluscan Research* 38: 1-16. DOI:10.1080/13235818.2018.1495799
- VECCHIONE, M. & R. E. YOUNG. 2016. Myopsida Naef, 1916. Tree of Life. Disponible en línea en: <http://tolweb.org/Myopsida/52670/2016.08.29> (consultado el 29 marzo 2018)
- WARD, D. F. 2012. More than just records: analysing natural history collections for biodiversity planning. *PLoS ONE* 7: e50346. DOI:10.1371/journal.pone.0050346
- YOUNG, R. E., M. VECCHIONE & K. M. MANGOLD. 2019. Decapodiformes Leach, 1817. Squids, cuttlefishes and their relatives. Tree of Life. Available online at: <http://tolweb.org/Decapodiformes/19404/2019.03.26> (downloaded March 26, 2019).

## Hidrobiológica

## Índice del volumen 30, 2020

## Número 1

**Ocampo-Alvarez H., R. García-Pacheco, A. E. Romo-Curiel, A. Becerril-Espinosa and M. E. Gallegos-Martínez**  
Benthic macrofauna, at Class level, in a tropical seagrass meadow exposed to open-sea: relation with environmental variables 1-12

**Monsalvo-Spencer P., T. Reynoso-Granados, G. Robles-Villegas y M. Monteforte-Sánchez**  
Descripción de la primera zoea del cangrejo araña *Stenorhynchus debilis* (Decapoda: Brachyura: Majoidea) 13-19

**Whitehead D. A., U. Jakes-Cota, F. Galván-Magaña, F. Pancaldi and R. González-Armas**  
Composition and abundance of macro zooplankton in the coastal waters off the El Mogote Sandbar 21-27

**Reyes-Aldana H. E., A. Muñoz-Hernández and J. L. Bortolini-Rosales**  
Gonadal histology of *Erichsonella attenuata* (Isopoda: Valvifera: Idoteidae) 29-36

**González-González L. V., V. H. Cruz-Escalona, N. R. Ehemann, G. De La Cruz-Agüero, L. A. Abitia-Cárdenas, P. A. Mejía-Falla y A. F. Navía**  
Riqueza y abundancia relativa de los batoideos de la pesquería artesanal en el archipiélago Espíritu Santo, BCS, México 37-47

**Jurado-Molina J., C. H. Hernández-López, R. Villaseñor-Talavera and J. J. García-Meléndez**  
Management strategies proposal for reducing the abundance of small organisms in the small pelagic fishery catch from the Gulf of California 49-60

**Minaya D., D. M. Leon-Luna, N. P. Miranda-Melo, L. Alvaríño-Flores y J. Iannacone**  
Comunidades parasitarias del mero manchado *Hyporthodus niphobles* (Gilbert & Starks, 1897) (Perciformes: Serranidae) de la costa marina del Perú 61-71

**Jiménez-Ramos E. y V. Acosta-Balbás**  
Macroinvertebrados bentónicos asociados a *Thalassia testudinum* (HYDROCHARITACEAE), en el nororiente de Venezuela 73-92

**Pérez-Chabela M. de L., Y. M. Alvarez-Cisneros, J. Soriano-Santos y M. A. Pérez-Hernández**  
Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión 93-105

## Número 2

**López-Segovia E., L. F. Del Moral-Flores y T. Hernández-Arellano**  
Ictiofauna de la Selva Zoque de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México 107-116

**Velázquez-Medina M., R. Mayén-Estrada y R. Pineda-López**  
Riqueza de protistas en la presa El Cajón, Querétaro, México: aproximación temporal y espacial 117-127

**García-Usuga J. M., G. Olivar-Tost and M. J. Mesa-Mazo**  
Application of the theory of networks to model a drainage network of a watershed: case study Department of Quindío Colombia 129-142

**Mecalco-Hernández Á. y M. Castillo-Rivera**  
Riqueza zooplanctónica en la boca de la Laguna La Mancha, durante muestreos mensuales y nictímeros 143-153

**Aris M. and R. Labenua**  
Horizontal transmission of ice-ice disease in seaweed *Kappaphycus alvarezii* (Doty) L. M. Liao (Gigartinales, Rhodophyta) 155-161

