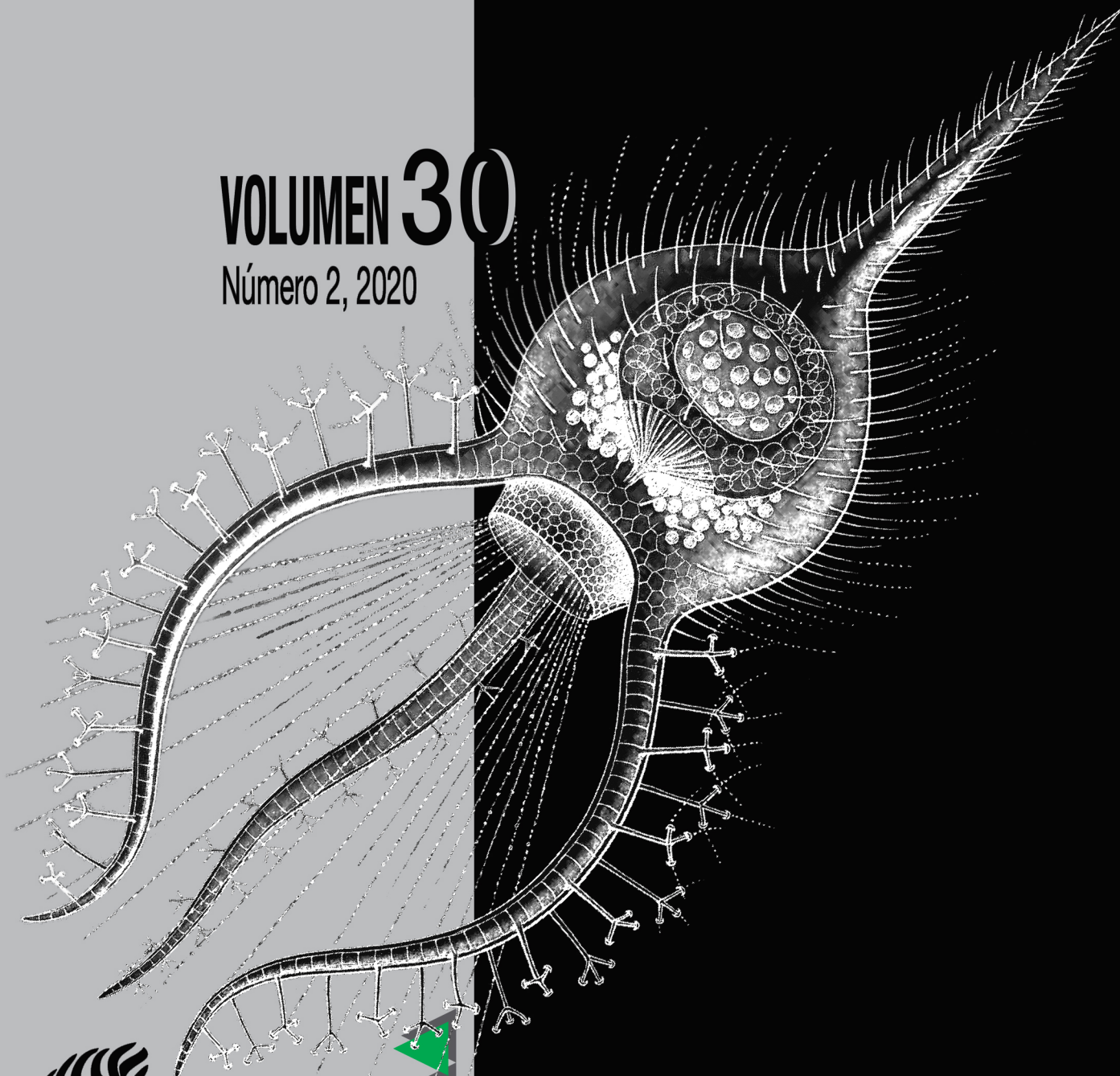


HIDROBIOLÓGICA

VOLUMEN 30

Número 2, 2020



UAM
Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa

Mayo-Agosto de 2020

HIDROBIOLÓGICA

Revista del Departamento de Hidrobiología

VOLUMEN 30

Número 2

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 2, mayo-agosto 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. 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 agosto 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

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.



In memoriam

Dra. María Esther Angélica Meave del Castillo (1960-2020)

La Doctora María Esther Angélica Meave del Castillo (a quien muchos llamábamos “Teté” o “Tey”) nació en la Ciudad de México el 5 de septiembre de 1960 y falleció el día 6 de diciembre de 2020, como consecuencia de complicaciones asociadas al COVID-19.

Teté fue Bióloga de carrera, egresada de la Facultad de Ciencias (UNAM), donde también obtuvo los títulos de Maestra en Ciencias y Doctora en Ciencias. Sus intereses académicos en sus últimos años de la carrera y como estudiante de Maestría y Doctorado fueron sobre Ficoflora, principalmente de algas verdes (Chlorophyta) de cascadas y ambientes lóticos de agua dulce, en especial el género *Cladophora*. Este tema quedó plasmado en sus tesis de grado y posgrado.

En la interface entre Maestría y Doctorado (1989), se incorporó como profesora de tiempo completo en la Universidad Autónoma

Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I), en el Área de Ficología Comparada, donde tenía la responsabilidad de impartir docencia y hacer investigación científica sobre fitoplancton. Debido a esa encomienda, ella se dedicó a aprender conceptos, terminologías y metodologías sobre fitoplancton marino, tomando cursos a nivel nacional e internacional, entre los cuales destacan “Fitoplancton marino, con especial énfasis en las Bacillariophyceae, para participantes de América Latina” (Concepción, Chile, 1993) y “Advanced Phytoplankton Course on Taxonomy and Systematics” (Nápoles, Italia, 1995). Los cursos también le permitieron conocer e interactuar con académicos e investigadores de mayor experiencia de diferentes partes del mundo, con quienes estableció no sólo relaciones académicas, sino también de amistad.

Participo, ya sea como responsable o como colaborador, en 25 proyectos de investigación sobre fitoplancton marino y sus grupos taxonómicos, financiados tanto por la UAMI, UNAM, CONABIO y CONACYT. Colaboró en 24 artículos en revistas científicas nacionales e internacionales, así como en 23 capítulos de libro. Editó dos libros, uno en 2003 junto con Barreiro-Güemes, Signoret-Poillon & Figueroa-Torres (Planctología Mexicana) y el segundo en 2018, junto con Karen Steidinger (A Guide of the Identification of Harmful Microalgae of the Gulf of Mexico).

Impartió 60 cursos a nivel Licenciatura, 50 de Maestría y 80 de Doctorado en distintos posgrados. Impartió 11 cursos de actualización y un diplomado sobre taxonomía de distintos grupos de algas fitoplanctónicas. A partir de 1992 dirigió el Servicio Social de 12 alumnos de las licenciaturas de Biología e Hidrobiología (UAM) y de la UNAM. Desde el año 2011 dirigió dos tesis de Licenciatura con temas de fitoplancton marino, siete de Maestría de alumnos mexicanos y extranjeros (Chile, Colombia y Panamá), así como cuatro de Doctorado de alumnos mexicanos. Participó como jurado en seis exámenes de grado a nivel Licenciatura, 34 a nivel Maestría y 10 a nivel de Doctorado. Dictó por lo menos 20 conferencias relacionadas con algas y fitoplancton, arbitró 116 documentos correspondientes a artículos de revistas científicas. Participó en 150 ponencias en congresos nacionales e internacionales, así como en la organización de tres congresos académicos: dos nacionales (XII y XV Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología, y VI y VIII Reunión Internacional de Planctología, 2004 y 2009) y uno internacional (X Congreso de Ficología de Latinoamérica y el Caribe y VIII Reunión Iberoamericana de Ficología, 2014). Expositora en 10 Ferias de Ciencias y Humanidades en la UAM-I y en la Semana de Ciencias de CONACYT. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I.

Fue Jefa del Área de Ficología Comparada, Coordinadora de la Licenciatura de Hidrobiología, integrante del Comité Académico de la Maestría en Biología UAM-I y miembro de la Comisión académica del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, así como Editora en jefe de la revista científica *Hidrobiológica* por nueve años (2009-2018). Fue representante académico del Departamento de Hidrobiología ante el Consejo Divisional de la DCBS, miembro titular designado ante la Comisión Dictaminadora del Personal Académico del área de Ciencias Biológicas UAM (dos años) y formo parte de Comisiones de evaluación de áreas y líneas de investigación en la UAM-I.

Participó en diversas sociedades científicas relacionadas con algas (Ficología) y fitoplancton (presidenta, vocal, secretaria ejecutiva, comités científicos).

Entre sus contribuciones importantes destacan las propuestas de Taxones nuevos (nuevos géneros, especies, combinaciones taxonómicas):

- (1) *Calyptrrella* Hernández-Becerril *et* Meave
- (2) *Calyptrrella robusta* (Norman) Hernández-Becerril *et* Meave
- (3) *Neocalyptrrella* Hernández-Becerril *et* Meave
- (4) *Neocalyptrrella robusta* (Norman) Hernández-Becerril *et* Meave
- (5) *Triposolenia fallax* Hernández-Becerril *et* Meave
- (6) *Ceratium balechii* Meave del Castillo, Okolodkov *et* Zamudio (actual basónimo de *Tripos balechii* Meave del Castillo, Okolodkov *et* Zamudio Gómez)
- (7) *Ceratium balechii* f. *longum* Meave del Castillo, Okolodkov *et* Zamudio (actual basónimo de *Tripos balechii* f. *longus* (Meave del Castillo, Okolodkov *et* Zamudio) Gómez)
- (8) *Pleurosigma gracilitatis* Sterrenburg, Meave *et* Tiffany
- (9) *Fryxelliella sepulvedana* Meave, Zamudio *et* Fernandes (actual sinónimo de *Fryxelliella pacifica* Hernández-Becerril *et* Barón-Campis)

Lamentamos su deceso con el que se detienen (quizás temporalmente) proyectos académicos relacionados al estudio de las microalgas (y Protistas) del fitoplancton marino, el tema al que ella se había dedicado desde hace años en la UAM-I. Extrañaremos mucho a Teté. Le sobreviven su padre Fernando, sus cuatro hermanos y su hijo Andrés.

Dr. David U. Hernández-Becerril.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México.

M. en C. María Eugenia Zamudio Reséndiz.

Departamento de Hidrobiología
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

HIDROBIOLÓGICA

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

ÍNDICE AL VOLUMEN 30, NÚMERO 2 • 2020

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 y M. J. Mesa-Mazo

Aplicación de la teoría de redes para el modelado de una red de drenaje de una cuenca:
caso de estudio departamento del 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. y R. Labenua

Transmisión horizontal de la enfermedad del hielo en las algas *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-Rodriguez 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. y O. Pigenutt-Galindo

Lesiones ocasionadas por el bagre armado del Amazonas *Pterygoplichthys* sp. en tres manatíes antillanos
en cautiverio *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

HIDROBIOLÓGICA

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

VOLUME INDEX 30, NUMBER 2 • 2020

- López-Segovia E., L. F. Del Moral-Flores and T. Hernández-Arellano**
Ichthyofauna from the Zoque Rainforest of Santa Maria Chimalapa, Oaxaca, Mexico107-116
- Velázquez-Medina M., R. Mayén-Estrada and R. Pineda-López**
Richness of protists in El Cajón dam, Querétaro, Mexico: temporal and spatial approximation.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. and M. Castillo-Rivera**
Zooplankton richness at the inlet of the La Mancha lagoon, during monthly and diel samplings143-153
- 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-Rodriguez
and E. S. Peña-Marin**
Isolation of *Brucella melitensis* in the silverside *Poblana letholepis* (Atheriniforms: Atherinopsidae)
from La Preciosa Crater Lake in Central Mexico163-171
- SCIENTIFIC NOTES**
- 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.**
First record of the freshwater amphipod *Hyalella azteca* (Amphipoda: Senticaudata)
in Cuautla, Morelos, Mexico177-179
- Instructions for authors**185-188

Ictiofauna de la Selva Zoque de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México

Ichthyofauna from the Zoque Rainforest of Santa Maria Chimalapa, Oaxaca, Mexico

Eduardo López-Segovia^{1,2*}, Luis Fernando Del Moral-Flores¹ y Tao Hernández-Arellano¹

Recibido: 14 de noviembre de 2017.

Aceptado: 22 de junio de 2020.

Publicado: agosto de 2020.

RESUMEN

Antecedentes: La Selva Zoque de Los Chimalapas se encuentra en la región del Istmo de Tehuantepec, principalmente en los municipios de San Miguel Chimalapa y Santa María Chimalapa en el estado de Oaxaca, es considerada una de las últimas áreas mejor conservadas en México, así como un centro de diversidad botánica y faunística. **Objetivo:** Inventariar la ictiofauna de la Selva de Santa María Chimalapa para contribuir al conocimiento de este grupo en la región. **Métodos:** Los muestreos se realizaron empleando diversas artes de pesca, en los principales ríos y tributarios que se encuentran en el municipio. **Resultados:** Se recolectaron 2,430 peces, correspondientes a 38 especies, agrupadas en 31 géneros, 19 familias y 12 órdenes. Las familias con la mayor riqueza específica fueron Cichlidae y Poeciliidae con nueve y seis especies. *Priapella intermedia* fue la especie más abundante (30.1% del total), seguida por *Astyanax finitimus* (13.3%) y *Pseudoxiphophorus bimaculatus* (10.3%). Con respecto a los aspectos biogeográficos del conjunto íctico, se observó un predominio de especies neotropicales (91.9%), dos especies de origen neártico (*Ictalurus meridionalis* e *Ictiobus meridionalis*) y cuatro vicarias (*Atherinella sallei*, *Cathorops* cf. *kailolae*, *Eugerres mexicanus* y *Strongylura hubbsi*), 31 especies se encuentran evaluadas en alguna categoría de riesgo y dos son exóticas. **Conclusiones:** La ictiofauna de Santa María Chimalapa es similar al de los cuerpos acuáticos presentes en selvas del sur de México. Son necesarios estudios ecológicos, de conservación e impacto antropogénico para establecer estrategias sustentables de conservación.

Palabras clave: Cuenca superior del Río Coatzacoalcos, Istmo de Tehuantepec, Peces Dulceacuícolas, Región Neotropical.

¹ Laboratorio de Zoología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. de Los Barrios No. 1, Col. Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México

² Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Ciudad Universitaria 3000, Coyoacán, Ciudad de México, 04510. México

***Corresponding author:**

Eduardo López-Segovia: e-mail: eduardosegovia100@gmail.com

To quote as:

López-Segovia, E., L. F. Del Moral-Flores & T. Hernández-Arellano. 2020. Ictiofauna de la Selva Zoque de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. *Hidrobiológica* 30 (2): 107-116.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbshidro/2020v30n2/Lopez

ABSTRACT

Background: The Zoque rainforest Chimalapas is located in the Isthmus of Tehuantepec, mainly in the municipalities of San Miguel Chimalapa and Santa María Chimalapa in the state of Oaxaca, is considered one of the latest well-preserved regions in Mexico, as well as a center of diversity and endemism of flora and fauna. **Objective:** Develop inventories of the ichthyofauna from Santa María Chimalapa rainforest to catalog resources before imminent environmental and human alterations. **Methods:** Samples were collected using several types of fishing gears in the main rivers and tributaries of the water system. **Results:** A total of 2,430 fish were collected, corresponding to 38 species, grouped in 31 genera, 19 families, and 12 orders. The families with the greatest species richness were Cichlidae and Poeciliidae with nine and six. *Priapella intermedia* was the most abundant (30.1% total), followed by *Astyanax finitimus* (13.3%) and *Pseudoxiphophorus bimaculatus* (10.3%). Regarding biogeographical aspects of the fish community, a prevalence of neotropical species (91.9%) was observed, two species of Nearctic origin (*Ictalurus meridionalis* and *Ictiobus meridionalis*) and four vicarious species (*Atherinella sallei*, *Cathorops* cf. *kailolae*, *Eugerres mexicanus*, *Strongylura hubbsi*). 31 species are being evaluated in some risk categories and two are exotic. **Conclusions:** The ichthyofauna of Santa María Chimalapa holds similarities to that of the aquatic bodies present in rainforests of southern Mexico. However, ecological, conservation and anthropogenic impact studies are necessary to establish sustainable conservation strategies.

Keywords: Freshwater fishes, Isthmus of Tehuantepec, Neotropical Region, Upper Coatzacoalcos River Basin.

INTRODUCCIÓN

La Selva Zoque se encuentra integrada por tres regiones: Uxpanapa, El Ocote y Los Chimalapas. La región de Los Chimalapas es sobresaliente por ser considerada un centro de diversidad de plantas, y especies endémicas de flora y fauna (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2008). Además, se le reconoce como uno de los últimos grandes relictos y la segunda mayor área de bosque tropical perennifolio y subperennifolio mejor conservado en México y en Mesoamérica (Anaya & Álvarez, 1994).

La Selva Zoque de Los Chimalapas cuenta con una extensión de 594 mil ha, la cual se distribuye en los municipios de San Miguel y Santa María Chimalapa, con 134 mil y 460 mil ha respectivamente, se encuentra en el límite sur oriental de Oaxaca, en el núcleo del Istmo de Tehuantepec (Anaya & Álvarez, 1994; Navarro-Sigüenza *et al.*, 2008).

Existen estudios sobre la biodiversidad presente en Los Chimalapas, de los cuales el grupo de los vertebrados están representados por 149 especies de mamíferos, 51 de anfibios, 105 de reptiles y 464 de aves (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2008; Lira-Torres *et al.*, 2012; Aguilar-López *et al.*, 2016). Además, los pocos trabajos referentes a los peces se han dedicado a su conocimiento a nivel estatal (Martínez-Ramírez *et al.*, 2004; Martínez-Ramírez & Gómez-Ugalde, 2006), estudios en la región del Istmo de Tehuantepec, que se realizaron a principios del siglo XX (Meek 1904; Regan 1906-1908), y publicaciones preliminares en la cuenca baja del Río Coatzacoalcos (De Lachica-Bonilla, 1980; Jozada & Paez, 1986).

En la Selva de Los Chimalapas los trabajos realizados para conocer la ictiofauna que habita en los ecosistemas acuáticos, incluyen la descripción de especies nuevas en la zona (Álvarez y Carranza, 1952; Del Moral-Flores *et al.*, 2017, 2018, 2020), una lista de especies del Río Espíritu Santo en San Miguel Chimalapa (Aguilar, 2006) y sobre la fauna helmintológica de los peces dulceacuícolas (Díaz-Infante, 2013; Salgado-Maldonado *et al.*, 2020) además de trabajo dedicado a la etnoictiología zoque (López-Segovia, 2018; López-Segovia & Del Moral-Flores, 2019).

Debido a la importancia de la Selva Zoque de Santa María Chimalapa en la región del Istmo de Tehuantepec y a la falta de un inventario íctico, el presente estudio tiene como objetivo identificar la composición taxonómica de los peces de la región para contribuir al conocimiento de la ictiofauna del estado de Oaxaca, así como a futuras estrategias de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron diez muestreos, con duración entre una a dos semanas durante los meses: diciembre 2014; junio, agosto y diciembre de 2015; julio 2016; abril, julio de 2017; abril, julio y diciembre de 2018, en el polígono geográfico: 16°50'53.86"N - 94°45'38.72"W; 17°9'22.09"N - 94°46'41.64"W; 17°09'25.6"N - 94°13'35.8"W; 17°5'24.13"N - 94°7'35.04"W (Fig. 1), en los principales arroyos y ríos presentes en la Selva Zoque del municipio de Santa María Chimalapa (Ríos: Escolapa, El Corte, Negro, Los Milagros, El Pinal, Arroyo Sardina, Arroyo Sangre, Arroyo Palomares, Arroyo Paso Lagartos, Arroyo Carrizal, Paso Piñón), además de localidades en el Ejido La Esmeralda (Gruta La Lechuza, Gruta y cueva Las Caritas), La Fortaleza (Arroyo), San Francisco La Paz (Río Uxpanapa) y Congregación José López Portillo (Arroyo Casa Blanca). En cada punto, las recolectas se hicieron en al menos dos ocasiones, a excepción de la última localidad en donde la recolecta se realizó en una ocasión (Tabla 1).

Los muestreos se realizaron tanto en el día como en la noche. En todos los sitios se emplearon diversas artes de pesca con un esfuerzo de captura de 4 h, entre ellas: atarraya de 1m de radio, chinchorro charalero de 2m de largo, redes de cuchara, anzuelo, arpón y fisga, red de trasmallo de 20m y con abertura de malla de 6.35 cm (esta última principalmente en ríos de cauce amplio: Río El Corte y El Pinal). Los ejemplares capturados fueron fotografiados *in situ*, para ayudar en su determinación, posteriormente se fijaron con formol (10%) y se depositaron en la Colección Ictiológica de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (CIF) donde se preservaron en alcohol etílico (70%).

Las especies ícticas fueron determinadas por medio de claves especializadas (Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Carpenter, 2002; Armbruster *et al.*, 2006; Marceniuk & Betancur-R. 2008; Miller *et al.*, 2009; Rodiles-Hernández *et al.*, 2010; Del Moral-Flores *et al.*, 2017; Schmitter-Soto, 2017). El estado taxonómico fue actualizado a partir de lo planteado por Fricke *et al.* (2020a) y el arreglo filogenético sigue la propuesta de Fricke *et al.* (2020b).

Las afinidades ecológicas (especies primarias, secundarias, diá-dromas) y biogeográficas (neárticas, neotropicales y vicarias) fueron corroboradas de acuerdo con los criterios de Myers (1938), Castro-Aguirre *et al.* (1999) y Miller *et al.* (2009). El estado de conservación de las especies ícticas fue revisado con base a la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2020; Lyons *et al.* 2020), la Norma Oficial Mexicana para especies en alguna categoría de riesgo NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010) y la Sociedad Americana de Pesquerías (AFS) (Jelks *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Se recolectaron un total de 2,430 organismos pertenecientes a 38 especies, las cuales están agrupadas en 32 géneros, 19 familias y 12 órdenes (Fig. 2). Los órdenes Cichliformes y Cyprinodontiformes presentaron la mayor diversidad específica, con nueve especies respectivamente. A nivel de familias, las más diversas son: Cichlidae, Poeciliidae con nueve y seis, respectivamente; Mugilidae con tres especies. Los géneros con mayor diversidad específica son: *Atherinella*, *Astyanax*, *Poeciliopsis*, *Profundulus*, *Thorichthys* y *Vieja* con dos especies (Tabla 1).

Las especies más abundantes fueron *Priapella intermedia* Álvarez & Carranza 1952, con 30.1%, seguida por *Astyanax finitimus* (Bocourt 1868) con 13.3% y *Pseudoxiphophorus bimaculatus* (Heckel 1848) con 10.3% del total. Las especies con mayor frecuencia de aparición fueron *P. bimaculatus* al estar en 16 de las 18 localidades, seguida por *A. finitimus* y *P. intermedia* (11 respectivamente) y *Trichromis salvini* (Günther 1862) en 10. El río El Corte presentó la mayor riqueza específica con 26 especies, seguido por los ríos El Pinal y Arroyo Paso Lagartos (15 especies), río Uxpanapa (13), río Negro y Los Milagros (12) (Tabla 1).

Del total de especies ícticas, ocho son endémicas de la cuenca del río Coatzacoalcos: *Atherinella schultzi* (Álvarez & Carranza, 1952), *Maskaheros regani* (Miller 1974), *Paraneotoplus bulleri*, Regan 1905, *Priapella intermedia*, *Profundulus chimalapensis* Del Moral-Flores, López-Segovia & Hernández-Arellano, 2020, *Thorichthys callolepis* (Regan 1904), *T. panchovillai* Del Moral-Flores, López-Segovia & Hernández-Arellano 2017 y *Xiphophorus clemenciae* Álvarez 1959; y dos especies de la cuenca Grijalva-Usumacinta: *Astyanax brevimanus* (Günther 1864) y *Tlaloal labialis* (Günther 1866).