**Cruz-Aviña J. R., E. I. Castañeda-Roldan, C. A. Álvarez-González, K. N. Nieves-Rodríguez y E. S. Peña-Marin**  
Aislamiento de *Brucella melitensis* en el charal *Poblana letholepis* (Atheriniformes: Atherinopsidae) del Lago Cráter La Preciosa en el Centro de México 163-171

## NOTAS CIENTÍFICAS

**Pérez-Flores J. and O. Pigenutt-Galindo**  
Injuries caused by the invasive armoured suckermouth catfish *Pterygoplichthys* sp. in three captive Antillean manatees *Trichechus manatus manatus* 173-176

**Violante-Huerta M.**  
Primer registro del anfípodo dulceacuícola *Hyaella azteca* (Amphipoda: Senticaudata) en Cuautla, Morelos, México 177-179

**Instrucciones para autores** 181-184

**Instructions for authors** 185-188

## Número 3

**Vargas-Porras, L., G. Ramírez-Moreno, E. Hernández-Atilano y J. O. Rangel-Ch**

Algas perifíticas en cuatro fuentes hídricas con diferente temporalidad post aprovechamiento minero a cielo abierto en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia 189-202

**Hurtado-Borrero, Y., G. Pinilla-A y C. E. Tamaris-Turizo**

Relaciones talla-peso seco de ninfas de *Anacroneuria caraca* Stark, 1995 y *A. marta* Zúñiga & Stark, 2002 (Plecoptera: Perlidae) de un río neotropical de montaña 203-209

**Herrera-Barrientos, J., H. J. Peinado-Guevara, J. de J. Campos-Gaxiola, A. Cruz-Enriquez, V. M. Peinado-Guevara, M. de los Á. Ladrón de Guevara-Torres, S. I. Belmonte-Jiménez and L. E. Herrera**

Determination of hydraulic transmissivity in coastal aquifer by optimal estimation of the Qe-T relationship using Kalman filter 211-219

**Ahuatzin-Hernández, J. M., J. A. Canul-Cabrera, C. M. Eúan-Canul and L. V. León-Deniz**

Hydromedusae (Cnidaria: Hydrozoa) from the coastal lagoon of Bocas de Dzilam, Yucatán 221-231

**Cházaro-Olvera, S., Á. Morán-Silva, R. Chávez-López, H. Vázquez-López and A. del C. Rodríguez-Varela**

Density of mysis of *Penaeus aztecus* Ives, 1891 on a reef in the Southwest of the Gulf of Mexico 233-242

**Lozano-Guzmán, R. I., J. H. Rodríguez-Castro, L. Barrientos-Lozano, C. S. Venegas-Barrera, A. Correa-Gutiérrez y A. Correa-Sandoval**

Nuevos registros de moluscos (Gastropoda, Bivalvia) de la isla de Cozumel, Quintana Roo, México 243-250

**Mazón-Paredes, E., M. Herrera-Rodríguez, M. Mazón-Paredes, A. García-Martínez, C. Mazón-Paredes and J. L. Guzmán-Guerrero**

Productive performance of the Guayas cichlid (*Mesoheros festae*) fed palm meal based diets during the juvenile stage 251-258

**Jiménez-Reyes, S., E. Pacheco-Almánzar y A. L. Ibáñez**

La utilidad de la forma del hueso urohial en la discriminación de especies congéneres y poblaciones locales de Peces: Mugilidae 259-267

**Hernández-Aguilar, S. B., L. A. Abitia-Cárdenas, X. G. Moreno-Sánchez, V. H. Cruz-Escalona, M. Villalejo-Fuerte, M. Arellano-Martínez & B. P. Ceballos-Vázquez**

Biología reproductiva del pez vela *Istiophorus platypterus* en la Bahía de Acapulco, México 269-280

**Bravo-Muñoz, R. A., R. Pliego-Cárdenas y M. Sánchez-Ramírez**

Catálogo de calamares de la Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB) 281-290