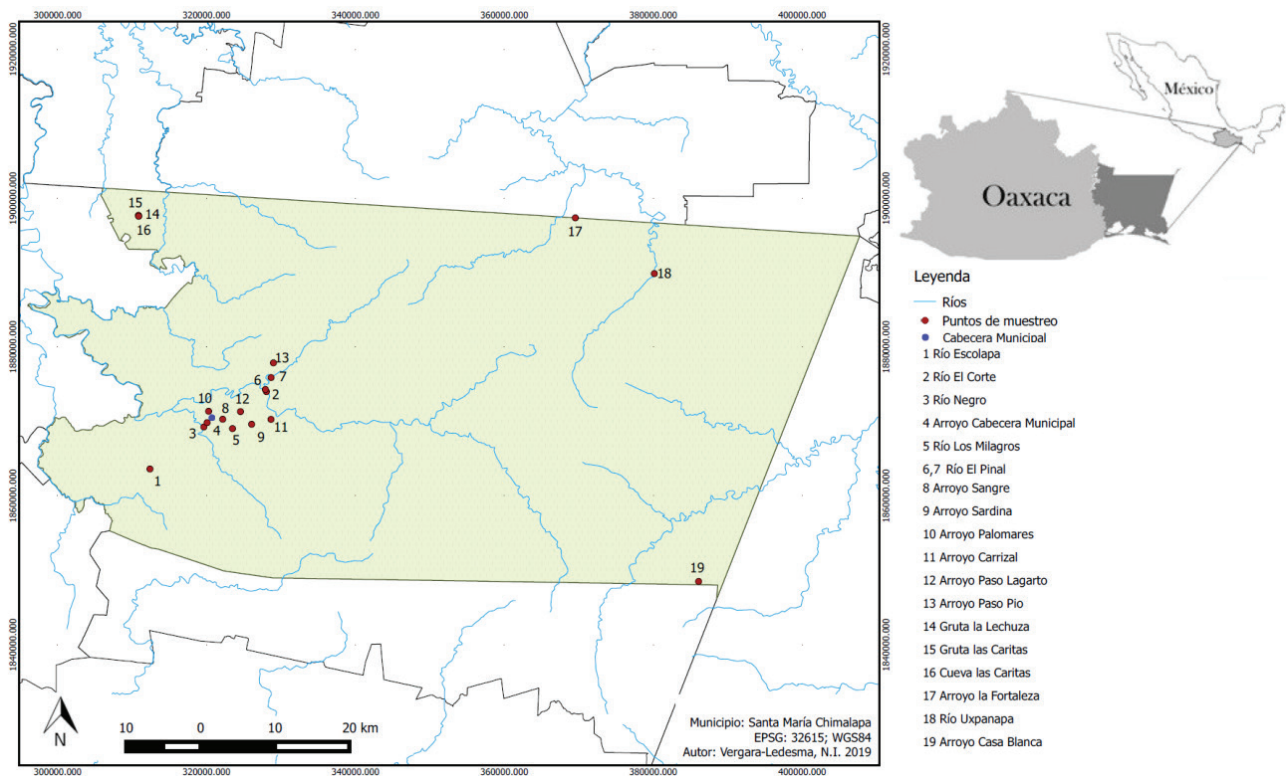


Figura 1. Sitios de recolecta en los sistemas acuáticos de la selva de Los Chimalapas de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México.

Con respecto a la afinidad biogeográfica, el mayor porcentaje corresponde a la región neotropical (91.9%) y dos son de origen neártico *Ictalurus meridionalis* (Günther 1864) e *Ictiobus meridionalis* (Günther 1868). Las especies *Atherinella sallei* (Regan 1903), *Cathorops cf. kaliolae*, *Strongylura hubbsi* Collette 1974 y *Eugerres mexicanus* (Steindachner 1863) son consideradas vicarias.

De acuerdo con las afinidades ecológicas, 20 especies son secundarias, diez primarias y el siete presentan diferentes patrones de diadromía; *Awaous banana* (Valenciennes 1837), *Gobiomorus dormitor* Lacepède 1800, *Centropomus undecimalis* (Bloch 1792), *Rhonciscus crocro* (antes *Pomadasys Crocro*) (Cuvier 1830), *Dajaus monticola* (Bancroft 1834), *Joturus pichardi* Poey 1860, *Mugil curema* Valenciennes 1836 (Tabla 2).

A partir de la Lista Roja de la IUCN, 24 especies se encuentran en la categoría de preocupación menor, nueve con datos deficientes, tres especies sin datos y dos especies son exóticas. Con respecto a la NOM-059-SEMARNAT-2010, *P. intermedia* y *X. clemenciae* son consideradas dentro de las categorías sujeta a protección especial y amenazada. Para los estándares de la AFS se encuentran *A. schultzi* y *T. callolepis* como especies vulnerables y *X. clemenciae* como amenazada (Tabla 2).

DISCUSIÓN

La riqueza específica de la ictiofauna dulceacuícola en la Selva de los Chimalapas representa el 7.8% de las 536 especies epicontinentales para México (Lyons *et al.*, 2020) y el 28% de las 136 especies dulceacuícolas

reportadas para Oaxaca (Martínez-Ramírez *et al.*, 2004; Martínez-Ramírez & Gómez-Ugalde, 2006; Walsh & Chakrabarty, 2016; Del Moral-Flores *et al.*, 2017, 2020; Schmitter-Soto, 2017), así mismo en el presente estudio se adiciona a *A. brevimanus* y *T. labialis* como nuevos registros para el estado.

El número de especies identificadas, está dominado principalmente por las familias Cichlidae y Poeciliidae, muy similar a lo reportado en otras selvas del suroeste mexicano, como la Reserva Ecológica “El Canelar”, Chiapas (López-Vila *et al.*, 2009); la Reserva Ecológica de El Ocote, que forma parte del corredor biológico de la Selva Zoque (Anzueto-Calvo *et al.*, 2016); la Selva Lacandona (Domínguez-Cisneros & Rodiles-Hernández, 1998); la Reserva de la Biosfera La Encrucijada (Gómez-González *et al.*, 2012); el Parque Nacional Cañón del Sumidero (Velázquez-Velázquez *et al.*, 2014) y La Fraileskana (López-Segovia *et al.*, 2019).

La mayor abundancia de ejemplares pertenecientes a especies de la familia Poeciliidae se debe a su fácil captura ya que habitan en la parte media superior de la columna de agua al igual que los carácidos y atherinópsidos por presentar hábitos gregarios (Bussing, 2002; Miller *et al.*, 2009; Hinaux *et al.*, 2015).

El río El Corte presentó la mayor riqueza específica debido a que su caudal es uno de los más importantes en la cuenca del río Coatzacoalcos, lo que permite la incursión de grandes especies (*Ictiobus meridionalis* e *Ictalurus meridionalis*) que no suelen habitar en otros ríos o tributarios de menor tamaño. La desembocadura del río Coatzacoalcos en el Golfo de México permite que especies con hábitos diádromos incursionen en la región.

Tabla1. Lista sistemática de la ictiofauna y frecuencia de aparición los sistemas acuáticos de la Selva Zoque, Santa María Chimalapa, Oaxaca, México.

Especies	Ríos																		
	Escolapa	El Corte	Negro	Arroyo Cabecera Municipal	Los Milagros	El Pinal	Arroyo Sangre	Arroyo Sardina	Arroyo Palomares	Arroyo Carrizal	Arroyo Paso Lagartos	Arroyo Paso Piñón	Gruta La Lechuza	Gruta las Caritas	Cueva Las Caritas	Arroyo, La Fortaleza	Uxpanapa	Arroyo Casa Blanca-Río Portamonedas	
Clase Actinopterygii																			
Orden Clupeiformes																			
Familia Clupeidae																			
1. <i>Dorosoma petenense</i> (Günther 1867)		X																	
Orden Cypriniformes																			
Familia Catastomidae																			
2. <i>Ictiobus meridionalis</i> (Günther 1868)		X																	X
Orden Characiformes																			
Familia Characidae																			
3. <i>Astyanax brevimanus</i> (Günther 1864)																			X
4. <i>Astyanax finitimus</i> (Bocourt 1868)	X	X	X		X	X					X		X	X	X	X	X	X	
Orden Siluriformes																			
Familia Heptapteridae																			
5. <i>Rhamdia laticauda</i> (Kner 1858)		X				X		X	X	X			X	X	X	X	X		
Familia Ariidae																			
6. <i>Cathorops cf. kailolae</i> (Marceniuk & Betancur-R. 2008)			X																
Familia Ictaluridae																			
7. <i>Ictalurus meridionalis</i> (Günther 1864)		X																	
Familia Loricariidae																			
8. <i>Pterygoplichthys disjunctivus</i> (Weber 1991).		X																	
Orden Gobiformes																			
Familia Eleotridae																			
9. <i>Gobiomorus dormitor</i> Lacepède 1800		X			X	X													
Familia Gobiidae																			
10. <i>Awaous banana</i> (Valenciennes 1837)		X								X									
Orden Synbranchiformes																			
Familia Synbranchidae																			
11. <i>Ophisternon aenigmaticum</i> Rosen & Greenwood 1976			X		X	X							X						
Orden Cichliformes																			
Familia Cichlidae																			
12. <i>Maskaheros regani</i> (Miller 1974)		X			X					X									

Tabla1. (Continúa).

Especies	Ríos											
13. <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus 1758)												X
14. <i>Paraneetroplus bulleri</i> Regan 1905	X	X		X	X							X
15. <i>Petenia splendida</i> Günther 1862		X										
16. <i>Thorichthys callolepis</i> (Regan 1904)	X	X	X	X	X							X
17. <i>Thorichthys panchovillai</i> Del Moral-Flores, López-Segovia & Hernández-Arellano 2017		X	X									
18. <i>Trichromis salvini</i> (Günther 1862)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19. <i>Vieja bifasciata</i> (Steindachner 1864)												X
20. <i>Vieja zonata</i> (Meek 1905)	X	X	X	X	X			X				X
Orden Atheriniformes												
Familia Atherinopsidae												
21. <i>Atherinella sallei</i> (Regan 1903)												X
22. <i>Atherinella schultzi</i> (Álvarez & Carranza 1952)	X	X	X	X	X			X	X			
Orden Cyprinodontiformes												
Familia Profundulidae												
23. <i>Tilac labialis</i> (Günther 1866)												X
24. <i>Profundulus chimalapensis</i> Del Moral-Flores, López-Segovia & Hernández-Arellano 2020				X		X	X	X				
25. <i>Profundulus aff. punctatus</i> (Günther 1866)												X
Familia Poeciliidae												
26. <i>Poecilia mexicana</i> Steindachner 1863	X	X	X	X	X		X	X		X		X
27. <i>Poeciliopsis gracilis</i> (Heckel 1848)						X				X		
28. <i>Poeciliopsis pleurospilus</i> (Günther 1866)												X
29. <i>Priapella intermedia</i> Álvarez & Carranza 1952	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
30. <i>Pseudoxiphophorus bimaculatus</i> (Heckel 1848)	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
31. <i>Xiphophorus clemenciae</i> Álvarez 1959	X	X		X	X	X				X		X
Orden Beloniformes												
Familia Belonidae												
32. <i>Strongylura hubbsi</i> Collette 1974	X	X	X		X							
Orden Mugiliformes												
Familia Mugilidae												
33. <i>Dajaus monticola</i> (Bancroft 1834)		X			X				X			X
34. <i>Joturus pichardi</i> Poey 1860		X							X			
35. <i>Mugil curema</i> Valenciennes 1836		X										
Orden Perciformes												
Familia Centropomidae												
36. <i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch 1792)		X							X			
Familia Gerreidae												
37. <i>Eugerres mexicanus</i> (Steindachner 1863)		X							X			X
Familia Haemulidae												
38. <i>Rhonciscus crocro</i> (Cuvier 1830)		X										

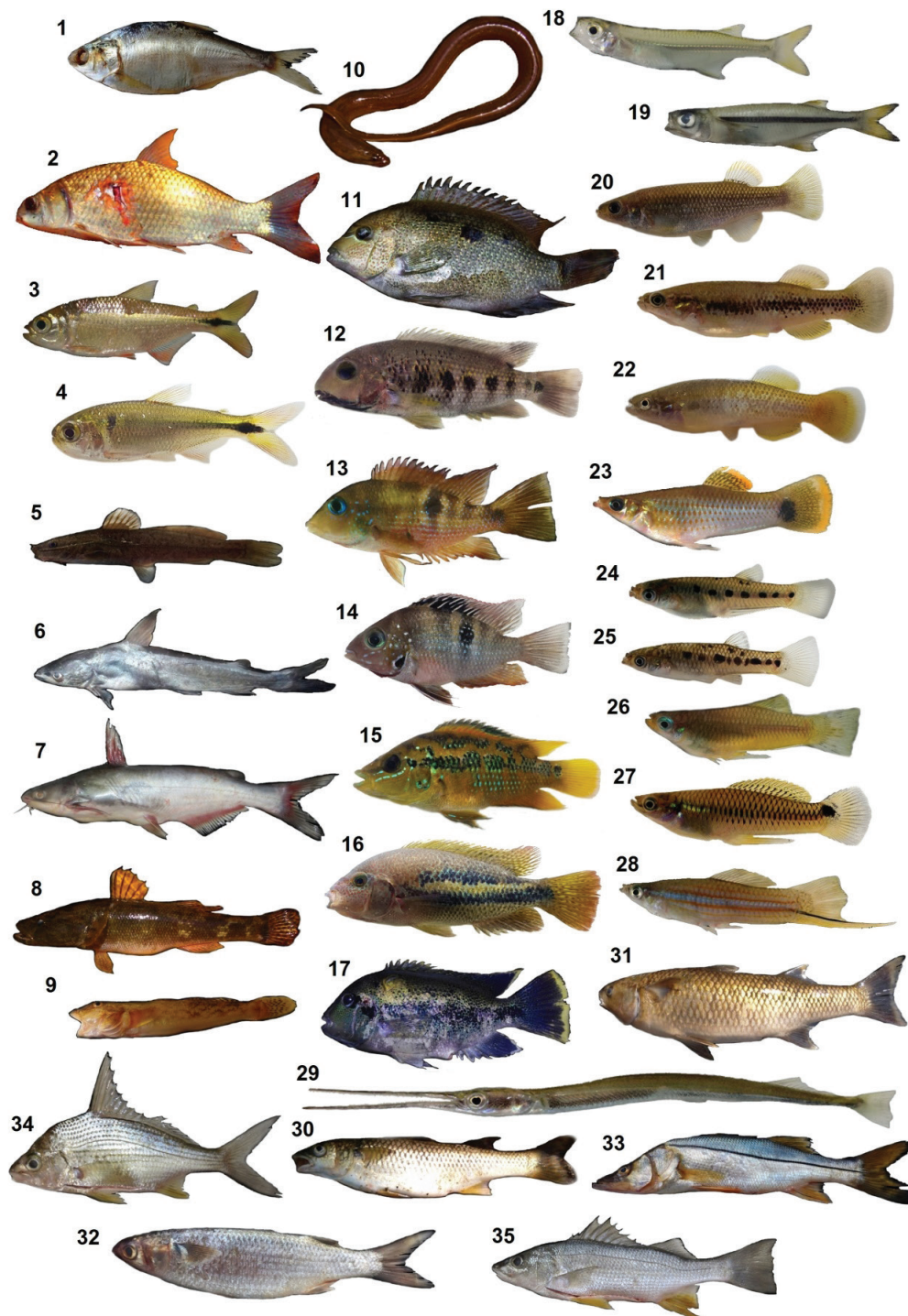


Figura 2. Ictiofauna nativa presente en los sistemas acuáticos de la Selva de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. Las especies no nativas fueron excluidas. 1) *Dorosoma petenense*, 2) *Ictiobus meridionalis*, 3) *Astyanax brevimanus*, 4) *Astyanax finitimus*, 5) *Rhamdia laticauda*, 6) *Cathorops cf. kailolae*, 7) *Ictalurus meridionalis*, 8) *Gobiomorus dormitor*, 9) *Awaous banana*, 10) *Ophisternon aenigmaticum*, 11) *Maskaheros regani*, 12) *Paraneetroplus bulleri*, 13) *Thorichthys callolepis*, 14) *Thorichthys panchoyillai*, 15) *Trichromis salvini*, 16) *Vieja bifasciata*, 17) *Vieja zonata*, 18) *Atherinella sallei*, 19) *Atherinella schultzi*, 20) *Tilaloc labialis*, 21) *Profundulus chimalapensis*, 22) *Profundulus aff. punctatus*, 23) *Poecilia mexicana*, 24) *Poeciliopsis gracilis*, 25) *Poeciliopsis pleurospilus*, 26) *Priapella intermedia*, 27) *Pseudoxiphophorus bimaculatus*, 28) *Xiphophorus clemenciae*, 29) *Strongylura hubbsi*, 30) *Dajaus monticola*, 31) *Joturus pichardi*, 32) *Mugil curema*, 33) *Centropomus undecimalis*, 34) *Eugerres mexicanus*, 35) *Rhonciscus crocro*. Fotografía modificada de López-Segovia y Del Moral-Flores (2019).

La riqueza de especies observada es resultado de una confluencia histórico-evolutiva, en el Istmo de Tehuantepec, de dos grandes regiones biogeográficas: Neártica y Neotropical, así como de la separación de la ictiofauna del núcleo centroamericano, además de las

incursiones marinas que han ocasionado el aislamiento de especies como *S. hubbsi* y *E. mexicanus* (Miller, 1986; Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Lovejoy & Collette, 2001; Miller *et al.*, 2009; Agorreta *et al.*, 2013).

Tabla 2. Afinidades ecológicas: especie primaria (Prim); secundarias (Sec); diádromas (Dia): Afinidades biogeográficas: neotropical (Neo); neártica (Nea); vicaria (Vic). Estado de Conservación (IUCN): preocupación menor (Prm); no evaluado (Ne); datos deficientes (DD). Lyons *et al.* (2020); casi amenazado (NT). NOM-059-2010- SEMARNAT: sin riesgo (-); sujeta a protección especial (Pr), amenazada (A). AFS: amenazada (T), vulnerable (V).

Especie	Ecol	Bio	IUCN / Lyons	NOM	AFS	No. Catálogo (CIFI)
1. <i>Dorosoma petenense</i>	Sec	Neo	Prm			116
2. <i>Ictiobus meridionalis</i>	Prim	Nea	- / DD			309
3. <i>Astyanax brevimanus</i>	Prim	Neo	Prm			823
4. <i>Astyanax finitimus</i>	Prim	Neo	Prm			80, 88, 99, 119, 129, 132, 160, 221, 480, 492, 554, 556, 640, 654, 700, 701
5. <i>Rhamdia laticauda</i>	Prim	Neo	Prm			114,400, 549, 560, 627, 653. 666
6. <i>Cathorops cf. kailolae</i>	Sec	Neo, V	Prm / Sin datos			616
7. <i>Ictalurus meridionalis</i>	Prim	Nea	Sin datos			142, 303
8. <i>Pterygoplichthys disjunctivus</i>	-	-	Exótica			-
9. <i>Gobiomorus dormitor</i>	Dia, Sec	Neo	Prm			111, 118, 564
10. <i>Awaous banana</i>	Dia	Neo	Prm			109, 545, 704
11. <i>Ophisternon aenigmaticum</i>	Sec	Neo	Prm			92,101, 561, 596
12. <i>Maskaheros regani</i>	Sec	Neo	DD / Prm			91, 626, 629
13. <i>Oreochromis niloticus</i>	Sec	-	Exótica			-
14. <i>Paraneetroplus bulleri</i>	Sec	Neo	Prm			82, 93, 121,215, 456,489, 547
15. <i>Petenia splendida</i>	Sec	Neo	Prm			699
16. <i>Thorichthys callolepis</i>	Sec	Neo	DD		V	79, 86, 96, 106, 126, 145, 484, 550
17. <i>Thorichthys panchovillai</i>	Sec	Neo	Sin datos			503, 551, 603
18. <i>Trichromis salvini</i>	Sec	Neo	Prm			97, 127, 131, 161, 334, 399, 488, 495, 548, 602, 665, 706
19. <i>Vieja bifasciata</i>	Sec	Neo	DD			822
20. <i>Vieja zonata</i>	Sec	Neo	DD			87, 98, 107, 128, 144, 209, 481, 455, 515, 516, 553, 601, 705, 827
21. <i>Atherinella sallei</i>	Prim	Neo, Vic	DD			485
22. <i>Atherinella schultzi</i>	Prim	Neo	DD		V	81, 89, 100, 120, 270, 546, 555, 563, 598, 664, 702
23. <i>Tilac labialis</i>	Prim	Neo	Prm			824
24. <i>Profundulus chimalapensis</i>	Prim	Neo	Sin datos			124, 494, 605, 606, 620, 621, 630, 637, 648, 649, 650, 663, 696, 707, 829
25. <i>Profundulus aff. punctatus</i>	Prim	Neo	DD			1712
26. <i>Poecilia mexicana</i>	Sec	Neo	Prm			76, 83, 94, 102, 122, 130, 395, 487, 497, 552, 558, 600, 634, 709
27. <i>Poeciliopsis gracilis</i>	Sec	Neo	Prm			138, 540, 592
28. <i>Poeciliopsis pleurospilus</i>	Sec	Neo	Prm			828
29. <i>Priapella intermedia</i>	Sec	Neo	Prm		Pr	84, 103, 123, 140, 211, 396, 486, 496, 539, 557, 562, 595, 599, 635, 638, 661, 708
30. <i>Pseudoxiphophorus bimaculatus</i>	Sec	Neo	Prm			104, 125, 133,158, 335, 398, 482, 498, 517, 518, 559, 593, 604, 631, 633, 639, 662, 695, 710, 825
31. <i>Xiphophorus clemenciae</i>	Sec	Neo	DD		A T	78,139, 397, 483,493, 519, 594, 632, 636
32. <i>Strongylura hubbsi</i>	Sec	Neo, Vic	Prm			85, 95, 105, 115, 213, 597
33. <i>Dajaus monticola</i>	Dia	Neo	Prm			108, 316, 491. 703
34. <i>Joturus pichardi</i>	Dia	Neo	Prm			112, 624
35. <i>Mugil curema</i>	Dia	Neo	Prm			113
36. <i>Centropomus undecimalis</i>	Dia	Neo	Prm			110, 628
37. <i>Eugerres mexicanus</i>	Sec	Neo, Vic	Prm			117, 490, 625
38. <i>Rhonciscus crocro</i>	Dia	Neo	DD			143

Es necesario realizar estudios taxonómicos y de distribución de especies consideradas endémicas de la cuenca del Río Coatzacoalcos entre las cuales se encuentran *Maskaheros regani*, *P. intermedia*, *X. clemenciae*, debido a su reciente registro en la cuenca del Grijalva (González-Díaz *et al.*, 2008; Gómez-González *et al.*, 2014, 2015; Anzueto-Calvo *et al.*, 2016). Así mismo, la riqueza íctica registrada puede aumentar si se esclarecen problemáticas taxonómicas de los géneros *Profundulus*, *Pseudoxiphophorus* y *Ariidae* (Marceniuk & Betancur-R. 2008; Agorreta *et al.*, 2013, Morcillo *et al.*, 2015).

Se ha reconocido al Istmo de Tehuantepec como una zona geológicamente activa y se considera que los cambios ocurridos durante el Plioceno Medio-Tardío y el Pleistoceno (5.33- 2.5 m. a.), pudo haber conectado a las vertientes del Atlántico y Pacífico (Maldonado-Koerdell, 1964; Marshall & Liebherr, 2000; Anzueto-Calvo *et al.*, 2016). Lo que resulta en una vía importante para el desplazamiento de peces y otros organismos acuáticos, ejemplo de ello son los géneros *Ophisternon*, *Poeciliopsis*, *Rhamdia* y *Vieja* (Mateos *et al.*, 2002; Perdices *et al.*, 2002, 2005; McMahan *et al.*, 2019).