**Índice del volumen** 291-292

**Índice de autores** 293-294



# Hidrobiológica

## Índice de autores

<b>Abitia-Cárdenas L. A.</b>	<b>37-269</b>	<b>De La Cruz-Agüero G.</b>	<b>37</b>
<b>Acosta-Balbás V.</b>	<b>73</b>	<b>Del Moral-Flores L. F.</b>	<b>107</b>
<b>Ahuatzin-Hernández J. M.</b>	<b>221</b>	<b>Ehemann N. R.</b>	<b>37</b>
<b>Alvarez-Cisneros Y. M.</b>	<b>93</b>	<b>Eúan-Canul C. M.</b>	<b>221</b>
<b>Álvarez-González C. A.</b>	<b>163</b>	<b>Galván-Magaña F.</b>	<b>21</b>
<b>Alvariño-Flores L.</b>	<b>61</b>	<b>Gallegos-Martínez M. E.</b>	<b>1</b>
<b>Arellano-Martínez M.</b>	<b>269</b>	<b>García-Martínez A.</b>	<b>251</b>
<b>Aris M.</b>	<b>155</b>	<b>García-Meléndez J. J.</b>	<b>49</b>
<b>Barrientos-Lozano L.</b>	<b>243</b>	<b>García-Pacheco R.</b>	<b>1</b>
<b>Becerril-Espinosa A.</b>	<b>1</b>	<b>García-Usuga J. M.</b>	<b>129</b>
<b>Belmonte-Jiménez S. I.</b>	<b>211</b>	<b>González-Armas R.</b>	<b>21</b>
<b>Bortolini-Rosales J. L.</b>	<b>29</b>	<b>González-González L. V.</b>	<b>37</b>
<b>Bravo-Muñoz R. A.</b>	<b>281</b>	<b>Guzmán-Guerrero J. L.</b>	<b>251</b>
<b>Campos-Gaxiola J. de J.</b>	<b>211</b>	<b>Hernández-Aguilar S. B.</b>	<b>269</b>
<b>Canul-Cabrera J. A.</b>	<b>221</b>	<b>Hernández-Arellano T.</b>	<b>107</b>
<b>Castañeda-Roldan E. I.</b>	<b>163</b>	<b>Hernández-Atilano E.</b>	<b>189</b>
<b>Castillo-Rivera M.</b>	<b>143</b>	<b>Hernández-López C. H.</b>	<b>49</b>
<b>Ceballos-Vázquez B. P.</b>	<b>269</b>	<b>Herrera-Barrientos J.</b>	<b>211</b>
<b>Correa-Gutiérrez A.</b>	<b>243</b>	<b>Herrera L. E.</b>	<b>211</b>
<b>Correa-Sandoval A.</b>	<b>243</b>	<b>Herrera-Rodríguez M.</b>	<b>251</b>
<b>Cruz-Aviña J. R.</b>	<b>163</b>	<b>Hurtado-Borrero Y.</b>	<b>203</b>
<b>Cruz-Enriquez A.</b>	<b>211</b>	<b>Iannacone J.</b>	<b>61</b>
<b>Cruz-Escalona V. H.</b>	<b>37-269</b>	<b>Ibáñez A. L.</b>	<b>259</b>
<b>Chávez-López R.</b>	<b>233</b>	<b>Jakes-Cota U.</b>	<b>21</b>
<b>Cházaro-Olvera S.</b>	<b>233</b>	<b>Jiménez-Ramos E.</b>	<b>73</b>

Jiménez-Reyes S.	259	Peinado-Guevara H. J.	211
Jurado-Molina J.	49	Peinado-Guevara V. M.	211
Labenua R.	155	Pérez-Chabela M. de L.	93
Ladrón de Guevara-Torres M. de los Á.	211	Pérez-Hernández M. A.	93
León-Deniz L. V.	221	Pérez-Flores J.	173
Leon-Luna D. M.	61	Pigenutt-Galindo O.	173
López-Segovia E.	107	Pineda-López R.	117
Lozano-Guzmán R. I.	243	Pinilla-A G.	203
Mayén-Estrada R.	117	Pliego-Cárdenas R.	281
Mazón-Paredes C.	251	Ramírez-Moreno G.	189
Mazón-Paredes E.	251	Rangel-Ch J. O.	189
Mazón-Paredes M.	251	Reyes-Aldana H. E.	29
Mecalco-Hernández Á.	143	Reynoso-Granados T.	13
Mejía-Falla P. A.	37	Robles-Villegas G.	13
Mesa-Mazo M. J.	129	Rodríguez-Varela A. del C.	233
Minaya D.	61	Rodríguez-Castro J. H.	243
Miranda-Melo N. P.	61	Romo-Curiel A. E.	1
Monsalvo-Spencer P.	13	Sánchez-Ramírez M.	281
Monteforte-Sánchez M.	13	Soriano-Santos J.	93
Morán-Silva Á.	233	Tamaris-Turizo C. E.	203
Moreno-Sánchez X. G.	269	Vargas-Porras L.	189
Muñoz-Hernández A.	29	Vázquez-López H.	233
Navía A. F.	37	Velázquez-Medina M.	117
Nieves-Rodríguez K. N.	163	Venegas-Barrera C. S.	243
Ocampo-Alvarez H.	1	Villalejo-Fuerte M.	269
Olivar-Tost G.	129	Villaseñor-Talavera R.	49
Pacheco-Almánzar E.	259	Violante-Huerta M.	177
Pancaldi F.	21	Whitehead D. A.	21
Peña-Marin E. S.	163		