Algunos de estos procesos son recientes, como en el caso de *Vieja zonata* (Meek 1905), en donde se identifica que no hay diferencia genética entre las poblaciones de la vertiente Pacífico y Atlántico (McMahan *et al.*, 2019), aunque Del Moral-Flores *et al.*, (2018) distinguen por diferencias morfológicas a *V. coatlucue* de *V. zonata* en el Atlántico, en este sentido se necesitan más estudios para verificar a esta especie como transistmica o como taxones aislados durante el Plioceno en el istmo de Tehuantepec.

Adicionalmente, Díaz-Infante (2013) y Salgado-Maldonado *et al.* (2020) mencionan la presencia de tres ciclidos y un eleótrido en el río Negro (Fig. 1). Sin embargo, estas especies no fueron capturadas en el transcurso de esta investigación y debido a que no corresponden con sus áreas de distribución resulta dudosa su presencia en el área, siendo *Theraps irregularis* Günther 1862 y *Thorichthys helleri* (Steindachner 1864) especies que se encuentran en la Región del Grijalva-Usumacinta hacia Guatemala, mientras que *Vieja guttulata* (Günther 1864) y *Eleotris picta* Kner 1863 son especies restringidas a la vertiente del Pacífico hacia Centroamérica (Miller *et al.* 2009; Řičan *et al.* 2016; Del Moral-Flores *et al.*, 2017).

Es imprescindible continuar con estudios ecológicos y de aprovechamiento, principalmente de las especies endémicas, para conocer el estado de sus poblaciones y de conservación actual. Ejemplo de ello es la especie *J. pichardi*, cuya situación se encuentra en riesgo debido a la sobre explotación (Pérez-Téllez, 2008; Miller *et al.*, 2009; SAGARPA, 2014). El grado de vulnerabilidad de la ictiofauna de la cuenca del río Coatzacoalcos es preocupante, debido a la reciente incursión y registro de *Pterygoplichthys disjunctivus* (Weber 1991) y *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) (especies exóticas) y una alóctona (*P. splendida*). En el caso de la tilapia se ha introducido con fines de aprovechamiento acuícola en la cabecera municipal y en la localidad "La Fortaleza" (Tabla 1).

Finalmente, los pobladores del municipio reconocen que existe una sobre explotación de la ictiofauna, por ello han implementado estrategias para su conservación y uso sustentable, ya que estos recursos pesqueros tienen un papel económico y socio-cultural muy importante para la región (López-Segovia, 2018; López-Segovia & Del Moral-Flores, 2019).

AGRADECIMIENTOS

La presente contribución es dedicada a la memoria de Adán E. Gómez González, ictiólogo chiapaneco, impulsor de la ictiología en México dedicando sus estudios al conocimiento de la ictiofauna del suroeste del país. Agradecemos el apoyo en campo a los alumnos del Laboratorio de Zoología de la FES-Iztacala, a N.I. Vergara-Ledezma por la elaboración del mapa. A los pobladores y autoridades de La Esmeralda, San Francisco La Paz, La Fortaleza, Escolapa, Congregación José López Portillo y de la cabecera municipal de Santa María Chimalapa, en especial a Fidel Jiménez Zárate y familia cuyo apoyo durante el muestreo fue fundamental para la presente investigación. El primer autor agradece al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM y al CONACYT, el segundo autor agradece al programa CONACYT-SNI y a la Dra. Patricia Dávila Aranda. El tercer autor agradece a la Fundación Students On Ice y a Geoff Green, a Heather Dewar y Rachel Boere por el apoyo brindado para la realización del proyecto "Our earth, our life. The Zoque Jungle of Santa María Chimalapas".

REFERENCIAS

- AGORRETA, A., O. DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, R. G. REINA, R. MIRANDA, E. BERMINGHAM & I. DOADRIO. 2013. Phylogenetic relationships and biogeography of *Pseudoxiphophorus* (Teleostei: Poeciliidae) based on mitochondrial and nuclear genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 66: 80-90. DOI: 10.1016/j.ympev.2012.09.010
- AGUILAR, E. R. 2006. Composición de la ictiofauna de la cuenca del río Espíritu Santo, San Miguel Chimalapa. *In: Ortega-Del Valle, D. T., T. Carranza-López & J. Martínez-Pérez (eds.). Una mirada desde el corazón de la jicara de oro. Experiencias de conservación en la Selva Zoque de los Chimalapas.* World Widelifund México. USAID, pp. 198-203.
- AGUILAR-LÓPEZ, J. L., E. PINEDA, E. LURÍA-MANZANO & L. CANSECO-MARQUEZ. 2016. Species diversity, distribution, and conservation status in a Mesoamerican region: amphibians of the Uxpanapa-Chimalapas Region, Mexico. *Tropical Conservation Science* 9(4): 1-16. DOI:10.1177/1940082916670003
- ÁLVAREZ, J. & J. CARRANZA. 1952. Cuatro especies nuevas de peces dulceacuícolas del sureste de México. *Ciencia* 11 (10-12): 281-289.
- ANAYA, A. L. & M. ÁLVAREZ. 1994. *Plan de desarrollo y conservación de una reserva campesina en los Chimalapas.* México. Secretaría de Desarrollo Social, Instituto de Ecología y Programa de acción Forestal Tropical A. C., México, D.F. 57 p.
- ANZUETO-CALVO, M. J., E. VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ & A. E. GÓMEZ-GONZÁLEZ. 2016. Peces de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote y presa Nezahualcóyotl (Malpaso) Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 972-979. DOI: 10.1016/j.rmb.2016.07.002
- ARMBRUSTER, J. W. & L. M. PAGE. 2006. Redescription of *Pterygoplichthys punctatus* and description of a new species of *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae). *Neotropical Ichthyology* 4(4): 401-409. DOI: 10.1590/S1679-62252006000400003
- BUSSING, W. A. 2002. *Peces de las aguas continentales de Costa Rica.* Universidad de Costa Rica, San José. 217 p.
- CARPENTER, K. E. 2002. Cichlidae. Cichlids. *In: Carpenter, K. E (ed.). The living marine resources of the Western Central Atlantic. Vol. 3: Bony*

- fishes part 2 (*Opistognathidae to Molidae*), sea turtles and marine mammals. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, pp 1690-1693.
- CASTRO-AGUIRRE, J. L., H. S. ESPINOSA-PÉREZ & J. J. SCHMITTER-SOTO. 1999. *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Limusa, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México. 711 p.
- DE LACHICA-BONILLA, F. 1980. *Diversidad espacial y temporal de la bentocenosis del estuario del Río Coatzacoalcos, Veracruz, México*. Memorias del Seminario: Estudio científico e impacto humano en el ecosistema de Manglares. UNESCO, 15 p.
- DEL MORAL-FLORES, L. F., E. LÓPEZ-SEGOVIA & T. HERNÁNDEZ-ARELLANO. 2017. Descripción de *Thorichthys panchovillai* sp. n., una nueva especie de cíclido (Actinopterygii: Cichlidae) de la cuenca del Río Coatzacoalcos, México. *Revista Peruana de Biología* 24 (1): 3-10. DOI:10.15381/rpb.v24i1.13104.
- DEL MORAL-FLORES, L. F., E. LÓPEZ-SEGOVIA & T. HERNÁNDEZ-ARELLANO. 2018. *Vieja coatlicue* sp. nov., una nueva especie de cíclido (Actinopterygii: Cichlidae) de la cuenca del Río Coatzacoalcos, México. *Revista de Zoología* 29: 15-31.
- DEL MORAL-FLORES, L.F., E. LÓPEZ-SEGOVIA & T. HERNÁNDEZ-ARELLANO. 2020. *Profundulus chimalapensis*, una nueva especie de pez ciprinodóntido (Cyprinodontiformes: Profundulidae) del Río Coatzacoalcos, México. *Revista de Biología Tropical* 68(4): 1185-1197. DOI: 10.15517/RBT.V68I4.40340
- DÍAZ-INFANTE, C. 2013. Fauna helmintológica de peces de agua dulce de los Chimalapas. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, CDMX, México. 47 p.
- DOMÍNGUEZ-CISNEROS, S. & R. RODILES-HERNÁNDEZ. 1998. *Guía de peces del Río Lacanjá, Selva Lacandona, Chiapas*. El Colegio de la Frontera Sur, Ciudad de México. 68 p.
- FRICKE, R., W. N. ESCHMEYER & R. VAN DER LAAN. 2020a. Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species. Department of Ichthyology, California Academy of Sciences. Disponible en línea en: (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>) (consultado 30 de agosto 2020).
- FRICKE, R., W. N. ESCHMEYER & J. D. FONG. 2020b. Species by family/ sub-family. Department of Ichthyology, California Academy of Sciences. Disponible en línea en: (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp>) (consultado 30 de agosto 2020).
- GÓMEZ-GONZÁLEZ, A.E., E. VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ, R. RODILES-HERNÁNDEZ, A. A. GONZÁLEZ-DÍAZ, A. F. GONZÁLEZ-ACOSTA & J. L. CASTRO-AGUIRRE. 2012. Lista sistemática de la ictiofauna en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83: 674-686. DOI:10.7550/rmb.24468
- GÓMEZ-GONZÁLEZ, A. E., E. VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ & M. J. ANZUETO-CALVO. 2014. Primer registro de *Xiphophorus clemenciae* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) en la cuenca del río Grijalva, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(3): 975-978. DOI: 10.7550/rmb.35174
- GÓMEZ-GONZÁLEZ, A. E., E. VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ, M. J. ANZUETO-CALVO & M. F. MAZA-CRUZ. 2015. Fishes of the Grijalva River basin of Mexico and Guatemala. *Check List* 11(5): 17-26. DOI:10.15560/11.1726
- GONZÁLEZ-DÍAZ, A. A., R. M. QUIÑONES, J. VELÁZQUEZ-MARTÍNEZ & R. RODILES-HERNÁNDEZ. 2008. Fishes of La Venta river in Chiapas, México. *Zootaxa* 1685: 47-54.
- HINAUX, H., S. RÉTAUX & Y. ELIPOT. 2015. Social behavior and aggressiveness in *Astyanax*. In: Keene, A., M. Yoshizawa & S. E. Mcgaugh (eds). *Biology and Evolution of the Mexican Cavefish*. New York: Academic Press Elsevier, pp. 335-359. DOI:10.1016/B978-0-12-802148-4.00017-7
- IUCN (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE). 2020. The IUCN Red List of Threatened Species (IUCN). Disponible en línea en: <http://www.iucnredlist.org/> (consultado el 25 de agosto 2020).
- JELKS, H. L., S. J. WALSH, N. M. BURKHEAD, S. CONTRERAS-BALDERAS, E. DIAZ-PARDO, D. A. HENDRICKSON, J. LYONS, N. E. MANDRAK, F. McCORMICK, J. S. NELSON, S. P. PLATANIA, B. A. PORTER, C. B. RENAUD, J. J. SCHMITTER-SOTO, E. B. TAYLOR & M. L. JR. WARREN. 2008. Conservation status of imperiled North American freshwater and diadromous fishes. *Fisheries* 33 (8): 372-407. DOI:10.1577/1548-8446-33.8.372
- JOZADA, L. & M. PAEZ. 1986. *La fauna acuática del río Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo*. Universidad Veracruzana. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. 133 p.
- LIRA-TORRES, I., C. GALINDO-LEAL & M. BRIONES-SALAS. 2012. Mamíferos de la Selva Zoque, México: riqueza, uso y conservación. *Revista de Biología Tropical* 60 (2): 781-797. DOI:10.15517/rbt.v60i2.3999
- LÓPEZ-SEGOVIA, E. 2018. Listado sistemático de la ictiofauna de la selva zoque de Santa María Chimalapa, Oaxaca: con comentarios de su biogeografía, conservación y etnobiología. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. CDMX, México. 107 p.
- LÓPEZ-SEGOVIA, E. & L. F. DEL MORAL-FLORES. 2019. Etnoictiología Zoque de Santa María Chimalapa, Oaxaca, México. *Etnobiología* 17(3): 49-65.
- LÓPEZ-SEGOVIA, E., L. F. DEL MORAL-FLORES, T. HERNÁNDEZ-ARELLANO, L. A. ÁLVAREZ-MÁRQUEZ & D. URBINA-DOMÍNGUEZ. 2019. Inventario preliminar de la ictiofauna del Área de Protección de Recursos Naturales "La Frailescana", Chiapas, sureste de México. *Lacandonia* 12 (12): 97-104.
- LÓPEZ-VILA, J. M., E. VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ, J. C. RUIZ-VELAZCO & S. TECO-MAZARIEGOS. 2009. Ictiofauna de la reserva ecológica El Canelar, Chiapas, México. *Lacandonia* 3(1): 51-57.
- LOVEJOY, N. R. & B. B. COLLETTE. 2001. Phylogenetic relationships of New World needlefishes (Teleostei: Belontiidae) and the biogeography of transitions between marine and freshwater habitats. *Copeia* (2): 324-338. DOI:10.1643/0045-8511(2001)001[0324:PRONWN]2.0.CO;2
- LYONS, T. J., MAÍZ-TOMÉ, L., M. TOGNELLI, A. DANIELS, C. MEREDITH, R. BULLOCK, I. HARRISON, T. CONTRERAS-MACBEATH, D. A. HENDRICKSON, J. ARROYAVE, N. MERCADO-SILVA, M. KÖCK, O. DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, A. VALDÉS-GONZÁLEZ, H. ESPINOSA-PÉREZ, M. A. GÓMEZ-BALANDRA, W. MATAMOROS, J. J. SCHMITTER-SOTO, E. SOTO-GALERA, J. M. RIVAS-GONZÁLEZ, M. E. VEGA-CENDEJAS, C.
- P. ORNELAS-GARCÍA, S. NORRIS & H. O. MEJÍA GUERRERO. 2020. *The status and distribution of freshwater fishes in Mexico*. IUCN Cambridge, UK in collaboration with ABQ BioPark, Albuquerque, New Mexico. 91 p.
- MALDONADO-KOERDELL, M. 1964. Geohistory and paleogeography of Middle America. In: Wauchope, R. & R. C. West (eds.). *Handbook of middle*

- American Indians*. Austin, Natural Environment and Early Cultures, University Texas Press, pp.3-32.
- MARCENIUK, A. P. & R. BETANCUR-R. 2008. Revision of the species of the genus *Cathorops* (Siluriformes: Ariidae) from Mesoamerica and the Central American Caribbean, with description of three new species. *Neotropical Ichthyology* 6(1): 25-44. DOI: 10.1590/S1679-62252008000100004
- MARTÍNEZ-RAMÍREZ, E. & R. M. GÓMEZ-UGALDE. 2006. Los peces de las cuencas hidrológicas de Oaxaca, México. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras* 24 (1): 46-50.
- MARTÍNEZ-RAMÍREZ, E., I. DOADRIO-VILLAREJO & A. DE SOSTOA-FERNÁNDEZ. 2004. Peces continentales. In: García-Mendoza, A., M. Ordoñez & A. Briones-Salas (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM - Fondo Oaxaqueño para la conservación de la naturaleza, World Wildlife Found, pp. 357-373.
- MARSHALL, C. J. & J. K. LIEBHERR. 2000. Cladistic biogeography of the Mexican transition zone. *Journal of Biogeography* 27 (1): 203-216. DOI:10.1046/j.1365-2699.2000.00388.x
- MATEOS, M., O. I. SANJUR & R. C. VRIJENHOEK. 2002. Historical biogeography of the livebearing fish genus *Poeciliopsis* (Poeciliidae: Cyprinodontiformes). *Evolution* 56: 972-984. DOI: 10.1554/00143820(2002)056[0972:HBOTLF]2.0.CO;2
- McMAHAN, C. D., W. A. MATAMOROS, D. J. ELÍAS & K. R. PILLER. 2019. Species or population? Systematic status of *Vieja coatlilcue* (Teleostei: Cichlidae). *Neotropical Ichthyology* 17(2): e190004. DOI:10.1590/1982-0224-20190004
- MEEK, S. E. 1904. The fresh water fishes of Mexico north of the Isthmus of Tehuantepec. *Field Columbian Museum Publication. Zoological Series* 5: 1-252.
- MILLER, R. R. 1986. Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico. *Anales Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 30 (1-4): 121-153.
- MILLER, R.R., W. L. MINCKLEY & S. M. NORRIS. 2009. *Peces dulceacuicolas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana A. C., El Colegio de la Frontera Sur y Consejo de los Peces del Desierto México-Estados Unidos, Ciudad de México. 559 p.
- MORCILLO, F., C. P. ORNELAS-GARCÍA, L. ALCÁZAR, W. A. MATAMOROS & I. DOADRIO. 2015. Phylogenetic relationships evolutionary history of the Mesoamerican endemic freshwater fish family Profundulidae (Cyprinodontiformes: Actinopterygii). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 94(1): 242-251. DOI:10.1016/j.ympev.2015.09.002
- MYERS, G. S. 1938. Freshwater fishes and West Indian Zoogeography. *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution* 92: 339-364.
- NAVARRO-SIGÜENZA, A. G., L. C. MÁRQUEZ & H. O. MONROY. 2008. Vertebrados terrestres de Los Chimalapas: Una prioridad de conservación. *Biodiversitas* 77: 10-15.
- PERDICES, A., I. DOADRIO & E. BERMINGHAM. 2002. Evolutionary history of the genus *Rhamdia* (Teleostei: Pimelodidae) in Central America. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 25: 172-189. DOI:10.1016/S1055-7903(02)00224-5
- PERDICES, A., I. DOADRIO & E. BERMINGHAM. 2005. Evolutionary history of the synbranchid eels (Teleostei: Synbranchidae) in Central America and the Caribbean islands inferred from their molecular phylogeny. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 37: 460-473. DOI: 10.1016/j.ympev.2005.01.020
- PÉREZ-TÉLLEZ, I. 2008. Carlos Muñoz y su crónica de Santa María Chimalapa. In: Trejo-Barrientos, L. & M. Alonso-Bolaños (eds.). *Los Zozques de Oaxaca: Un viaje por los Chimalapas*. Colección Etnográfica de los Pueblos Indígenas de México. Serie Estudios Monográficos. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, pp. 33-52.
- REGAN, C. T. 1906-1908. Pisces. In: Godman, F.D. & S. Salvin (eds.). *Biología Centrali-Americana*. 7. R. H. Porter, London, pp. 1-201.
- ŘÍČAN, O., L. PÍÁLEK, K. DRAGOVÁ & J. NOVÁK. 2016. Diversity and evolution of the Middle American cichlid fishes (Teleostei: Cichlidae) with revised classification. *Vertebrate Zoology* 66 (1):1-102.
- RODILES-HERNÁNDEZ, R., J. G. LUNDBERG & J. P. SULLIVAN. 2010. Taxonomic discrimination and identification of extant blue catfishes (Siluriformes: Ictaluridae: *Ictalurus furcatus* Group). *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 159 (1): 67-82. DOI:10.1635/053.159.0105
- SALGADO-MALDONADO, G., J. M. CASPETA-MANDUJANO, E. MARTÍNEZ-RAMÍREZ, J. MONTOYA-MENDOZA & E. F. MENDOZA-FRANCO. 2020. Diversity of helminth parasites of freshwater fish in the headwaters of the Coatzacoalcos River, in Oaxaca, Mexico. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 12 (2020): 142-149. DOI: 10.1016/j.ijppaw.2020.05.008
- SAGARPA (SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN). 2014. Realiza INAPESCA estudios para producción sustentable de especies endémicas, generadoras de empleo. Comunicado de Prensa NUM. 048/14. Ciudad de México. Enero: 1-2.
- SCHMITTER-SOTO, J. J. 2017. A revision of *Astyanax* (Characiformes: Characidae) in Central and North America, with the description of nine new species. *Journal of Natural History* 51 (23/24): 1331-1424. DOI: 10.1080/00222933.2017.1324050
- SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. Diciembre 2: 1-78.
- VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ, E., A. E. GÓMEZ-GONZÁLEZ, M. J. ANZUETO-CALVO & V. A. VILLATOTO-ÁLVAREZ. 2014. *Peces del Parque Nacional del Cañón del Sumidero, Chiapas, México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México. 63 p.
- WALSH, S. J. & P. CHAKRABARTY. 2016. A new genus and species of Blind Sleeper (Teleostei: Eleotridae) from Oaxaca, Mexico: First Obligate Cave Gobiiform in the Western Hemisphere. *Copeia* 104 (2): 506-517. DOI:10.1643/ci-15-275

Riqueza de protistas en la presa El Cajón, Querétaro, México: aproximación temporal y espacial

Richness of protists in El Cajón dam, Querétaro, Mexico: temporal and spatial approximation

Mariel Velázquez-Medina¹*, Rosaura Mayén-Estrada² y Rubén Pineda-López^{1*}

Recibido: 27 de enero de 2020.

Aceptado: 25 de julio de 2020.

Publicado: agosto de 2020.

RESUMEN

Antecedentes: Pese a que los protistas son componentes importantes en los ecosistemas y microhábitats acuáticos, en México su conocimiento es escaso, por lo que es relevante contribuir con estudios de su diversidad en el país. **Objetivo:** En este trabajo se documenta la diversidad de protistas y su variación espacial y temporal en una presa urbana en Querétaro, México. **Métodos:** Se realizaron muestreos superficiales cada semana durante un periodo anual de julio 2015 a julio 2016 en dos puntos de la presa, uno hacia su parte media y otro en su parte posterior. Se comparó la riqueza y la composición de los taxones, tanto espacial como temporalmente, así como la relación de las comunidades con la precipitación y la temperatura atmosférica, con ayuda de análisis de comparación de la riqueza de especies a una misma cobertura de muestra y de técnicas multivariadas. **Resultados:** Se determinó un total de 17 taxones pertenecientes a los phyla Amoebozoa, Euglenozoa, Ciliophora y Heliozoa. Se aportan 11 registros nuevos para el estado de Querétaro en un área representativa de las zonas semiáridas del centro del país. Las especies más frecuentes en los muestreos fueron *Coleps hirtus*, *Paramecium caudatum* y *Stentor coeruleus*. La composición de los taxones entre los puntos de muestreo fue diferente. Ambos puntos presentaron en el año dos picos de riqueza y dos comunidades diferentes, que correspondieron a las temporadas de lluvias en verano y de sequía en invierno. **Conclusiones:** La estacionalidad juega un papel importante para el desarrollo y establecimiento de las comunidades de protistas en la presa El Cajón.

Palabras clave: Cambio estacional, Amoebozoa, Euglenozoa, Ciliophora, Heliozoa.

ABSTRACT

Background: Although protists are important components of aquatic ecosystems and microhabitats, their knowledge in Mexico is scarce, making it relevant to contribute with studies of their diversity in the country. **Objective:** In this study, protist diversity and its spatial and temporal variation are documented in an urban dam in Querétaro, México. **Methods:** Superficial samplings were performed each week from August 2015 to July 2016 in two points of the dam: one towards its middle part and another in its posterior part. Richness and composition of taxa, both spatially and temporally, as well as the relationship of the communities with precipitation and atmospheric temperature, were compared using species richness comparison analyses at the same sample coverage and multivariate techniques. **Results:** 17 taxa were determined, belonging to phyla Amoebozoa, Euglenozoa, Ciliophora and Heliozoa. 11 new records are provided for Querétaro, which is part of the semi-arid areas in the center of the country. The most frequent species in the sampling were *Coleps hirtus*, *Paramecium caudatum*, and *Stentor coeruleus*. The taxon composition between the sampling points was different and showed two richness peaks and two different communities in the year, which corresponded to wet and dry seasons. **Conclusions:** Seasonality plays an important role in the establishment and development of protist communities in the El Cajón dam.

Keywords: Seasonal change, Amoebozoa, Euglenozoa, Ciliophora, Heliozoa.

¹ Laboratorio de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Av. de las Ciencias s/n Juriquilla, Querétaro, 76230. México

² Laboratorio de Protozoología, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Ext. s/n., Ciudad Universitaria, Av. Universidad 3000, Del. Coyoacán, Ciudad de México, 04510. México

***Corresponding author:**

Rubén Pineda-López: e-mail: rpineda62@hotmail.com

To quote as:

Velázquez-Medina, M., R. Mayén-Estrada & R. Pineda-López. 2020. Riqueza de protistas en la presa El Cajón, Querétaro, México: aproximación temporal y espacial. *Hidrobiológica* 30 (2): 117-127.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbh/hidro/2020v30n2/Velazquez

INTRODUCCIÓN

En los protistas se incluyen taxones como amebozoos, euglenozoos, ciliados y heliozoos, los cuales habitan en ambientes acuáticos, dulceacuicolas, marinos, hipersalinos o salobres, e interfaces como agua-suelo o agua-aire (Coleman *et al.*, 1977; Foissner, 1987; Humphrey *et al.*, 2008; Lynn 2012) y también son simbioses de animales y plantas. La mayoría son heterótrofos, fagótrofos u osmótrofos, con movimiento por medio de pseudópodos, flagelos o cilios, carecen de pared celular y algunos euglenozoos presentan cloroplastos (Aladro-Lubel, 2009; Mayén-Estrada *et al.*, 2014a, 2014b). Ecológicamente son un componente importante de las redes tróficas y del reciclamiento de nutrientes en los ecosistemas (Anderson, 1987; Fenchel, 1987; Laybourn-Parry, 1992; Arndt & Berninger, 1995), además de jugar un papel importante como principales consumidores de bacterias (Patterson, 2003).

Se estima que pueden existir aproximadamente 90,000 especies de protistas de vida libre en hábitats terrestres y acuáticos (Corliss, 2002; Brusca & Brusca, 2003; Foissner, 2007; Aladro-Lubel, 2009). Para los cuerpos de agua continentales de México existen pocos estudios sobre su diversidad, los cuales se han desarrollado principalmente en nueve cuerpos de agua, entre los cuales están Chapultepec y Xochimilco en la Ciudad de México, la laguna La Mancha en Veracruz y las lagunas de Zempoala en Morelos (López-Ochoterena, 2001; Mayén-Estrada *et al.*, 2014a, 2014b). Esta escasez de estudios está ligada al también reducido número de investigadores en este campo en el país. En México se tienen registradas alrededor de 146 especies de protistas flagelados heterótrofos (Mayén-Estrada *et al.*, 2014a), 995 especies de ciliados de vida libre (Mayén-Estrada *et al.*, 2014b) y 315 especies de amebas de vida libre (Gallegos-Neyra *et al.*, 2014). Para el Estado de Querétaro solo se han registrado 13 taxones de protistas (Sigala-Regalado *et al.*, 2011). Ante esta carencia de estudios, es importante aumentar los trabajos sobre estos importantes organismos en nuestro país, a fin de actualizar y contribuir al avance del estudio de protistas en México. Con este fin, en este trabajo se analizó la riqueza y la composición espacial y temporal de taxones de protistas que habitan en la capa superficial de la presa “El Cajón”, Querétaro, México, durante un ciclo anual.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presa El Cajón se encuentra localizada hacia el extremo oeste del estado de Querétaro, dentro de la región de El Bajío (Bayona, 2016) y en la zona metropolitana de la ciudad de Santiago de Querétaro. Se construyó en el año 1880 al norte de dicha ciudad, en las coordenadas 20°41'55.04" N y 100°27'29.69" O (INEGI, 1986; Fig. 1). Tiene un área máxima de 26.6 ha (Pineda-López, 2009). El clima de la zona es semiseco con lluvias principalmente en verano. La temperatura media anual es de 18.1°C, el mes más caluroso es mayo con una temperatura máxima media anual de 33°C y el más frío es diciembre con una temperatura mínima media anual de -0.3°C. La precipitación media anual es de 467.9 mm, ocurre principalmente en verano (Tutiempo.net, 2020; Fig. 2).

Para el trabajo de campo se lograron colocar sólo dos puntos de muestreo ya que es un fraccionamiento privado con acceso restringido. El primer sitio de muestreo (PM) se ubicó hacia la zona media de la presa (20°41'44.58" N, 100°27'20.55" O), mientras que el segundo sitio (PP) se colocó en la parte posterior de la presa (20°42'8.35" N,

100°27'36.81" O), en un canal de entrada con vegetación acuática dispersa, un denso arbolado en sus orillas y profundidad entre 1 y 1.5 m (Fig. 1).

Se realizaron 48 muestreos en cada uno de los dos sitios de la presa con una periodicidad semanal, de agosto 2015 a julio 2016. En cada sitio se tomó una muestra de agua de la capa superficial con un frasco limpio de plástico de 1 L a una profundidad máxima de 15 cm y hasta tener lleno una tercera parte del frasco (Aladro-Lubel, 2009). Todos los muestreos se llevaron a cabo entre las 10:00 y las 16:00 h. Las muestras se transportaron al laboratorio dentro de las 24 h después de su colecta, donde fueron mantenidas a exposición solar indirecta y temperatura ambiente. Se realizaron observaciones, anotaciones y mediciones in vivo de todos los organismos presentes en las muestras de agua (Lee *et al.*, 1985), con ayuda de microscopía óptica de contraste de fases y campo claro. Posteriormente, para la identificación de los taxones se preparó una mezcla de infusiones para cultivar y generar una cantidad suficiente de organismos y elaborar preparaciones permanentes con las técnicas de hematoxilina de Harris, carbonato de plata amoniacal (Fernández-Galiano, 1976), nitrato de plata en seco (Klein, 1926, 1958) y NMF de Borrór (Aladro-Lubel, 2009; Borrór, 1968). El registro microfotográfico se realizó con una cámara LEICA DM500 tanto en las observaciones in vivo, como para las técnicas implementadas. Para el arreglo taxonómico del phylum Ciliophora se siguió la propuesta de clasificación de Lynn (2008) y para los phyla Amoebozoa, Euglenozoa y Heliozoa se siguieron las clasificaciones de Lee *et al.* (2000). De todos los taxones observados in vivo y en tinciones, solo se consideraron para este trabajo aquellos con los que se contó con suficientes características morfológicas en el registro microfotográfico para lograr su identificación.

Se generó una base de datos de incidencia de los taxones por fecha y sitio de colecta. Para el análisis de la riqueza se graficó el número total de taxones por mes para ambos puntos de muestreo. La comparación de la riqueza de taxones se realizó con el programa iNEXT, que utiliza tanto interpolaciones (rarefacción) como extrapolaciones de los datos para realizar dicha comparación a una misma cobertura de muestra (Chao *et al.*, 2016). En éste y posteriores análisis, se utilizó la frecuencia (número de riqueza por taxón presente en cada muestreo) como sustituto de la abundancia.

Para analizar la composición de especies espacialmente, se aplicó la técnica de Escalamiento Multidimensional no Paramétrico (NMDS por sus siglas en inglés, Clarke, 1998), con la cual se generó un gráfico donde se ubicaron los muestreos mensuales de cada sitio con base en su composición de taxones. En este análisis se utilizó el índice de Jaccard, que utiliza la incidencia de las especies. Para verificar la significancia de la diferencia de los muestreos por sitio, se realizó una prueba no paramétrica de similitudes ANOSIM, que utiliza permutaciones y prueba la hipótesis nula de que no existen diferencias en la composición de los ensambles (Clarke & Green, 1988; Magurran, 2004). Se utilizó un análisis de correspondencia canónica (Ter-Braak, 1986, 1987) para ordenar la composición de taxones por mes y evaluar su relación con los promedios mensuales reportados para la temperatura y la precipitación como variables climáticas (Tutiempo.net, 2015, 2016). La significancia de la diferencia de la composición de taxones en los grupos de meses observados, se estimó con la prueba ANOSIM. Estos análisis se llevaron a cabo en el programa PAST 4 (Hammer *et al.*, 2001).

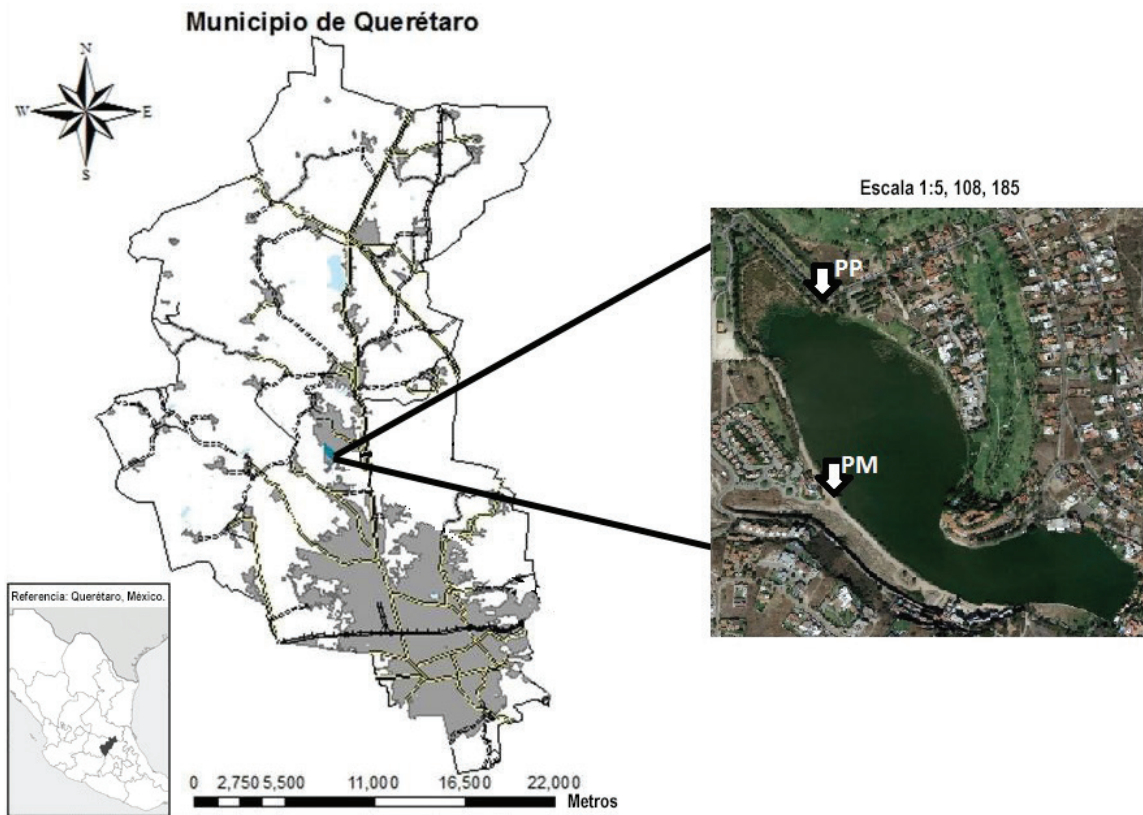


Figura 1. Ubicación de la presa El Cajón y del municipio de Querétaro en el estado de Querétaro, México. Se muestran con flechas los puntos de muestreo: punto posterior (PP) y punto medio (PM).

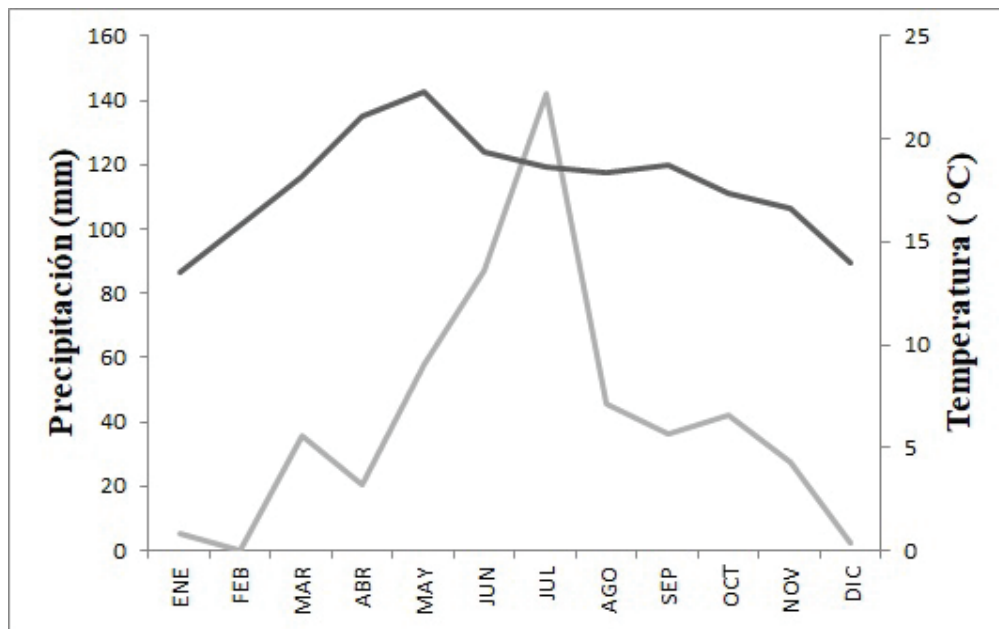


Figura 2. Temperatura (°C) y precipitación (mm) mensuales promedio para el municipio de Querétaro, México, durante los meses muestreados. Datos tomados de la estación meteorológica: Icao (OACI): 766250 MMQT (Tutiempo.net, 2015, 2016).

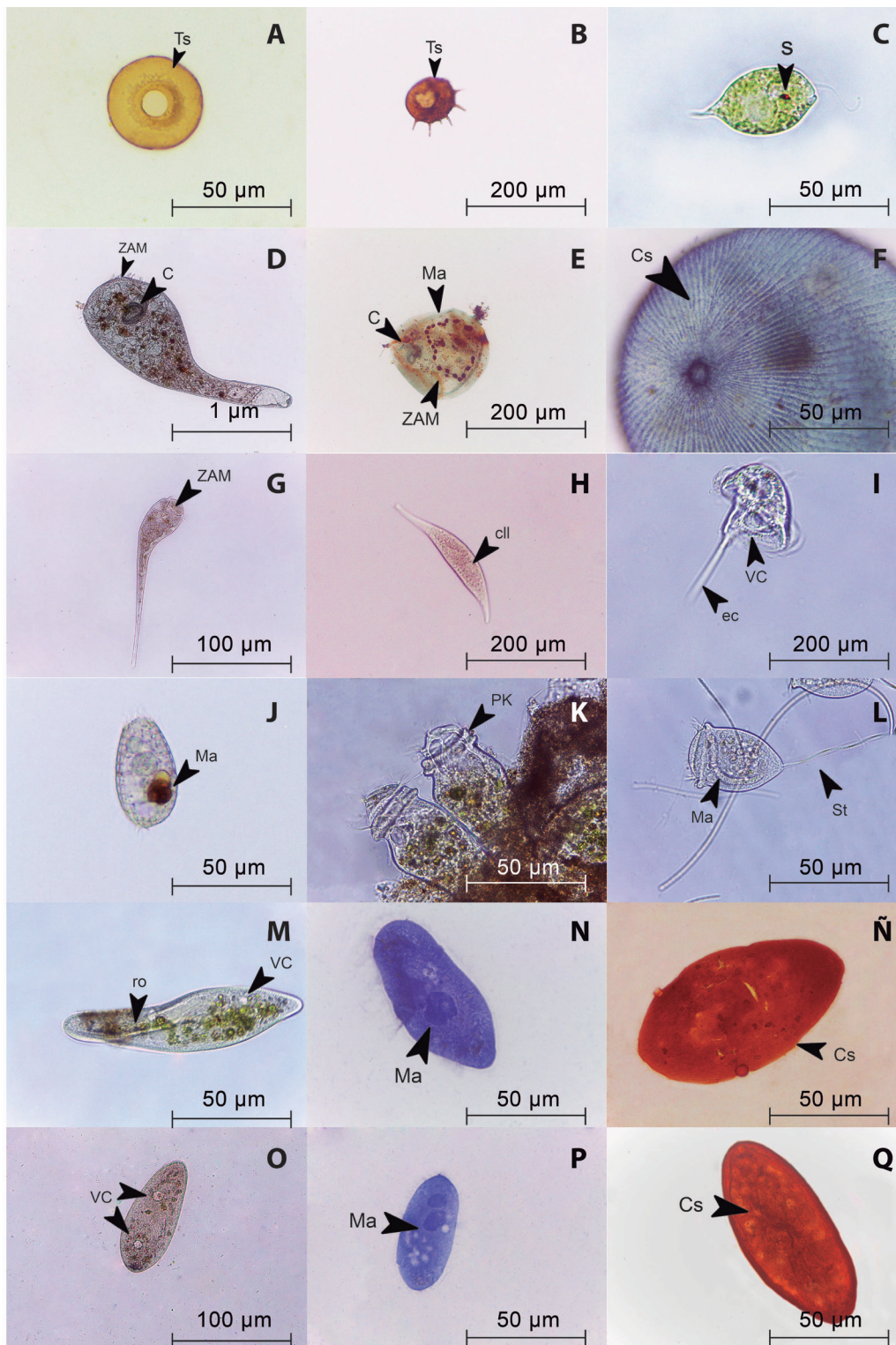


Figura 3. Protistas en la presa El Cajón, Querétaro, México. A: *Arcella* sp., B: *Centropyxis* sp., C: *Phacus* sp., D-F *Stentor coeruleus* (D: en vivo, E: con tinción de carbonato de plata, F: con tinción de NMF), G: *Stentor* sp., H: *Litonotus lamella*, I: *Caenomorpha* sp., J: *Coleps hirtus*, K: *Epistylis* sp., L: *Vorticella* sp., M-Ñ: *Paramecium caudatum* (M: en vivo, N: con tinción de hematoxilina de Harris, Ñ: con tinción de Klein), O-Q: *Paramecium* sp. (O: en vivo, P: con tinción de hematoxilina de Harris, Q: con tinción de Klein). Para las estructuras señaladas: C: citostoma, Cs: cinetias somáticas, ec: espina caudal, Ma: macronúcleo, PK: labio peristomal, ro: región oral, S: estigma, St: pedúnculo, Ts: testa, VC: vacuola contráctil, ZAM: zona adoral de membranelas.

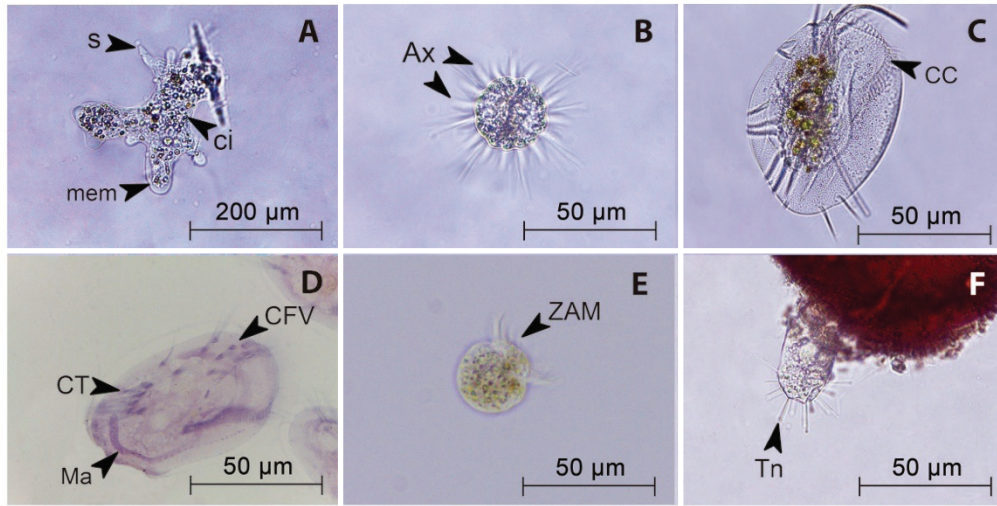


Figura 4. Protistas en la presa El Cajón, Querétaro, México. A: Amoebidae, B: Actinophryidae, C-D: Euplotidae (C: en vivo, D: con tinción de hematoxilina de Harris), E: Oligotrichia, F: Suctoria. Para las estructuras señaladas: Ax: axópodo, CFV: cirros fronto-ventrales, CT: cirros transversales, Ma: macronúcleo, mem: membrana, S: pseudópodo, Tn: tentáculo, ZAM: zona adoral de membranelas.

RESULTADOS

Se determinó un total de 17 taxones en los dos sitios de muestreo (Fig. 3 y 4), 12 pertenecen al phylum Ciliophora [*Caenomorpha* sp., *Coleps hirtus* (Müller, 1786); *Epistylis* sp., Euplotidae, *Litonotus lamella*, (Müller, 1773); Oligotrichida, *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1833; *Paramecium* sp., *Stentor coeruleus*, (Pallas, 1766); *Stentor* sp., Suctoria y *Vorticella* sp.], tres a Amoebozoa (Amoebidae, *Arcella* sp. y *Centropyxis* sp.), uno a Euglenozoa (*Phacus* sp.) y uno a Heliozoa (Actinophryidae, Tabla 1).

Coleps hirtus fue uno de los taxones que tuvo mayor presencia a través del año, ya que se registró en 36 muestreos y estuvo presente en todos los meses en el PP, junto con *P. caudatum* (30 muestreos) y seguidos de Euplotidae (29 muestreos) y *S. coeruleus* (26 muestreos). Los taxones con menor frecuencia de aparición fueron *Arcella* sp., *Caenomorpha* sp., *Phacus* sp. y Suctoria (6-7 muestreos), *Centropyxis* sp. (5 muestreos) y Oligotrichida (4 muestreos). Algunos taxones solo se observaron en el PP, como Actinophryidae, *Arcella* sp., *Caenomorpha* sp., *Centropyxis* sp., *Epistylis* sp., Oligotrichida y Suctoria (Tabla 1).

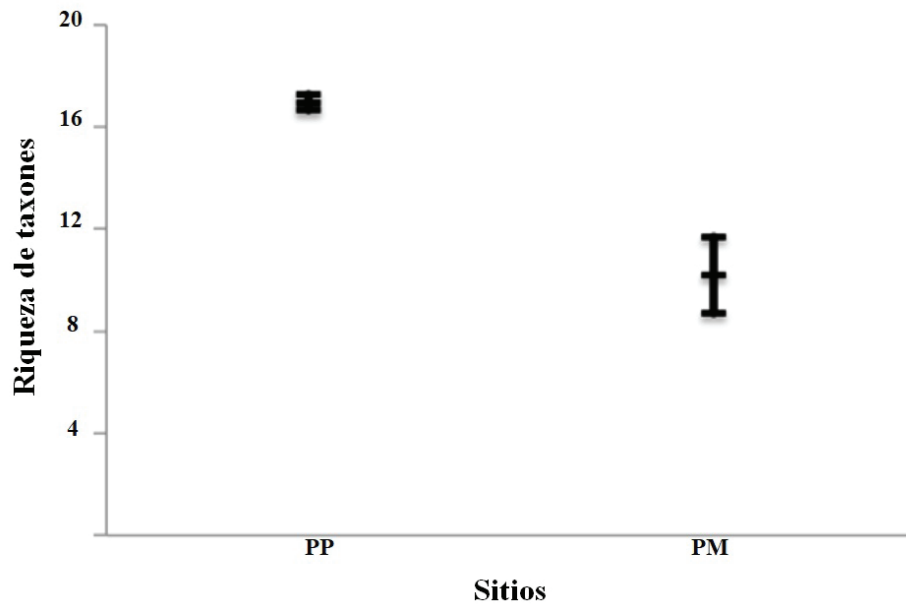


Figura 5. Comparación de la riqueza de especies de los sitios de estudio. Se muestran intervalos de confianza del 95%. PM: primer sitio de muestreo; PP: segundo sitio de muestreo.

Tabla 1. Presencia temporal de los taxones en los sitios de muestreo.