# HIDROBIOLÓGICA

Revista del Departamento de Hidrobiología

VOLUMEN 30

Número 3

2020

---

<b>Vargas-Porras, L., G. Ramírez-Moreno, E. Hernández-Atilano y J. O. Rangel-Ch</b> Algas perifíticas en cuatro fuentes hídricas con diferente temporalidad post aprovechamiento minero a cielo abierto en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia	189-202
<b>Hurtado-Borrero, Y., G. Pinilla-A y C. E. Tamaris-Turizo</b> Relaciones talla-peso seco de ninfas de <i>Anacronuria caraca</i> Stark, 1995 y <i>A. marta</i> Zúñiga & Stark, 2002 (Plecoptera: Perlidae) de un río neotropical de montaña	203-209
<b>Herrera-Barrientos, J., H. J. Peinado-Guevara, J. de J. Campos-Gaxiola, A. Cruz-Enriquez, V. M. Peinado-Guevara, M. de los Á. Ladrón de Guevara-Torres, S. I. Belmonte-Jiménez and L. E. Herrera</b> Determination of hydraulic transmissivity in coastal aquifer by optimal estimation of the Qe-T relationship using Kalman filter	211-219
<b>Ahuatzin-Hernández, J. M., J. A. Canul-Cabrera, C. M. Eúan-Canul and L. V. León-Deniz</b> Hydromedusae (Cnidaria: Hydrozoa) from the coastal lagoon of Bocas de Dzilam, Yucatán	221-231
<b>Cházaro-Olvera, S., Á. Morán-Silva, R. Chávez-López, H. Vázquez-López and A. del C. Rodríguez-Varela</b> Density of mysis of <i>Penaeus aztecus</i> Ives, 1891 on a reef in the Southwest of the Gulf of Mexico	233-242
<b>Lozano-Guzmán, R. I., J. H. Rodríguez-Castro, L. Barrientos-Lozano, C. S. Venegas-Barrera, A. Correa-Gutiérrez y A. Correa-Sandoval</b> Nuevos registros de moluscos (Gastropoda, Bivalvia) de la isla de Cozumel, Quintana Roo, México	243-250
<b>Mazón-Paredes, E., M. Herrera-Rodríguez, M. Mazón-Paredes, A. García-Martínez, C. Mazón-Paredes and J. L. Guzmán-Guerrero</b> Productive performance of the Guayas cichlid ( <i>Mesoheros festae</i> ) fed palm meal based diets during the juvenile stage	251-258
<b>Jiménez-Reyes, S., E. Pacheco-Almánzar y A. L. Ibáñez</b> La utilidad de la forma del hueso urohial en la discriminación de especies congéneres y poblaciones locales de Pisces: Mugilidae	259-267
<b>Hernández-Aguilar, S. B., L. A. Abitia-Cárdenas, X. G. Moreno-Sánchez, V. H. Cruz-Escalona, M. Villalejo-Fuerte, M. Arellano-Martínez y B. P. Ceballos-Vázquez</b> Biología reproductiva del pez vela <i>Istiophorus platypterus</i> en la Bahía de Acapulco, México	269-280
<b>Bravo-Muñoz, R. A., R. Pliego-Cárdenas y M. Sánchez-Ramírez</b> Catálogo de calamares de la Colección de Peces e Invertebrados Marinos y Estuarinos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CPIME-ENCB)	281-290
<b>Índice del volumen</b>	291-292
<b>Índice de autores</b>	293-294

---