Taxones	Punto Medio												Punto Posterior												TM
	Lluvias						Secas						Lluvias						Secas						
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	
Actinophryidae													2	3	2			2	2	1				12	
Amoebidae	1	2	3	4	2						1	4	2	3	5	3							1	31	
<i>Arcella</i> sp.*												3	3											6	
<i>Caenomorpha</i> sp.*																		2	1	3				6	
<i>Centropyxis</i> sp.*												2	3											5	
<i>Coleps hirtus</i>	4	1	3					2	3	3	4	4	1	2	5	2	3	2	2	3	3	4	4	59	
<i>Epistylis</i> sp.*																	4	2	2	2				10	
Euplotidae *		2	3	2		4	3	2	2			4	3	3	4	2	4	3	2	3	4	4	4	58	
<i>Litonotus lamella</i> *			1	1			1	1				2	3	1				3	2	3	3			21	
Oligotrichida*																			2	2				4	
<i>Paramecium caudatum</i>	1	3	3	3		4	3	2	3	4	1	1	3	3	5	3	4	3	2	3	4	1		59	
<i>Paramecium</i> sp.*			2									4	3	3	2									14	
<i>Phacus</i> sp.*			2											2	2	1								7	
<i>Stentor coeruleus</i> *	1	2	2			1	3	2	3	4		4	3	3	5		4	3	2	3	4		3	52	
<i>Stentor</i> sp.*			2	5	2							3		3	5	2		3	2	3	4	4	4	42	
Suctoría													2	3	2									7	
<i>Vorticella</i> sp.						1						2		3	3	1	4	1	2	2	2			21	

La numeración corresponde al número de muestras por mes en que se registró el taxón. PM: primer sitio de muestreo; PP: segundo sitio de muestreo; TM: número total de muestreos; *Nuevos registros para el estado de Querétaro.

En cuanto la variación espacial, la riqueza anual acumulada del PP fue mayor que la del PM (Fig. 5), y hubo diferencia en la composición de taxones entre ambos puntos (Fig. 6), la cual fue significativa (ANOSIM: $R = 0.28$, $p = 0.003$).

Respecto a la variación temporal de la riqueza, en ambos puntos de muestreo se presentó una mínima en el mes de marzo-abril y una máxima en julio, para posteriormente descender en septiembre-octubre y aumentar principalmente en PP durante diciembre-enero (Fig. 7).

El análisis de correspondencia canónica por meses de muestreo, mostró una asociación de las comunidades observadas principalmente con la precipitación y, secundariamente, con la temperatura ambiental. También evidenció dos grupos de meses de manera semejante en ambos sitios de muestreo: uno formado por los meses de menor precipitación, de octubre a junio en PM y de octubre a mayo en PP; y otro grupo formado por los meses de lluvias, de julio a septiembre en PM y junio a septiembre en PP. Además, marzo, abril y mayo se encuentran arriba de la gráfica principalmente en PP, asociados a mayores temperaturas (Fig. 8A y 8C).

Los taxones asociados a menor precipitación y temperatura fueron *S. coeruleus*, Oligotrichida, *Caenomorpha* sp., *Epistylis* sp., *L. lamella*, *Vorticella* sp. y *P. caudatum*; los asociados a época de secas con ma-

yores temperaturas fueron *C. hirtus*, *Stentor* sp., *S. coeruleus* y Euplotidae.; y los asociados a la época lluviosa fueron Amoebidae, Actinophryidae, Suctoría, *Arcella* sp., *Centropyxis* sp., *Phacus* sp. y *Paramecium* sp. (Fig. 8B y 8D).

DISCUSIÓN

Los protistas se han considerado cosmopolitas con base en que las mismas especies de ciliados pueden encontrarse en cualquier parte del mundo, siempre y cuando el hábitat sea el mismo (Coleman *et al.*, 1977; Foissner, 1987; Olmo, 1998; Humphrey *et al.*, 2008; Lynn, 2012). Los protistas desempeñan un papel importante en el funcionamiento de ecosistemas (Anderson, 1987; Fenchel, 1987; Laybourn-Parry, 1992; Arndt & Berninger, 1995) y son un componente importante del plancton y del bentos (Wetzel, 1975). Forman parte del flujo de energía y transferencia de materia como un eslabón en los primeros niveles tróficos, con lo que contribuyen en los ecosistemas acuáticos como consumidores primarios de otros protistas y, sobre todo, de cianoprocaríotas (Sleigh, 1979; Bamforth, 1985). En este sentido, es importante desarrollar trabajos enfocados no sólo a su sistemática, sino también a su ecología, máxime por el casi nulo conocimiento de las especies de protistas en cuerpos de agua en el estado de Querétaro.

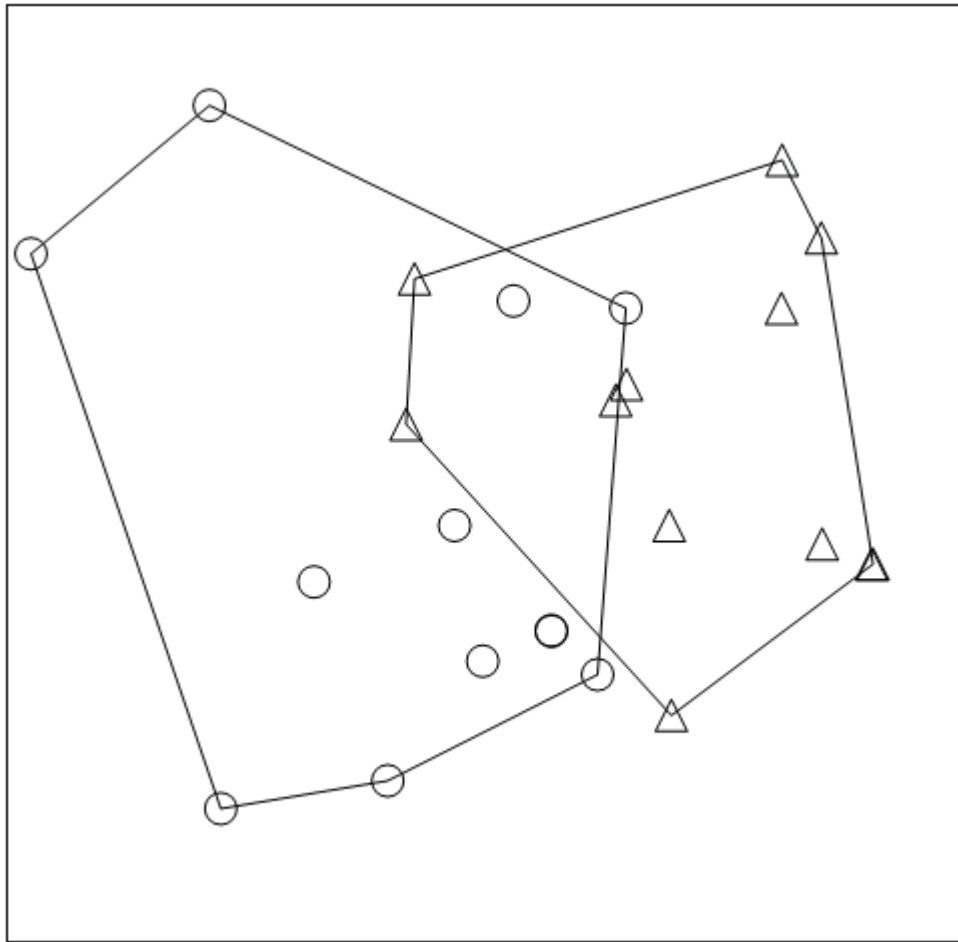


Figura 6. Análisis de la composición de los taxones (NMDS) por mes en los sitios de muestreos. O: meses del sitio de la parte media de la presa (PM), Δ: meses del sitio de la parte posterior (PP).

De tal manera, los resultados de este estudio son importantes tanto a nivel local por la contribución al conocimiento a nivel de estado, donde 11 taxones son nuevos registros, como a nivel regional en zonas semiáridas de México, donde pueden presentarse los taxones y patrones estacionales evidenciados en este trabajo, si bien presas como la del estado de Aguascalientes, México, presenta una composición y riqueza diferente al grupo de protistas, entre ellos a los ciliados (Hernández-Rodríguez *et al.*, 1999).

Espacialmente se observó una diferencia significativa tanto en riqueza como en composición de taxones entre las comunidades de los sitios muestreados, la cual seguramente está asociada a que los sitios se encuentran en zonas que tienen diferentes condiciones en cuanto a incidencia de luz solar, presencia de vegetación acuática y de suministro de agua, ya que el PP está en un canal de entrada a la presa cubierto por follaje de árboles. Estos factores ambientales influyen en la productividad primaria, ciclos de nutrientes y en la producción y variación del zooplancton, incluyendo a los protistas (Hernández-Rodríguez *et al.*, 1999).

En ambos sitios, las comunidades evidenciaron dos picos de riqueza específica, uno en diciembre-enero, temporada de secas y con temperatura más baja y el segundo en el mes de julio, que corresponde al pico de la temporada de lluvias (Tutiempo.net, 2015, 2016). Los máximos de riqueza, tanto en sequía como en invierno, fueron más marcados en el PP posiblemente por un menor volumen de agua, al encontrarse en un canal de entrada a la presa. Los meses de septiembre-octubre y de marzo-abril fueron los meses con menor riqueza específica, lo que coincide con la transición entre las temporadas de lluvias y secas, y cambios físicos y químicos que provocan cambios en la riqueza y composición de protistas como los ciliados (Andrushchshyn *et al.*, 2003; Madoni & Braghiroli, 2007).

Dichos meses de menor riqueza son la transición entre diferentes comunidades, ya que la composición de especies cambia en ellos, como se observó en los resultados del análisis de correspondencia canónica, que señaló como principal factor asociado a dicho cambio a la precipitación y en segundo lugar a la temperatura atmosférica. La influencia de esta última es consecuencia de que se muestreó el agua

superficial, que responde a los cambios de la misma. Acorde con esto, se ha señalado que la susceptibilidad de los protistas a cambios en factores como la temperatura y la precipitación, conduce a una variación temporal de las comunidades (Velho *et al.*, 2005). Así, fue muy evidente la presencia de dos comunidades de protistas, una en temporada de lluvias y otra en temporada de secas. La variación estacional de las comunidades de protistas ha sido documentada anteriormente (Laybourn-Parry, 1992; Shen & Gu, 1965; Xu & Nauwerck, 1997).

La influencia de la precipitación fue diferente en ambos puntos, ya que en la entrada de la presa (PP) el mes de junio presentó una composición diferente (se encuentra al extremo derecho de la gráfica), mientras que en la parte media de la presa (PM) el cambio de las comunidades se presenta hasta julio. Esta diferencia se explica por la ubicación y extensión del área de influencia que poseen, ya que PP es un canal de entrada y PM se encuentra a la mitad de la presa.

La entrada de agua a la presa conlleva, entre otras cosas, una suspensión de sedimentos y el acarreo de algunos protistas bentónicos a la capa superficial de la presa (Mansano *et al.* 2013), como fue el caso

de los Amoebidae de este estudio, que sólo se observaron en época de lluvias. Además, el flujo de agua explica la presencia de cilíados libre-nadadores en el agua superficial, que se desplazan en la columna de agua (Ghane *et al.*, 2016; Hwang *et al.*, 2016), lo que también explica su presencia continua en los muestreos (Aladro-Lubel *et al.*, 1990; Olmo, 1998; Lynn, 2008).

La presa estudiada puede ser representativa de los múltiples embalses de la zona semiárida y árida de México, que son de tamaño pequeño y, al ser estacionales, son influenciados de manera importante por la precipitación y cambios de temperatura y, en algunos casos, de cubierta vegetal (Ramírez-Bastida *et al.*, 2008; Pineda-López, 2009), si bien en este caso la presa El Cajón no presenta grandes variaciones del nivel de agua al tratarse de una presa con fines recreativos ubicada en un fraccionamiento, se puede observar que la estacionalidad tuvo un papel importante para el desarrollo y establecimiento de los protistas en la capa superficial muestreada. En este sentido, la precipitación y la temperatura atmosférica influyeron para que se generaran dos comunidades y picos de riqueza en el año.



Figura 7. Riqueza mensual de especies de agosto 2015 a julio 2016 en los sitios de muestreo. PM: primer sitio de muestreo; PP: segundo sitio de muestreo. AGO: agosto, SEP: septiembre, OCT: octubre, NOV: noviembre, DIC: diciembre, ENE: enero, FEB: febrero, MAR: marzo, ABR: abril, MAY: mayo, JUN: junio, JUL: julio.

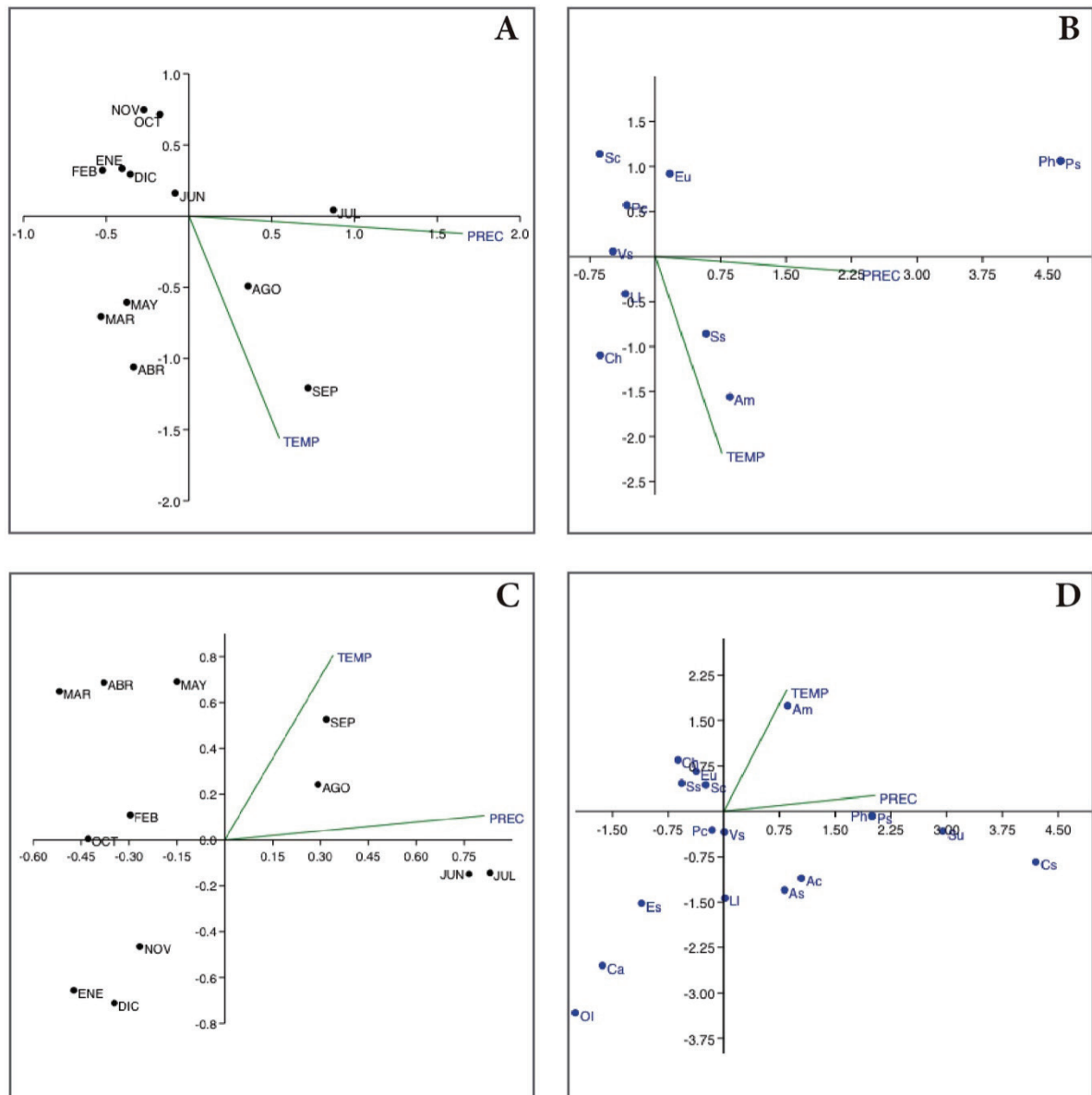


Figura 8. Análisis de correspondencia canónica del sitio de la parte media de la presa (PM) y del sitio de la parte posterior (PP), con los promedios de temperatura atmosférica y precipitación. En A: meses en PM, B: taxones en PM, C: meses en PP y D: taxones de PP. Acrónimo de los taxones: Ac: Actinophryidae, Am: Amoebidae, As: *Arcella* sp., Ca: *Caenomorpha* sp., Ch: *Coleps hirtus*, Cs: *Centropyxis* sp., Eu: Euplotidae, Es: *Epistylis* sp., Ll: *Litonotus lamella*, Ol: Oligotrichida, Pc: *Paramecium caudatum*, Ph: *Phacus* sp., Ps: *Paramecium* sp., Sc: *Stentor coeruleus*, Ss: *Stentor* sp., Su: Suctoria, Vs: *Vorticella* sp.

AGRADECIMIENTOS

A la Biól.M. Reyes-Santos del Laboratorio de Protozoología, Facultad de Ciencias, UNAM, por su apoyo técnico en procedimientos micrográficos. A la Red Temática Biología, Manejo y Conservación de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados (CONACYT 271845) por el apoyo financiero para la movilidad académica de estancias y asesorías en el Laboratorio de Protozoología de la UNAM.

REFERENCIAS

- ALADRO-LUBEL, M. A. 2009. *Manual de prácticas de laboratorio de Protozoos*. Prensas de Ciencias-Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 124 p.
- ALADRO-LUBEL, M. A., M. E. MARTÍNEZ-MURILLO & R. MAYÉN-ESTRADA. 1990. *Manual de ciliados psamófilos marinos y salobres de México*. Ins-

- tituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 174 p.
- ANDERSON, O. R. 1987. *Comparative Protozoology: Ecology, physiology, life history*. Springer, Berlin. 482 p.
- ANDRUSHCHSHYN, O., K. MAGNUSSON & D. D. WILLIAMS. 2003. Ciliate populations in temporary freshwater ponds: seasonal dynamics and influential factors. *Freshwater Biology* 48(3): 548-564.
- ARNDT, H. & U. BERNINGER. 1995. Protists in Aquatic Food Webs-Complex Interactions. In: Brugerolle G. & J. P. Mignot (eds.). *Protistological Actualities*. Couly Clermont-Ferrand, pp. 224-232.
- BAMFORTH, S. S. 1985. Ecology of Protozoa. In: Lee J. J., Hutner S. H. & E. C. Bovee (eds.). *An Illustrated Guide to the Protozoa*. Society of Protozoologists, pp. 7-12.
- BAYONA, C. A. 2016. El Estado de Querétaro. In: Jones R. W. & V. Serrano-Cárdenas (eds.). *Historia Natural del Estado de Querétaro*. Universidad Autónoma de Querétaro, pp. 15-22.
- BORROR, A. C. 1968. Ecology of interstitial ciliates. *Transactions of the American Microscopical Society* 87: 233-243.
- BRUSCA, R. C. & G. J. BRUSCA. 2003. *Invertebrates*. Sinauer, Massachusetts. 936 p.
- CHAO, A., K. H. MA & T. C. HSIEH. 2016. iNEXT Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Available online at: http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/ (downloaded January 8, 2017).
- CLARKE, K. R. 1998. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18(1): 117-143. DOI:10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x
- CLARKE, K. R. & R. H. GREEN. 1988. Statistical design and analysis for a "biological effects" study. *Marine Ecology Progress Series* 46(1): 213-226.
- COLEMAN, D. C., C. V. COLE, R. V. ANDERSON, M. BLAHA, M. R. CAMPION, M. CLARHOLM, E. T. ELLIOT, W. HUNT, B. SCAEFER & J. SINCLAIR. 1977. Soil organisms as component of ecosystems. *Ecology Bulletin* 23: 299-309.
- CORLISS, J. O. 2002. Biodiversity and biocomplexity of the protists and an overview of their significant roles in maintenance of our biosphere. *Acta Protozoologica* 41: 199-219.
- FENCHEL, T. 1987. *Ecology of Protozoa*. Science Technical, Madison. 197 p.
- FERNÁNDEZ-GALIANO, D. 1976. Silver impregnation of ciliated protozoa: procedure yielding good results with the pyridinated silver carbonate method. *Transactions of the American Microscopical Society* 95: 557-560.
- FOISSNER, W. 1987. Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations, indicators of environmental quality, guide to the literature. *Progress in Protistology* 2: 69-212.
- FOISSNER, W. 2007. Protist diversity and distribution: some basic considerations. *Biodiversity and Conservation* 17: 235-242.
- GALLEGOS-NEYRA, E. M., A. LUGO-VÁZQUEZ, A. CALDERÓN-VEGA, M. R. SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ & R. MAYÉN-ESTRADA. 2014. Biodiversidad de protistas amébidos de vida libre en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): S10-S25. DOI:10.7550/rmb.33691
- GHANE, E., A. Z. RANAIVOSON, G. W. FEYEREISEN, C. J. ROSEN & J. F. MONCRIEF. 2016. Comparison of contaminant transport in agricultural drainage water and urban stormwater runoff. *PLoS ONE* 11: e0167834. DOI:10.1371/journal.pone.0167834
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaentologia Electronica* 4: 1-9.
- HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M. A., G. E. SANTOS-MEDRANO, G. QUINTERO-DÍAZ & R. RICO-MARTÍNEZ. 1999. Correlación en la precipitación pluvial y la densidad y la composición del zooplancton de ocho represas del estado de Aguascalientes, México. *Revista de Biología Tropical* 47(1): S121-S127.
- HUMPHREY, G. S., A. BOBROV & E. LARA. 2008. Diversity and biogeography of testate amoebae. *Biodiversity and Conservation* 17(2): 329-343. DOI:10.1007/s10531-007-9260-9
- HWANG, H. M., M. J. FIALAA, D. PARKB & T. L. WADEC. 2016. Review of pollutants in urban road dust and stormwater runoff: part 1. Heavy metals released from vehicles. *International Journal of Urban Sciences* 20: 1-27. DOI:10.1080/12265934.2016.1193041
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). 1986. Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del estado de Querétaro 1986. INEGI, México. 144 p.
- KLEIN, B. M. 1926. Ergebnisse mit einer Silbermethode ber Ciliaten. *Archives fur Protistenkunden* 56: 243-279.
- KLEIN, B. M. 1958. The "dry" silver method and its proper use. *Journal of Protozoology* 5: 99-103.
- LAYBOURN-PARRY, J. 1992. *Protozoan Plankton Ecology*. Chapman Hall, Reino Unido. 231 p.
- LEE, J. J., S. H. HUTNER & E. C. BOVEE. 1985. *An Illustrated Guide to the Protozoa*. Society of Protozoologists, Kansas. 629 p.
- LEE, J. J., G. F. LEEDALE & P. BRADBURY. 2000. *The Illustrated guide to the Protozoa*. Society of Protozoologists, Kansas. 1432 p.
- LÓPEZ-ochoterena, E. 2001. Diversidad protozoológica de México. Protozoarios lacustres, relación de artículos. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 50: 57-60.
- LYNN, D. H. 2008. *The ciliated protozoa. Characterization, classification, and guide to the literature*. Springer, New York. 573 p.
- LYNN, D. H. 2012. Ciliophora. In: Wiley, J. & Sons (eds.). *Encyclopedia of life Sciences*, pp. 1-12. DOI:10.1002/9780470015902.a0001966.pub3
- MADONI, P. & S. BRAGHIROLI. 2007. Changes in the ciliate assemblage along a fluvial system related to physical, chemical and geomorphological characteristics. *European Journal of Protistology* 43(2): 67-75. DOI: 10.1016/j.ejop.2006.09.004
- MAGURRAN, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Reino Unido. 256 p.

- MANSANO, A. S., K. F. HISATUGO, M. A. LEITE, A. P. LUZIA & M. H. REGALI-SELEGHIM. 2013. Seasonal variation of the protozooplanktonic community in a tropical oligotrophic environment (Ilha Solteira reservoir, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 73(2): 321-330. DOI:10.1590/S1519-69842013000200012
- MAYÉN-ESTRADA, R., M. REYES-SANTOS & M. E. VICENCIO-AGUILAR. 2014a. Biodiversidad de protistas (flagelados heterótrofos) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): S26-S33. DOI:10.7550/rmb.32922
- MAYÉN-ESTRADA, R., M. REYES-SANTOS & R. AGUILAR. 2014b. Biodiversidad de Ciliophora en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): S34-S43. DOI:10.7550/rmb.31993
- OLMO, R. J. L. 1998. Diversidad local y global de los protozoos ciliados de hábitats de agua dulce. Tesis doctoral, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, España. 108 p.
- PATTERSON, D. J. 2003. *Free-living freshwater protozoa. A colour guide*. ASM Press, Washington DC. 223 p.
- PINEDA-LÓPEZ, R. 2009. Diversidad de aves acuáticas en embalses de una zona semiárida del centro de México. Tesis doctoral, Universidad de Alicante, España. 259 p.
- RAMÍREZ-BASTIDA, P., A. G. NAVARRO-SIGÜENZA & A. T. PETERSON. 2008. Aquatic bird distributions in Mexico: designing conservation approaches quantitatively. *Biodiversity and Conservation* 17(10): 2525-2558. DOI:10.1007/s10531-008-9398-0
- SHEN, Y. F. & M. R. GU. 1965. A preliminary study on the ecology of protozoan in Donghu Lake, Wuchang. *Acta Hydrobiologica Sinica* 5:147-181.
- SIGALA-REGALADO, I., R. MAYÉN-ESTRADA & J. B. MORALES-MALACARA. 2011. Spatial and temporal distribution of protozoa at Cueva de Los Riscos, Querétaro, México. *Journal of Cave and Karst Studies* 73(2): 55-62. DOI:10.4311/jcks2009mb121
- SLEIGH, R. 1979. *Biología de los Protozoos*. Blume, Madrid. 399 p.
- TER-BRAAK, C. J. E. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67(5): 1167-1179. DOI:10.2307/1938672
- TER-BRAAK, C. J. E. 1987. The analysis of vegetation environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetation* 69: 69-77. DOI:10.1007/BF00038688
- TUTIEMPO.NET (TUTIEMPO NETWORK, S.L.). 2015. Registro de históricos METAR en la estación meteorológica: Icao (OACI): 766250 MMQT. Querétaro, Qro. Disponible en línea: <https://www.tutiempo.net/clima/2015/ws-766250.html> (consultado el 10 de octubre 2020)
- TUTIEMPO.NET (TUTIEMPO NETWORK, S.L.). 2016. Registro de históricos METAR en la estación meteorológica: Icao (OACI): 766250 MMQT. Querétaro, Qro. Disponible en línea: <https://www.tutiempo.net/clima/2016/ws-766250.html> (consultado el 10 de octubre 2020)
- TUTIEMPO.NET (TUTIEMPO NETWORK, S.L.). 2020. Registro de históricos METAR en la estación meteorológica: Icao (OACI): 766250 MMQT. Querétaro, Qro. Disponible en línea: <https://www.tutiempo.net/clima/ws-766250.html> (consultado el 10 de octubre 2020)
- VELHO, L. F. M., D. G. PEREIRA, T. A. PAGIORO, V. D. SANTOS, M. C. Z. PERENHA & F. A. LANSAC-TÔHA. 2005. Abundance, biomass and size structure of planktonic ciliates in reservoirs with distinct trophic states. *Acta Limnologica Brasiliensia* 17(4): 361-371.
- WETZEL, R. G. 1975. *Limnology*. Saunders, Philadelphia. 743 p.
- XU, R. L. & A. NAUWERCK, 1997. Ecology studies of ciliated protozoa in a eutrophic lake: Lake Höllersee, Austria, II. Temporal and spatial distribution of abundance. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* 36: S20-S25.

Application of the theory of networks to model a drainage network of a watershed: case study Department of Quindío Colombia

Aplicación de la teoría de redes para el modelado de una red de drenaje de una cuenca: caso de estudio departamento del Quindío Colombia

Jorge Mario García-Usuga^{1*}, Gerard Olivar-Tost^{2,3} y Mónica Jhoana Mesa-Mazo⁴

Recibido: 18 de enero de 2019.

Aceptado: 25 de mayo de 2020.

Publicado: agosto de 2020.

ABSTRACT

Background: The hydrographic network of the basins of the department of Quindío, located in Colombia, South America, suffers from pollution due to industries such as tanneries, mining, food processing, among others. **Goals:** Represent a hydrographic network of a basin employing a graph and study its most representative measures of centrality; as a case study, we considered the hydrologic network of the basins of the department of Quindío. **Methods:** The theory of networks and the analysis of centrality measures such as degree distribution, PageRank, and eccentricity; also, topological measures such as density and assortativity. **Results:** The study provided a different approach to research on the properties of river networks. The grade distribution shows a network with input grades of one, two, and three, while the output grade is only one or zero, consistent with a typical mountain basin. Measurements such as density and assortativity showed a low-density network with no defined connection patterns. The centrality of PageRank and eccentricity highlighted the leading causes and the most important rivers according to the way the hydrographic network is connected. **Conclusions:** The study concluded that by using network theory, we obtained a global vision of the network, understanding its structure and allowing us to visualize which areas of the network are vulnerable. PageRank's centrality allowed us to identify well-monitored nodes in the network and those that need care; this same distribution highlighted zones in the network that are more prone to contamination. Finally, the eccentricity determined the center of the network (sector of "La María") as one of the network's most vulnerable areas.

Keywords: Department of Quindío, Drainage network, Graphs, Hydrographic Basin, Networks.

RESUMEN

Antecedentes: La red hidrográfica de las cuencas del departamento del Quindío, ubicado en Colombia, Sudamérica, experimenta contaminación debido a industrias como las curtiembres, la minería, procesadoras de alimentos, entre otras. **Objetivo:** Representar una red hidrográfica de una cuenca mediante un grafo y estudiar sus medidas de centralidad más representativas; como caso de estudio, se tomó la red hidrológica de las cuencas del departamento del Quindío. **Métodos:** La teoría de redes y el análisis de las medidas de centralidad como la distribución de grado, el PageRank y la excentricidad; además, algunas medidas topológicas como la densidad y la asortatividad. **Resultados:** El estudio proporcionó un enfoque diferente en las investigaciones sobre las propiedades de redes fluviales. La distribución de grado muestra una red con grados de entrada de uno, dos y tres, mientras que el grado de salida sólo es de uno o cero, lo cual concuerda con una cuenca típica de montaña. Medidas como la densidad y la asortatividad mostraron una red poco densa y sin patrones definidos de conexión. La centralidad de PageRank y de excentricidad resaltaron los causas principales y los ríos más importantes según la forma como está conectada la red hidrográfica. **Conclusiones:** El estudio permitió concluir que al utilizar la teoría de redes, se obtiene una visión global de la red, entendiendo su estructura y permitiendo visualizar qué zonas de la red son más vulnerables. La centralidad de PageRank determinó que partes de la red están bien monitoreadas por las entidades encargadas de su cuidado, pero permitió ver otras zonas necesitan puntos de monitoreo; esta misma distribución destacó zonas en la red que son más propensas a la contaminación. Además, la excentricidad determinó el centro de la red (sector de "la María") como una de las zonas más vulnerables de la red.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, Departamento del Quindío, Grafos, Redes, Red de drenaje.

¹ Facultad de Educación, Universidad del Quindío. Cra 15 calle 12 Norte, Armenia, Quindío, 630001. Colombia

² Departamento de Matemáticas y Estadística, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia. Cra 27 No 64-60 M, Manizales, Caldas, 58040. Colombia.

³ Departamento de Ciencias Naturales y Tecnología, Universidad de Aysén, Campus Río Simpson. Obispo Vielmo 62, Coyhaique (Aysén), 5950000. Chile.

⁴ Facultad de Educación, Universidad del Quindío. Cra 15 calle 12 Norte, Armenia, Quindío, 630001. Colombia.

***Corresponding author:**

Jorge Mario García-Usuga: e-mail: jmgarcia@uniquindio.edu.co

To quote as:

García-Usuga, J. M., G. Olivar-Tost & M. J. Mesa-Mazo. 2020. Application of the theory of networks to model a drainage network of a watershed: case study Department of Quindío Colombia. *Hidrobiológica* 30 (2): 129-142.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbshidro/2020v30n2/Garcia

INTRODUCTION

Water is an essential component of life; many of our vital processes are closely related to water, we need it for digestion, for the transportation and evacuation of exogenous substances and thermoregulation of our bodies (Riveros-Perez & Riveros, 2018). Similarly, many of the foods we eat are directly or indirectly depend on water, some of them for growth, such as fruits and vegetables, while for others it is necessary for its manufacture. In addition to domestic use of water, it is also used in a wide variety of industrial processes, which take water directly from rivers, lakes or the sea, initially affecting their flow or volume. This situation takes place in many countries, whether they are industrialized or not, for example: The River Nile in Africa (Melesse *et al.*, 2014), some rivers in Spain as Ebro (Barceló & Petrovic, 2011) and the Segura (Pellicer-Martínez & Martínez-Paz, 2018), San Francisco river in Brazil (Dai *et al.*, 2016), the basin of the rivers Murray and Darling in Australia (Bishop-Taylor *et al.*, 2015), Mississippi river in the United States (Gwinnup & Schnoor, 2014) or the ecological disaster of the Aral Sea in the center of Asia (White, 2013). Once these processes are finished, the water is returned to its source, in many cases without going through a purification process (Filtration + Separation, 2018; An *et al.*, 2014) and dragging large amounts of sediments (Bussi *et al.*, 2016; Shrestha & Wang, 2018; Ferronato *et al.*, 2015). This has many of the major tributaries to become severely contaminated, thus producing the consumption of contaminated water, which in turn results in a decrease in the quality of life and health of people living in the watersheds of these rivers, lakes or seas.

In China, for instance, rivers have been an important part of their cultural and historical development. However, governments have put their economy above their environmental heritage. This has caused many of the river basins in this country to be at risk. Aspects such as mining (Egidarev & Simonov, 2015), pollution and the abusive use of land (Ding *et al.*, 2016; Cheng *et al.*, 2018), have caused deterioration of water quality for human and animal consumption. This situation has forced them to look for new alternatives for the use of water and to create models and methods for a better quality of it (Wang *et al.*, 2013).

Therefore, the study of watersheds, especially those of rivers, is a matter of great importance to both local and state governments. For some authors such as Musy & Higy (2004), all living beings including humans, are part of one or more watersheds, implying that we are closely related to their well-being. River basins transport water from water births in the mountains to the cities; and that is where its importance lies, because the welfare of the watersheds is closely related to water quality, and consequently with the health and quality of life of the inhabitants of the basin.

There are many factors that affect the water quality of a river: the topography of the basin, composition of the soil, present flora and fauna, and even plate tectonics (Li & Wang, 2017; Lollino *et al.*, 2015) can seriously influence this aspect. Similarly, human presence is one of the key elements in the pollution of watersheds; the growing population has caused the gap between city boundaries and water sources to become even shorter. Another factor of great human impact on aquatic media is the wastewater that comes from cities, industry, and others (Liu *et al.*, 2017).

Currently, the use of the theory of complex networks for the modeling of watersheds is presented as an effective alternative, especially

for the modeling of its topography. Some authors like Webb & Padgham (2013) and Fang *et al.*, (2017) have identified the relationship between river basin networks and complex networks, and have used this theory to model aspects such as the dynamics of the population around them. Other authors like Wu *et al.*, (2013), have shown how to model the topography of a watershed using the theory of complex networks to represent the network of rivers of a watershed. Similarly, Halverson & Fleming (2014) use network theory to guide the management of water resources and decision-making regarding the location of river flow meters in British Columbia (BC) coastal mountains and Yukon in Canada. In this research, the nodes of the network are the location of the stations of the river flow meters. Authors were able to identify communities of nodes with network theory; each of them determined the seasonal flow regime and geographic proximity with other communities. In the same way, the application of this theory determines a group of key stations in the interconnection with other communities of nodes that are difficult to see to the naked eye.

This work aims to represent a drainage network of a watershed by means of a graph and study its most representative measures to relate them to the specific characteristics of the hydrographic network. For this, the river basins of the department of Quindío in Colombia, South America, will be taken as a case study. In order to develop this work, the second section will present the methodology for the construction of a graph (network), taking into account the hydrographic concepts related to river basins and the theory of networks. In the third section, the methodology for the construction of the graph that represents the hydrographic network of the basins of the Department of Quindío is applied. In the fourth section, an analysis of the structure of the network was carried out and some topological measurements were calculated. Finally, the conclusions of the work will be presented.

MATERIALS AND METHOS

This study will take into account important aspects of river basins of rivers, for this reason, in the first part will be a review of some concepts that were considered to make the process of modeling; subsequently, the process necessary for the implementation of the network of a watershed will be presented.

The topography of river basins is determined by many factors: plate tectonics, the amount of rainfall, the number of tributary rivers, the erosion processes, the composition of the terrain, among others (National Geographic Society, 2012). In addition, the technological and industrial development of man has led to the intervention and modification of river basins, for instance: hydroelectric, dams, water canalization, wastewater dumping and artificial canal construction, among others. All of these factors have affected water quality and therefore, the entire ecosystem around the watershed.

The terrain where the river basins are located has many characteristics that can eventually be modeled by means of nets. Authors like Chow *et al.*, (2010), suggests that a watershed is a system composed by many parts connected to each other, which would be consistent with the definition of network exposed by authors such as Newman (2003), Newman *et al.*, (2006), Estrada (2012), and Boccaletti *et al.*, (2006). Other authors such as Schumm (2007) show characteristics of rivers as the degree of sinuosity and length, which can be added as a characteristic of the edges to the network, as shown below.

All the watersheds have a main river that collects the waters of the tributary rivers. In turn, these have other rivers that are tributary of them. As it can be seen, modeling watersheds presents many challenges (Hodges, 2013). However, the theory of networks can showcase a general picture of the hydrological network and can also show other aspects that cannot be appreciated through the use of traditional tools.

Networks. In the eighteenth century, Leonhard Euler gave rise to the graph theory by solving the following problem: in the city of Königsberg (currently called Kaliningrad), in the Pregel River, there were two islands connected by means of seven bridges that joined four terrestrial areas as seen in Figure 1. The problem was to answer the following question: is it possible to traverse each bridge exactly once, returning to the starting point of the route? Euler created a theory that allowed to prove that it was not possible (Harary, 2018).

Euler was the birth of what we know as the intuitive idea of graph (network), which tells us: a graph is the representation of a system, which consists of nodes (vertices), which represent the inputs of the system. These are connected through edges, which represent a particular class of connections between two inputs (Estrada, 2012; Boccaletti *et al.*, 2006; Sivakumar & Woldemeskel, 2014; Brandes, 2005). For example, in the problem of Figure 1, the nodes are two banks of

the river and two islands (zones A, B, C and D), while the edges are the bridges that connect the islands and the banks of the river. In short, a network or graph is a gut $G=(V,E,f)$ where $V=\{v_1,v_2,\dots,v_n\}$ is a finite set of vertices or nodes, $E=\{e_1,e_2,\dots,e_m\}$. A set of edges, and is a function, which associates some elements of E with a couple of elements of V , such that if $v_i, v_j \in V$ Then $f:e_q \rightarrow [v_i, v_j]$ and $f:e_q \rightarrow [v_j, v_i]$.

There are many areas of application for the network theory, including the study of social networks such as Facebook and Instagram, where nodes are users and edges are friendship relations (Chan, 2018; da Costa, *et al.*, 2017). In the trading networks, the nodes are the countries and the edges represent the commercial exchange between these (unilateral or bilateral) (Du *et al.*, 2016; An *et al.*, 2014) in bibliographic networks, the nodes are books or articles and the connections between these are the citations that are made between these (Caschili *et al.*, 2014). In biology we can find several examples, like the study of the interactions between proteins (Olyae *et al.*, 2016), the behavior of species (Riveros-Perez & Riveros, 2018) and in the transmission of diseases (Chow *et al.*, 2010). Some authors like Fang *et al.*, (2017) and Wu *et al.*, (2013) create networks from the same hydrological network of a watershed, in those the nodes can be specific places in the network, for example the intersections and the water births, the edges are the flows of the rivers that connect these.

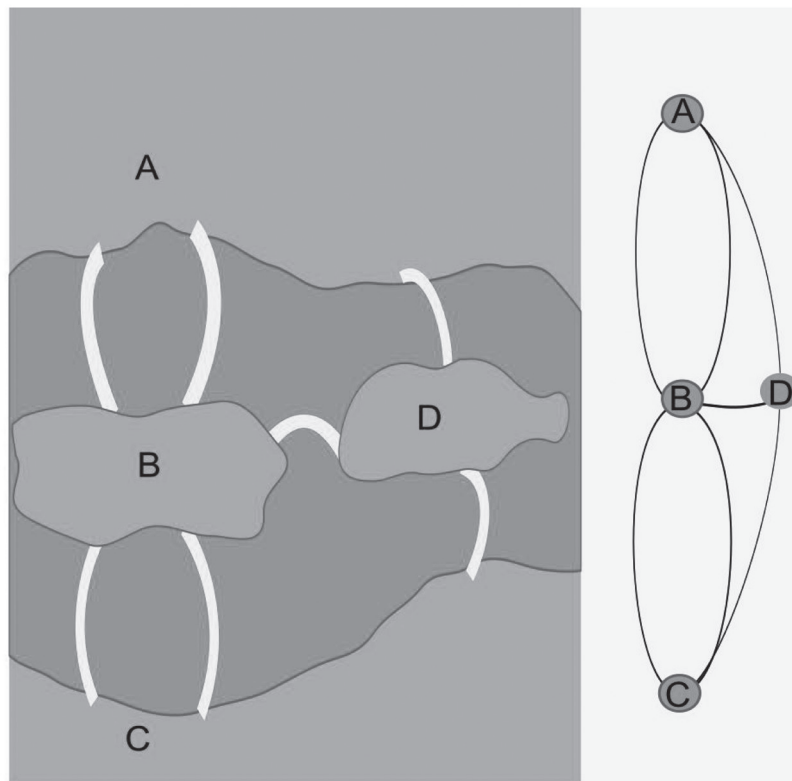


Figure 1. Bridges over the Pregel River in Königsberg (Kaliningrad)

Hydrological networks. For the construction of the network it is necessary to identify the nodes, the edges and the weight associated to these. All this was carried out according to the theory of networks, in particular the modelling of fluvial networks proposed by Wu *et al.*, (2013). Similarly, most river basins, whether natural or modified by humans, present a network structure known as dendritic networks; this type of networks are ideal to model many natural phenomena, among which are counted the cause of the rivers (Brown & Swan, 2010; Labonne *et al.*, 2008; Seymour *et al.*, 2015; Swan & Brown, 2014). We must also bear in mind that the basins of the Department of Quindío are mountain basins, implying that the rivers that compose it have a low degree of sinuosity (degree of sinousity), almost always composed by half-braided fluxes (degree of braiding) and Iscarcelly branched (degree of anabranching), as shown (Schumm, 2007).

Nodes. The nodes can be classified according to their origin.

- Natural nodes: They can be sources of rivers, bifurcations, confluence of rivers or exits.
- Non-natural or engineering nodes: Within this classification are hydroelectric plants, water tanks, pumping stations, water transfer projects, in general, waste water dumping or any artificial element that is considered external to the natural cause of the rivers.

For this work, the concept of node will be extended to take into account the classification of the nodes according to natural or engineering:

The whole of all nodes is represented by as:

$$V = \{v_1^k, v_2^k, v_3^k, \dots, v_n^k\} \tag{1}$$

where, if $k = 1$ then v_i^1 is a natural node, in the same way, if $k = 2$ then v_i^2 is an artificial or engineering node. According to Wu's proposal (Wu *et al.*, 2013), nodes can be: the births of rivers, the points where two or more rivers are connected and the river mouths in addition to the places that represent dumping or monitoring areas in the river.

Edges: As it has been shown already, the edges represent some kind of relationship between two entities. In our case, the edges represent the natural causes of the natural or artificial rivers and channels. Because the waters of the rivers flow in the same direction, then the net is directed (Digraph). The edges will be responsible for connecting births, bifurcations, confluences (natural nodes) and river monitoring sites (engineering nodes).

There will be four basic forms of connection between edges: Serial connections, parallel and mixed connections which in turn are divided into bifurcations and confluences as seen in the Figure 2.

The set of edges is given by the set of tuples of nodes in the following form (Estrada, 2012):

$$E = \{(v_i^k, v_j^l) | v_i^k, v_j^l \in V\} \tag{2}$$

Where V is the set of nodes, v_i^k and v_j^l with $k=1,2$ and $l=1,2$ are the initial and final components of the edge e_p , which, will be represented with the tuple (v_i^k, v_j^l) ; ss the graph we refer to is a directed graph, then $(v_i^k, v_j^l) \neq (v_j^l, v_i^k)$.

Based on the information provided by the nodes and edges, the R adjacency matrix is created, which determines how nodes are con-

nected. If the network has Nodes, then the adjacency matrix will be in $n \times n$ size.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nj} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

If r_{ij} indicates that the node v_i^k is connected to the node v_j^l with $k=1,2$, and $l=1,2$, likewise, if r_{ij} , then the nodes v_i^k , and v_j^l are not connected. However, and as in the methodology showed in (Wu *et al.*, 2013), $r_{ij} \neq r_{ji}$, since it is a directed graph.

Weight. Is defined as follows (Boccaletti *et al.*, 2006; Estrada, 2012): See a $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$, such as $w_i \in \mathbb{R}$, then a weight net is the gut $G = (V, E, W)$ where is V the set of nodes or vertices, E is the set of edges and W the set of weights.

Weights can represent specific properties on the edges, for example, in social networks (McDonald & Hobson, 2018) the weight can represent the degree of friendship between two people, the traffic networks (An *et al.*, 2014) can represent the level of automobiles that transit by determined way. In hydrologic networks, the weight represents the length of a river, as Wu *et al.*, (2013) shows. However, the weight could determine physical chemical variables of water such as flow, pH, temperature, biochemical oxygen demand, dissolved oxygen, among others.

Application: Department of Quindío The Department of Quindío is located in the center-west of Colombia in South America, in the Andean region, in what is known as the coffee axis. Quindío has five watershed management units (WMU), which are:

- Quindío River
- El Roble River
- Buenavista Creek
- Rojo River
- Lejos River

In Figure 3 can be observed that these rivers are tributaries of the La Vieja River, which is born at the intersection between the Barragán River and the Quindío River.

The main WMU and the most extensive is the Quindío River, with a total area of 688.84 km² And a perimeter of 230.25 km. In this area of influence are included the municipalities of Salento, Calarcá, Armenia, Cordoba and Buenavista, with about 300,000 inhabitants representing the of the population 55% of the Department of Quindío (Contraloría General de la República de Colombia, 2016; Barrios & M. Rodriguez, 2011). In particular, the Quindío River basin has its origin in the Natural Park of Los Nevados, in the Laguna de la Virgen, at an approximate height of 4,200 M.A.S.L. runs through the department of Quindío in the direction east to south-west, and has more than 16 tributary streams.

It is important to emphasize that the basin of Quindío River, in its middle part, receives direct dumping of Boquía, and indirect of the municipalities of Salento, Armenia, Calarcá and Córdoba through the

Quebradas El Mute, La Florida, San Nicolás, El pescador and the rivers Santo Domingo and Verde. Other watersheds also receive dumping from other cities, but they are not as large compared to the main WMU.

The water in the Department of Quindío, for the most part, is used in agricultural and livestock activities, as it is the case of the Oak WBU, Buenavista, Rojo and Lejos. The water in the Quindío River basin is used for human consumption and energy generation, and to a lesser extent at the industrial and agricultural level. The industrial activity is concentrated in Armenia, the capital of the department, located in the central part of the Hydrographic network (Fig. 3). The main industrial activities are the processing of leather and the slaughter plants of cattle for meat (Gallego *et al.*, 2015).

Diagram of the Hydrographic network of the Department of Quindío. The Figure 4 represents the hydrographic network of the five basins in the Department of Quindío. In this one observe three colors: the red ones represents the artificial nodes (21 nodes), the green ones the natural nodes that are births of rivers or ravines (194 births), the light blue ones indicates the natural nodes that are intersections between rivers and/or ravines (191 intersections of rivers). In some cases, intersection nodes can be engineering nodes or natural nodes. In general, the network has 409 edges and 408 nodes. This network is a digraph or directed graph (Estrada, 2012), because the direction flows according to the cause of the rivers or ravines.

RESULTS

Degree distribution. Every network has an adjacency matrix similar to that found in the eq. 3. This matrix indicates how nodes are connected, so for example, if in the component $r_{3,2}=1$, this shows that the nodes v_3^k and v_2^l with $k=1,2$ and $l=1,2$ are connected, ie there is an edge that has the nodes v_3^k and v_2^l as ends.

However, the degree of a node denoted as $d(v_i^k)$, is defined as the amount of edges that affect it. This value is calculated in terms of the adjacency matrix R (Estrada, 2012):

$$d(v_i^k) = \sum_{j \in V} r_{ij} \tag{4}$$

In a directed graph it should be taken into account that a node or vertex has edges that affect it and edges that depart from it; then there is entry and exit .

$$d^{in}(v_i^k) = \sum_{j \in V} r_{ij} \text{ in degree} \tag{5}$$

$$d^{out}(v_i^k) = \sum_{j \in V} r_{ij} \text{ out degree} \tag{6}$$

With the eq. 5 and eq. 6 Fig. 5 part (a) is built. Where the horizontal axis shows the degree of input and output of the nodes. The vertical axis represents the number of nodes. In addition, the blue line represents the degree of entry and the orange line the degree of output. For example, the blue dot (2, 191) indicates that 191 nodes have input grade 2; in other words, the graph has a mixed connection as shown by Fig. 2 (d), which in the hydrological network is the confluence of two rivers.

In the Fig. 5 (a) orange line, you can see that all nodes in the network except the end node, have grade one; that is, they all follow the same trajectory of the river and there are no branches or deltas (see Fig.

2 (c) in any of its sections. The average degree of input and output of a network can be calculated with the following formula:

$$\bar{d} = \frac{|E|}{|V|} \tag{7}$$

Where E is the set of edges (see Set 2) and V is the set of nodes (see Set 1). In addition $|E|$ and $|V|$ is the number of edges and nodes respectively. Using eq. 7, the average degree of input and output for the network (Fig. 5) It 1.0025.

Another way to study the degree of a node is by means of the distribution of probability of degree. Where $P(k)$ represents the probability that a randomly selected node has a degree. In Figure 5 (b) network grade distribution of Figure 4 is shown:

In Figure 5, the horizontal axis shows the degree of input and output of the nodes. The vertical axis represents the probability of the node, denoted as $P(k)$.

In the Figure 5 (b) it is observed that 47.54% of the network nodes have grade zero. In other words, there are 192 natural nodes that are river or ravine births. In addition, in Figure 5 (a), it is appreciated that 20 of them have grade one input, these are just the 5.1% of the nodes, but they are the ones that most impact the network, since they are monitoring points of the Regional Autonomous Corporation of Quindío CRQ. Similarly, 46.81% have grade two input, these nodes represent the intersections of the rivers.

To better visualize the input and output level distribution of the network, Aksakalli (Aksakalli, 2017; Aksakalli, 2018) algorithms will be used; in Figure 6 (a) we see that the nodes of the intersections of the rivers are the ones that have the highest degree of entry, this because of the way in which the mountain basins are connected. In the case of Figure 6 (b) i.e. the degree of output, we see that the entire network,

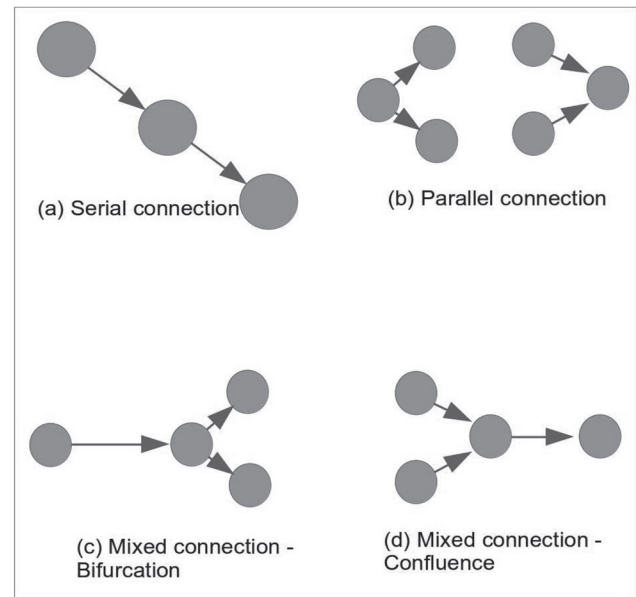


Figure 2. The four basic types of connections between nodes.

except for the last node, have the same value, which in this case is one. The distribution of the grade of drainage network of the basins of the Department of Quindío is composed specifically by serial and mixed connections as seen in Figure 2 (a) and (d), where two rivers are joined in one.

Network density. Given a network $G = (V, E, f)$ not directed with $|V|=n$ number of nodes, $\frac{n(n-1)}{2}$ the number of possible edges and $|E|=m$ the number of actual network edges. It defines the density of G denoted as D , as follows (Estrada, 2012):

$$D = \frac{2m}{n(n-1)} \tag{8}$$

For example, the density of the graph of Figure 7(a), using the eq. 8's $D=1$ In this case the net is perfectly dense, since it has three edges out of the three possible ones. For the Figure 7(b), the density is $D=\frac{2}{3}$. That is to say, the network has two real connections out of the three possible.

For a directed network, the density is $\frac{D}{2}$. In the case of Fig. 4, $D=0.0049$, this indicates that it is not dense; that is, the number of edges (actual connections) is small compared to the possible edges. This occurs because the network of Figure 4 is constructed in such a way

that an edge is the connection of two aquatic means (without human intervention), or of a shedding with an aquatic medium (with human intervention). It is important to clarify that there are no artificial channels that connect two nodes, in this way, there are possible connections that by the nature of the network do not occur or cannot be given.

The assortativity of the network. The assortativity of a network is a measure of degree correlation that is used largely in social networks. Estrada (2012) shows how to calculate this value for a network:

$$r = \frac{m^{-1} \sum_{(v_i, v_j) \in E} d(v_i)d(v_j) - \left(\frac{1}{2m} \sum_{(v_i, v_j) \in E} (k_i + k_j)\right)^2}{\sum_{(v_i, v_j) \in E} (d(v_i)^2 + d(v_j)^2) - \left(\frac{1}{2m} \sum_{(v_i, v_j) \in E} (d(v_i) + d(v_j))\right)^2} \tag{9}$$

Where $-1 \leq r \leq 1$. The assortativity describes how nodes are connected. Thus, a network is $r > 0$, i.e. low-grade nodes connect with low-grade nodes or high-grade nodes connect to high-grade nodes. In a similar way, a network is disassortative if $r < 0$, which indicates that high-grade nodes, connect with low-grade nodes or low-grade nodes connect to high-grade nodes. If $r=0$ or its value is very close to zero, we say that the net is neutral (Newman, 2010; Foster *et al.*, 2010). In the case of the network of Figure 4, its assortativity is 0.014, this makes it a neutral network, that is to say, in the network there is no connection pattern between the nodes.

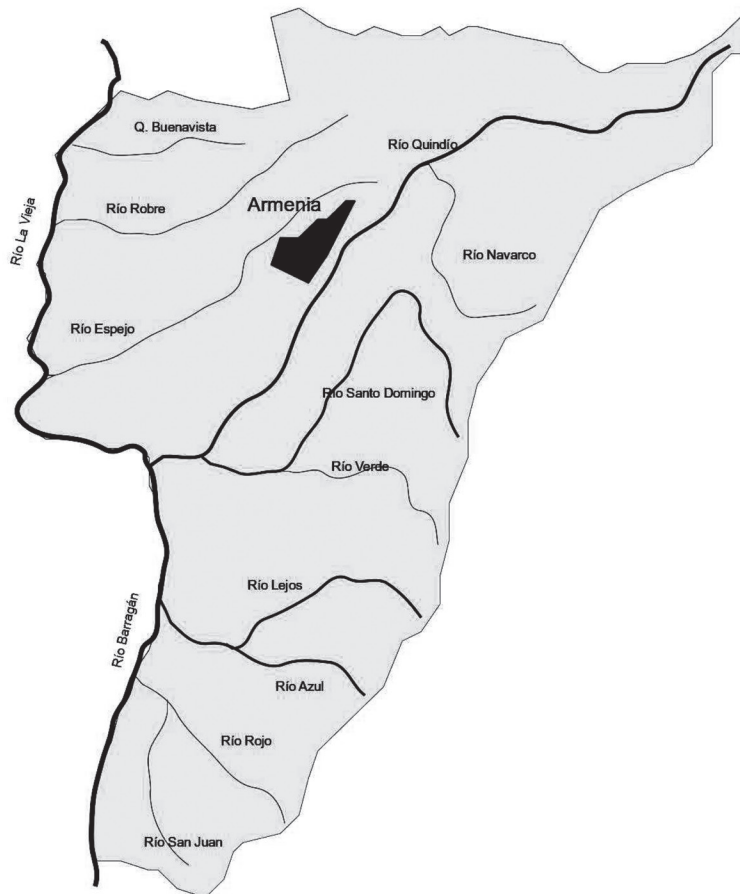


Figure 3. Hydrography of the Department of Quindío.

Network eccentricity. In Figure 8, the distribution of the eccentricity of the network of the basins of the Department of Quindío is shown. In the horizontal axis there is the degree of eccentricity of the nodes and in the vertical axis, their quality. The concept of eccentricity $e(v)$ is defined as the maximum distance of a node v with respect to all possible paths passing through that node (Estrada, 2012), i.e.:

$$e(v) = \max_{x \in V} \{d(v,x)\} \tag{10}$$

The maximum eccentricity between the nodes is known as the diameter of the network, while the minimum is known as radius. Figure 8 shows that the net has a radius of 32 and a diameter of 64; That is, the shortest path will have a distance of 32 (in terms of edges), while the longer path will have a length of 64. Remember that these measures are in terms of the distance between nodes, the do not represent a

physical distance. The periphery of the network are these nodes that are farther away, in this case the nodes 0, 1, 214 and 215 are the ends of the network, while the node 426 is its center.

The center of this network (node 426 Cuenca River Quindío), represents a critical point within the drainage network of the Department of Quindío, because it is an artificial node where industrial waste is dumped from a meat processor. Being the central node of the network, it has great influence downstream in the river (Digraph), this station presents high degrees of contamination, as one can see in the reports of the CRQ (CRQ (Corporación Autónoma Regional del Quindío), 2017). In contrast, the periphery of the network is determined by nodes 0 (Quebrada Cárdenas), 1 (Quebrada Amargura), 214 (Quebrada la Sierra) and 215 (Quebrada Costa Rica), which represent river births that according to the same source are relatively clean nodes within the network.

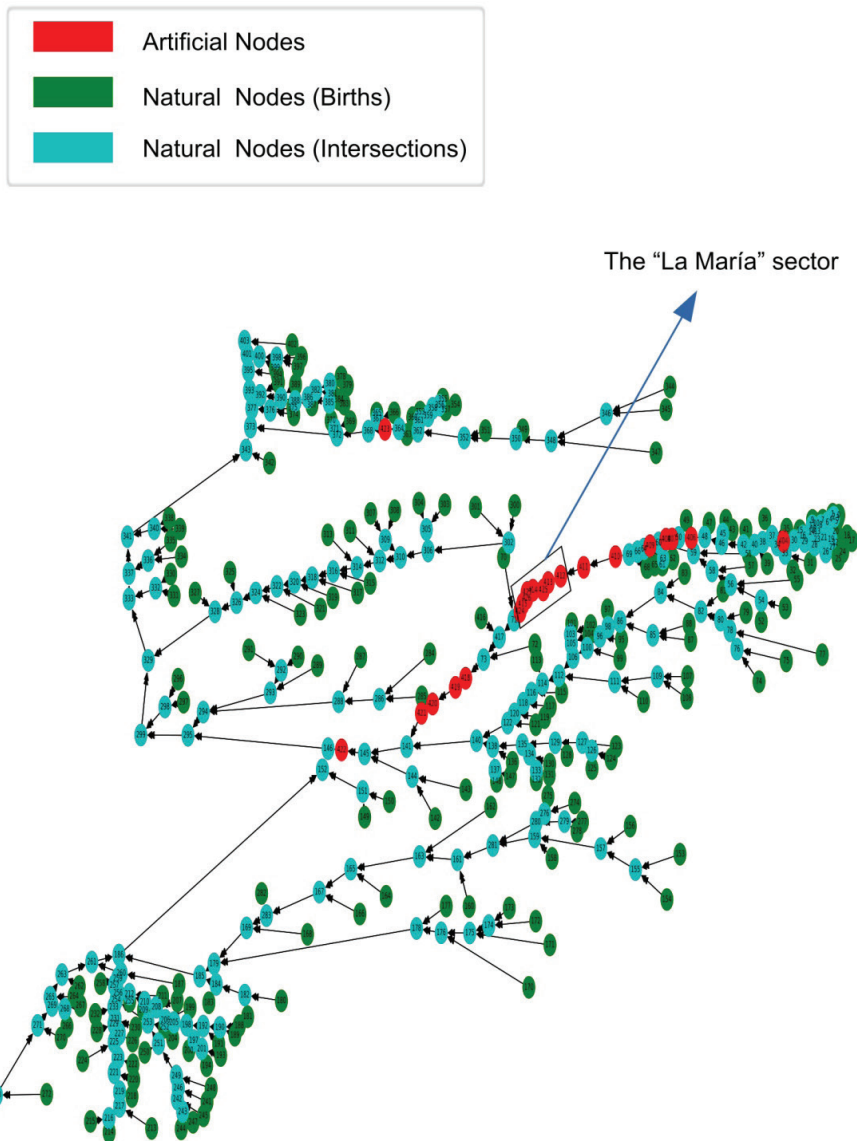


Figure 4. Diagram of the Hydrographic network of the Department of Quindío.

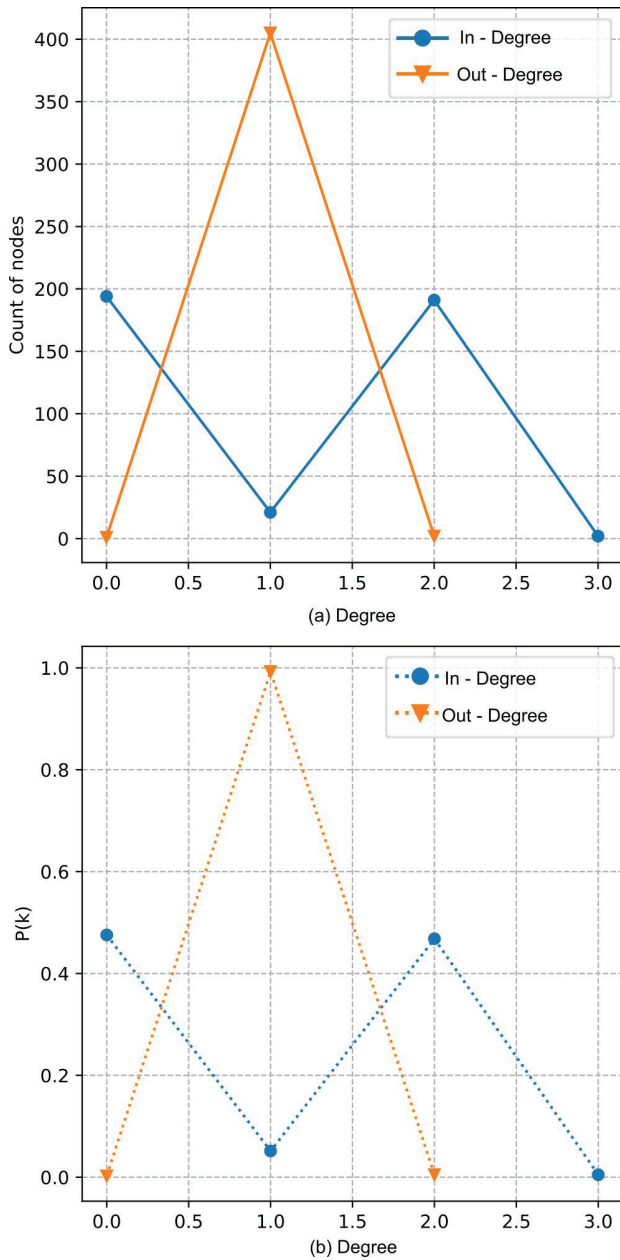


Figure 5. Distribution of the degree of the Hydrographic Network of the Department of Quindío.

Having a network with a radius of 32 (yellow dot), diameter of 64 (red dot), and node 426 as the only central node; the panorama for the watershed is critical, due to the fact that the centre of the downstream network is the area with the greater presence of human industries and waste, therefore, the most polluted area, consequently the panorama for the middle of the route is shown with a high degree of pollution; while from the center to the back, at the same nodal distance (and almost physical) the births of the two most important rivers in the basin are located. All of this shows that the Quindío River basin is contaminated by 50%, while the other part is in danger of contamination.

The Quindío River basin is the most worrying, because the main nodes are in it, and in addition, these nodes are artificial, as seen in Figure 4, and describe or realize human and industrial waste. The other watersheds also pose a danger of contamination, only to a lesser extent because the surrounding cities are sparsely populated and have little industrial presence. However, the region has experienced an increase in tourism which can eventually influence the health of the watershed.

PageRank. An important application in the measures of centrality is the measure of centrality of PageRank, which was developed by Larry Page and Sergey Brin, founders of Google (Page *et al.*, 1998), which is currently the base of the algorithm used by the search engine of Google. In this algorithm, the nodes of the network are the websites and the links are the hyperlinks between them. PageRank determines the importance of web pages and sorts them (or gives them a ranking) under two criteria: the number of web pages that affect the website and if the sites that link it also have a high PageRank. The following procedure is used to calculate the PageRank: initially a new matrix H must be built, whose entries are defined as follows:

$$H_{ij} = \begin{cases} 1/k_i^{out} & \text{If there is an edge between } i \text{ and } j \\ 0 & \text{In another case} \end{cases} \quad (11)$$

Where k_i^{out} is the extent of the node's output i . The vector of centrality PageRank $\langle \pi^{(k+1)} \rangle$ can be obtained through the $k+1$ iteration:

$$\langle \pi^{(k+1)} \rangle = \langle \pi^k | H \quad (12)$$

To solve the problem of the end node, a new matrix is built in terms of the matrix H :

$$S = H + \mathbf{a}[(1/n)\mathbf{1}^T] \quad (13)$$

Where the entries of the vector are given by:

$$\mathbf{a}_i = \begin{cases} 0 & \text{if } k_i^{out} = 0 \\ 1 & \text{in other case} \end{cases} \quad (14)$$

And $\mathbf{1} = |V| \mathbf{u}$ where $|V|$ is the number of elements in the node set and \mathbf{u} it's a vector of some. However, in order to incorporate the effect of teleportation between sites (abandonment from one page for another), a parameter $0 \leq \alpha \leq 1$ to get the following matrix:

$$G = \alpha S + (1-\alpha)\mathbf{1}\mathbf{1}^T \quad (15)$$

Finally, the PageRank is obtained by the following vector:

$$\langle \pi^{(k+1)} \rangle = \langle \pi^k | G \quad (16)$$

The value of α controls the random time proportion that a internet user follows the hyperlinks to move from page to page; this means, if $\alpha = 0.6$, 60% of the random time the surfer navigates on the same page or uses the hyperlinks to switch to another, which implies that 40% of the time the user migrates or changes to another page by entering a new URL in the browser (Langville & Meyer, 2011).

Under these two criteria, when applying this measure to the drainage network of the basins in the Department of Quindío, the PageRank determines which places in the drainage network are most important given their number of links (sub-basins) that point to it. If we take relatively low values to α , as seen in Figure 9 (a) and (b), it is found that the graph is very similar to that of the values of degree centrality (Fig. 6 a), which imply that the points of the river are qualified according to

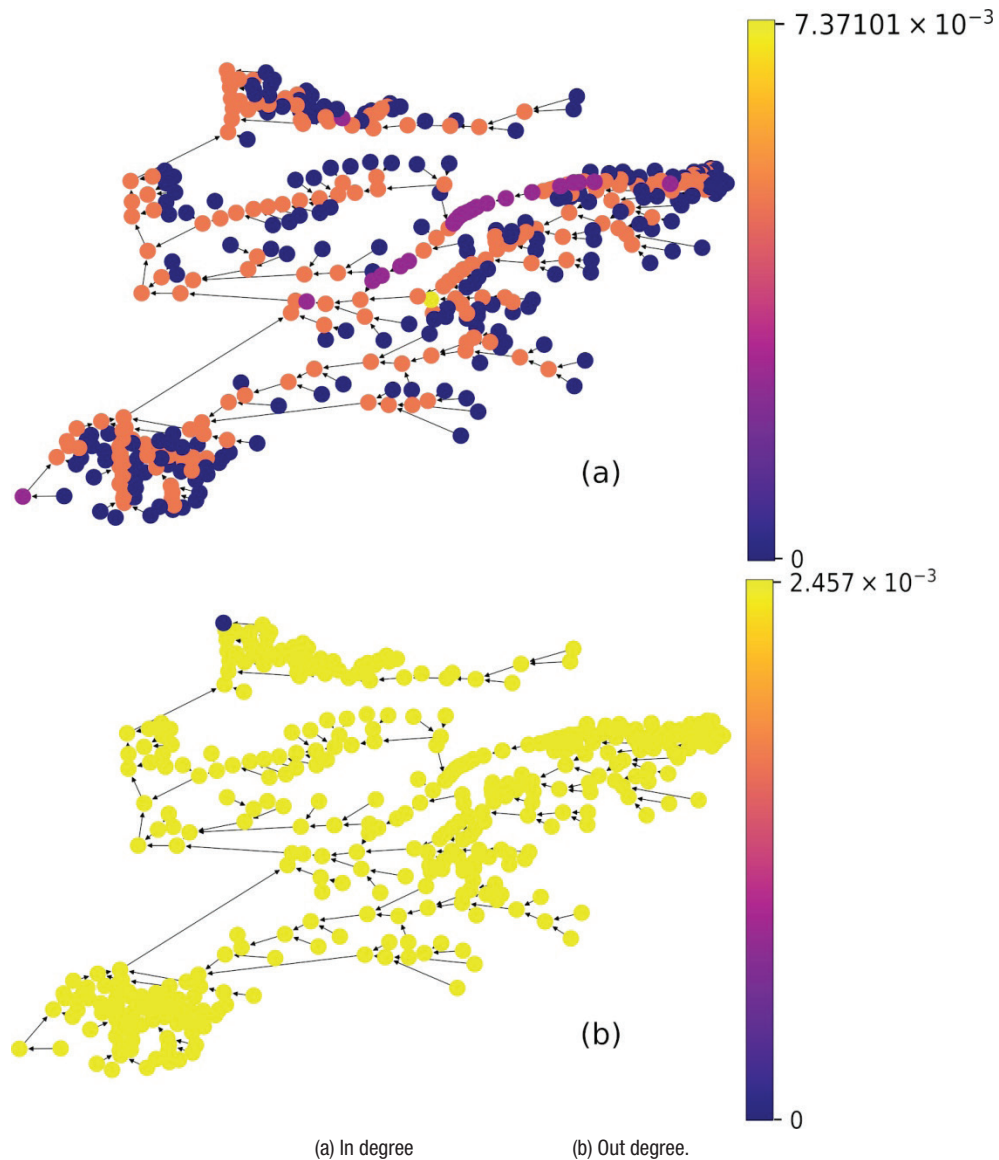


Figure 6. Distribution of grade displayed on the network, using the algorithms posed by Aksakalli (Aksakalli C., 2017; Aksakalli C., 2018)

the nearest neighbours. If you take high values of α as in the cases of Figure 9 (c) and (d), these show that the nodes that are at the end of the network over the river La Vieja are the ones that have the better PageRank, because these take into account the furthest sub-basins that flow over the river.

According to the theory and the way in which this measure of centrality is interpreted, we can indicate that to implement the PageRank in drainage networks of watersheds, one must use a value of very close to one, since the rivers do not have the possibility to change or move to another place in the basin.

Finally, Table 1 summarizes the values found when applying these measures in the hydrological network of the basins of the department of Quindío.

DISCUSSION

The use of graph theory to represent the drainage network of a watershed allowed the obtaining of information that made it possible to improve the understanding of the structure of the network. The following results were obtained from the basins of the department of Quindío as shown in Table 1 and Figures 4, 5, 6, 8 and 9:

The distribution of grade for the network of Figure 4 is not very diverse, since this only has vertices of grade 0, 1, 2 and 3; basically the rivers of the basin are connected in a very natural way, typical of a mountain basin. The drainage network of the basins of the Department of Quindío does not present bifurcations, nor channels of interconnection between rivers or connections between parts of the same river, as it is appreciated in the work of Wu *et al.*, (2013).

Table 1. Main properties of the hydrological network of the basins of the department of Quindío.

Network properties	Value	Summary
Total number of nodes	408	Points on the hydrological network
Total number of edges	409	Represent the rivers and the direction of these
Artificial nodes	23	Nodes represent a monitoring point on a river in the basin
Births (natural nodes)	194	Nodes with zero input degree
Intersections (natural nodes)	191	Rivers confluence nodes
Degree of input		
Zero degree nodes	47.54%	Nodes that do not have edges that affect them, Like the sources of rivers.
Grade one nodes	5.1%	Only receive an input edge nodes
Grade two nodes	46.81%	Receive two input edges nodes
Grade three nodes	0.24%	Receive three input edges nodes
Degree of Output		
Zero degree nodes	0.24%	Not have edges coming out of them nodes
Grade one nodes	99.7549%	Nodes from which only one edge emerges.
Network density	0.0049	This value indicates that the network in Fig. 4 is poorly connected
The assortativity	0.014	The network does not have a correlation in the way the nodes are connected
Network eccentricity		
Radius	32	The minimum eccentricity between the nodes is the radius of the network
Diameter	64	The maximum eccentricity between the nodes is the diameter of the network
The center of this network	Node 426 on the "La Maria" sector	in terms of the distance between nodes, the center is the set of nodes with eccentricity equal to radius.
The periphery of the network	List of nodes (0, 1, 214, 215)	The periphery of the network are these nodes that are farther away
PageRank	The rivers Quindío, Santo Domingo, Lejos, Rojo, Espejo and La Vieja.	The nodes located on these rivers have high PageRank values, which makes them the most significant nodes according to the way they are connected.

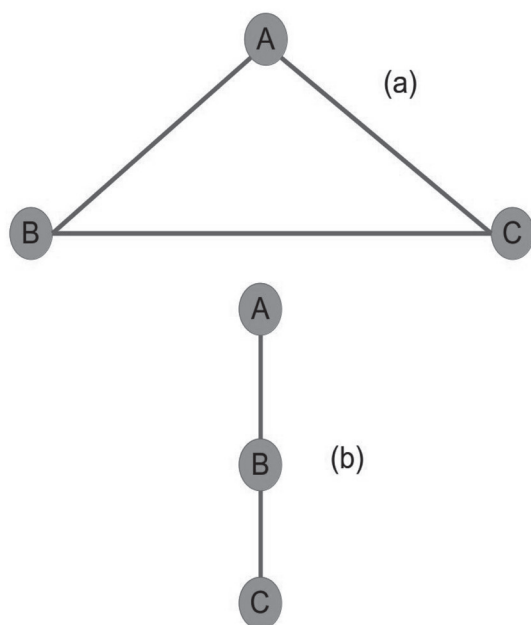


Figure 7. Graphs with different densities.

The values of density and assortativity indicate that the drainage network of the Department of Quindío is a network scarcely connected, i.e. all rivers follow their natural cause, without artificial bifurcations, which makes this aspect a positive point for the well-being of the inhabitants of the basin, since the waters are not channeled. However, this same condition makes it very vulnerable to any environmental catastrophe, because before any unwanted shedding, these do not have the possibility of being evacuated by any channel, making any kind of plan recovery of the same very complex.

The eccentricity, the radius and the diameter of the network, allow to identify the center or the centers of the network. In this case, the network of Figure 4 has a single center that is an artificial node since it is a monitoring station for the Regional Autonomous Corporation of Quindío CRQ. This one is located on the River Quindío, in an industrial zone of high pollution in the sector of "La María" in the city of Armenia Quindío, which affects the basin downstream.

The centrality of PageRank that was obtained in the drainage network of the Department of Quindío shows the importance of the tributaries, in the particular case of the sub-basin of the river La Vieja, this one is the most important as seen in Figure 9 (a) and (b). This river collects all the waters of the five sub-basins of the department and deposits them in the Cauca River, but in its route it is used to supply the aqueducts of several cities of the north of the Department of Valle del Cauca, like Cartago (Emcartago (Empresas Municipales de Cartago ESP), 2017), which has a population of approximately 130,000 inhabitants (DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), 2018).

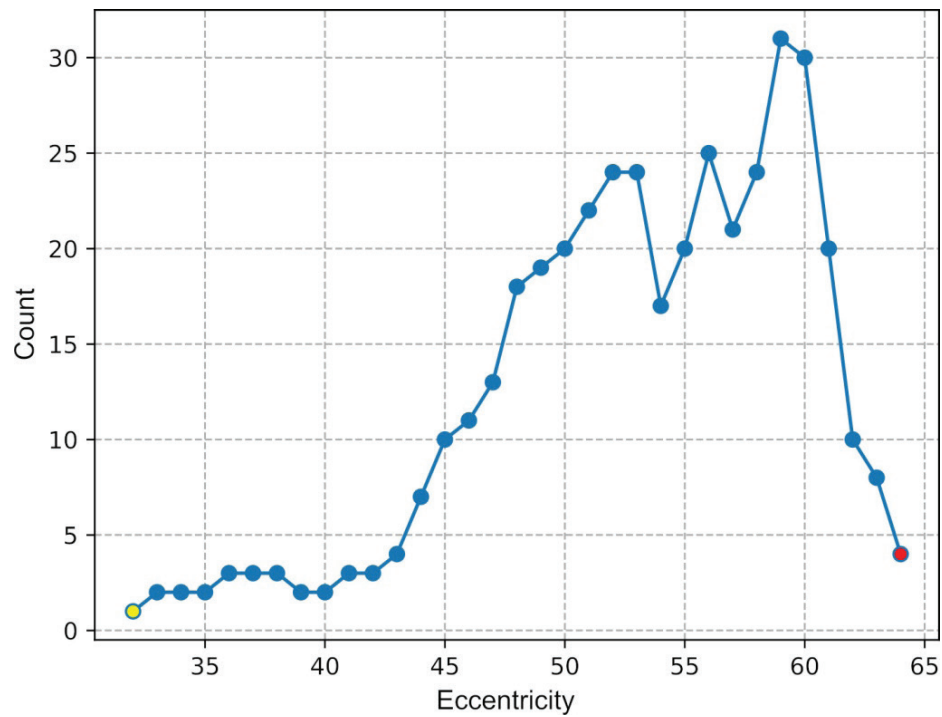


Figure 8. Distribution of the degree eccentricity of the Hydrographic Network of the Department of Quindío.

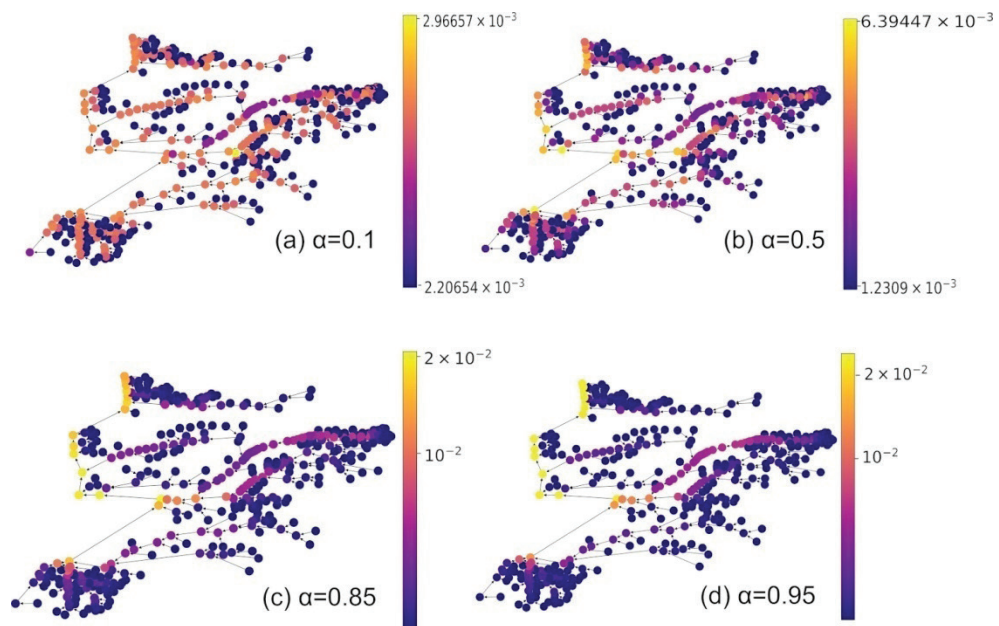


Figure 9. PageRank of the drainage network of the basins of the Department of Quindío using different values of α . For the visualization of the PageRank Used The algorithms posed by Aksakalli (Aksakalli, 2017; Aksakalli, 2018).

What the PageRank shows us is that any type of pollutant that is poured over the old river, directly affects the population of the Department of Quindío and its neighbors from the north of Valle del Cauca.

On the other hand, by representing the hydrographic network through a graph, one can have a global panorama of the state of the drainage network. In addition, this structure allows analyzing the dynamics of a particular flow, for example, a contaminant, water quality parameters, populations, etc. In the same way, it allows to carry out a punctual study in a particular place of the basin, as is the case with the monitoring stations of the government entities responsible for protecting natural reletathers.

ACKNOWLEDGMENT

To Universidad del Quindío, to Doctorado de Ingeniería Automática -Universidad Nacional de Colombia- and to Colciencias.

REFERENCES

- AKSAKALLI, C. 2017. Network Centrality Measures and Their Visualization. Available online at: <https://aksakalli.github.io/2017/07/17/network-centrality-measures-and-their-visualization.html> (downloaded October 6, 2018)
- AKSAKALLI, C. 2018. Predicting Emerging Trends in Citation Networks. Master thesis in Media Informatics, RWTH Aachen University, Aachen. Germany. 201 p.
- AN, X., L. ZHANG, Y. LI & J. ZHANG. 2014. Synchronization analysis of complex networks with multi-weights and its application in public traffic network. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 412: 149-156. DOI:10.1016/j.physa.2014.06.033
- BARCELÓ, D. & M. PETROVIC. 2011. *The Ebro river basin*. Springer Science & Business Media, Berlin Heidelberg. 430 p.
- BARRIOS, C. & M. RODRIGUEZ. 2018. Formulación del plan de manejo de subcuenca del río Quindío. Available online at: <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/22614>. (downloaded February 18, 2018)
- BISHOP-TAYLOR, R., M. G. TULBURE & M. BROICH. 2015. Surface water network structure, landscape resistance to movement and flooding vital for maintaining ecological connectivity across Australia's largest river basin. *Landscape Ecology* 30(10): 2045-2065. DOI:10.1007/s10980-015-0230-4
- BOCCALETTI, S., V. LATORA, Y. MORENO, M. CHAVEZ & D. HWANG. 2006. Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports* 424(4-5): 175-308. DOI:10.1016/j.physrep.2005.10.009
- BRANDES, U. 2005. *Network analysis: methodological foundations, volume 3418*. Springer Science & Business Media, Berlin Heidelberg. 471 p.
- BROWN, B. L. & C. M. SWAN. 2010. Dendritic network structure constrains metacommunity properties in riverine ecosystems. *Journal of Animal Ecology* 79(3): 571-580. DOI:10.1111/j.1365-2656.2010.01668.x
- BUSSI, G., S. J. DADSON, C. PRUDHOMME & P. G. WHITEHEAD. 2016. Modelling the future impacts of climate and land-use change on suspended sediment transport in the River Thames (UK). *Journal of Hydrology* 542: 357-372. DOI:10.1016/j.jhydrol.2016.09.010
- CASCHILI, S., A. DE MONTIS, A. GANCIU, A. LEDDA & M. BARRA. 2014. The Strategic Environment Assessment bibliographic network: A quantitative literature review analysis. *Environmental Impact Assessment Review* 47: 14-28. DOI:10.1016/j.eiar.2014.03.003
- CHAN, C. 2018. Analysing social networks for social work practice: A case study of the Facebook fan page of an online youth outreach project. *Children and Youth Services Review* 85: 143-150. DOI:10.1016/j.childyouth.2017.12.021
- CHENG, X., L. CHEN, R. SUN & P. KONG. 2018. Land use changes and socio-economic development strongly deteriorate river ecosystem health in one of the largest basins in China. *Science of The Total Environment* 616-617: 376-385. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.10.316
- CHOW, V., D. MAIDMENT & L. MAYS. 2010. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill-India, Singapore. 600 p.
- CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. 2018. Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente 2015-2016. Available online at: <https://www.contraloria.gov.co/documents/20181/461292/Informe+sobre+el+Estado+de+los+Recursos+Naturales+y+del+Ambiente+2015+-+2016> (downloaded April 11, 2018)
- CRQ (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO). 2018. Descarga de Documentos. Available online at: <https://www.crq.gov.co/index.php/2016-12-28-22-25-40/descarga-de-documentos> (downloaded June 3, 2018)
- DA COSTA, E. P., C. C. PINTO, A. L. C. SOARES, L. D. V. MELO & S. M. A. OLIVEIRA. 2017. Evaluation of violations in water quality standards in the monitoring network of São Francisco River basin, the third largest in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 189(11): 590. DOI:10.1007/s10661-017-6266-y
- DAI, H., E. YAO, N. LU, K. BIAN & B. ZHANG. 2016. Freeway Network Connective Reliability Analysis Based Complex Network Approach. *Procedia Engineering* 137: 372-381. DOI:10.1016/j.proeng.2016.01.271
- DANE (DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA). 2018. Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020. Available online at: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/Municipal_area_1985-_2020.xls. (downloaded September 5, 2018)
- DING, J., Y. JIANG, Q. LIU, Z. HOU, J. LIAO, L. FU & Q. PENG. 2016. Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. *Science of The Total Environment* 551-552: 205-216. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.01.162
- DU, R., G. DONG, L. TIAN, Y. WANG, Y. LIU, M. WANG & G. FANG. 2016. A Complex Network Perspective on Features and Evolution of World Crude Oil Trade. *Energy Procedia* 104: 221-226. DOI:10.1016/j.egypro.2016.12.038
- EGIDAREV, E. G. & E. A. SIMONOV. 2015. Assessment of the environmental effect of placer gold mining in the Amur river basin. *Water Resources* 42(7): 897-908. DOI:10.1134/s0097807815070039

- EMCARTAGO (EMPRESAS MUNICIPALES DE CARTAGO ESP). 2017. Historia del Sistema de Acueducto. EMCARTAGO ESP. Available online at: <https://emcartago.com/acueducto/historia-del-sistema-de-acueducto/> (downloaded September 5, 2018)
- ESTRADA, E. 2012. *The structure of complex networks: theory and applications*. Oxford University Press, Oxford. 457 p.
- FANG, K., B. SIVAKUMAR & F. M. WOLDEMESKEL. 2017. Complex networks, community structure, and catchment classification in a large-scale river basin. *Journal of Hydrology* 545: 478-493. DOI:10.1016/j.jhydrol.2016.11.056
- FERRONATO, C., G. VIANELLO & L. VITTORI ANTISARI. 2015. Heavy metal risk assessment after oxidation of dredged sediments through speciation and availability studies in the Reno river basin, Northern Italy. *Journal of Soils and Sediments* 15(5): 1235-1245. DOI:10.1007/s11368-015-1096-4
- FILTRATION + SEPARATION. 2018. The importance and impact of process water. Available online at: <https://www.filtsep.com/filter%20media/features/the-importance-and-impact-of-process-water/> (downloaded September 3, 2018)
- FOSTER, J. G., D. V. FOSTER, P. GRASSBERGER & M. PACZUSKI. 2010. Edge direction and the structure of networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(24): 10815-10820. DOI:10.1073/pnas.0912671107
- GALLEGO, L., J. PÉREZ & CRQ (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO). 2015. Modelación de la calidad del agua río Quindío municipios de Salento, Armenia, Calarcá y La Tebaida, departamento del Quindío. Available online at: <https://bit.ly/2Yihlct> (downloaded March 7, 2018)
- GWINNUP, A. L. & J. L. SCHNOOR. 2014. Water Quality in the Mississippi River and Gulf Hypoxia. *Comprehensive Water Quality and Purification* 4: 162-180. DOI:10.1016/b978-0-12-382182-9.00072-4
- HALVERSON, M. & S. FLEMING. 2014. Complex networks, streamflow, and hydrometric monitoring system design. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 11(12): 13663-13710. DOI:10.5194/hessd-11-13663-2014
- HARARY, F. 2018. *Graph Theory (on Demand Printing Of 02787)*. CRC Press, Boca Raton. 288 p.
- HODGES, B. R. 2013. Challenges in Continental River Dynamics. *Environmental Modelling & Software* 50: 16-20. DOI:10.1016/j.envsoft.2013.08.010
- LABONNE, J., V. RAVIGNÉ, B. PARISI & C. GAUCHEREL. 2008. Linking dendritic network structures to population demogenetics: The downside of connectivity. *Oikos* 117(10): 1479-1490. DOI:10.1111/j.0030-1299.2008.16976.x
- LANGVILLE, A. N. & C. D. MEYER. 2011. *Google's PageRank and beyond: The science of search engine rankings*. Princeton University Press, Oxford. 223 p.
- LI, Y. & A. WANG. 2017. The Tectonic Transformation Mechanism and Metallogenic Response of the Lanping-Simao Basin. *Acta Geoscientica Sinica* 38: 11-14. DOI: 10.3975/cagsb.2017.s1.04
- LIU, A., G. O. DUODU, A. GOONETILLEKE & G. A. AYOKO. 2017. Influence of land use configurations on river sediment pollution. *Environmental Pollution* 229: 639-646. DOI:10.1016/j.envpol.2017.06.076
- LOLLINO, G., M. ARATTANO, M. RINALDI, O. GIUSTOLISI, J. C. MARECHAL & G. E. GRANT. 2015. *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 3: River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources*. Springer International Publishing, Switzerland. 675 p.
- MCDONALD, D. B. & E. A. HOBSON. 2018. Edge weight variance: population genetic metrics for social network analysis. *Animal Behaviour* 136: 239-250. DOI:10.1016/j.anbehav.2017.11.017
- MELESSE, A. M., W. ABTEW & S. G. SETEGN. 2014. *Nile River Basin: Ecohydrological Challenges, Climate Change and Hydropolitics*. Springer, Switzerland. 718 p. DOI:10.1007/978-3-319-02720-3
- MUSY, A. & C. HIGY. 2004. *Hydrologie: Une science de la nature*. PPUR Presses Polytechniques, Lausanne. 315 p.
- NEWMAN, M. E. J. 2003. Mixing patterns in networks. *Physical Review E* 67(2): 026126. DOI:10.1103/physreve.67.026126
- NEWMAN, M. 2010. *Networks: an introduction*. Oxford University Press Inc, Oxford. 250 p.
- NEWMAN, M., A. BARABÁSI & D. J. WATTS. 2006. *The Structure and Dynamics of Networks (Princeton Studies in Complexity (23))*. Princeton University Press. Princeton and Oxford. 587 p.
- OLYAE, M. H., A. YAGHOUBI & M. YAGHOUBI. 2016. Predicting protein structural classes based on complex networks and recurrence analysis. *Journal of Theoretical Biology* 404: 375-382. DOI:10.1016/j.jtbi.2016.06.018
- PAGE, L., S. BRIN, R. MOTWANI & T. WINOGRAD. 1998. *The pagerank citation ranking: Bringing order to the web. Technical Report*. Stanford Infolab, Stanford. 17 p.
- PELLICER-MARTÍNEZ, F. & J. M. MARTÍNEZ-PAZ. 2018. Probabilistic evaluation of the water footprint of a river basin: Accounting method and case study in the Segura River Basin, Spain. *Science of The Total Environment* 627: 28-38. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.01.223
- RIVEROS-PEREZ, E. & R. RIVEROS. 2018. Water in the human body: An anesthesiologist's perspective on the connection between physicochemical properties of water and physiologic relevance. *Annals of Medicine and Surgery* 26: 1-8. DOI:10.1016/j.amsu.2017.12.007
- SCHUMM, S. A. 2007. *River variability and complexity*. Cambridge University Press, Cambridge. 220 p.
- SEYMOUR, M., E. A. FRONHOFER & F. ALTERMATT. 2015. Dendritic network structure and dispersal affect temporal dynamics of diversity and species persistence. *Oikos* 124(7): 908-916. DOI:10.1111/oik.02354
- SHRESTHA, N. K. & J. WANG. 2018. Predicting sediment yield and transport dynamics of a cold climate region watershed in changing climate. *Science of The Total Environment* 625: 1030-1045. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.12.347
- SIVAKUMAR, B. & F. M. WOLDEMESKEL. 2014. Complex networks for streamflow dynamics. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 11(7): 7255-7289. DOI:10.5194/hessd-11-7255-2014

- NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY. 2017. The basin. Available online at: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/basin/> (downloaded October 10, 2017)
- SWAN, C. M. & B. L. BROWN. 2014. Using rarity to infer how dendritic network structure shapes biodiversity in riverine communities. *Ecography* 37(10): 993-1001. DOI:10.1111/ecog.00496
- WANG, Y., J. CAO, Z. JIN, H. ZHANG & G. Q. SUN. 2013. Impact of media coverage on epidemic spreading in complex networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 392(23): 5824-5835. DOI:10.1016/j.physa.2013.07.067
- WEBB, J. A. & M. PADGHAM. 2013. How does network structure and complexity in river systems affect population abundance and persistence? *Limnologia* 43(5): 399-403. DOI:10.1016/j.limno.2013.04.006
- WHITE, K. D. 2013. Nature-Society Linkages in the Aral Sea Region. *Journal of Eurasian Studies* 4(1): 18-33. DOI:10.1016/j.euras.2012.10.003
- WU, X. W., L. LI & Y. G. QU. 2013. Modelling and Analysis of River Networks Based on Complex Networks Theory. *Advanced Materials Research* 756: 2728-2733. DOI:10.4028/www.scientific.net/amr.756-759.2728

Riqueza zooplanctónica en la boca de la Laguna La Mancha, durante muestreos mensuales y nictímeros

Zooplankton richness at the inlet of the La Mancha lagoon, during monthly and diel samplings

Ángeles Mecalco-Hernández & Manuel Castillo-Rivera*^{ORCID}

Recibido: 05 de julio de 2019.

Aceptado: 22 de junio de 2020.

Publicado: agosto de 2020.

RESUMEN

Antecedentes: A pesar de la importancia de las comunidades del zooplancton como moduladores de los procesos de flujo de energía y ciclos biogeoquímicos, pocos estudios se han realizado en lagunas costeras del suroccidente del Golfo de México, existiendo solo dos trabajos formales previos para estos sistemas. **Objetivos:** Contribuir al conocimiento de la riqueza de especies de las comunidades zooplanctónicas costeras de Veracruz, con particular referencia a la laguna La Mancha. **Métodos:** Se realizaron muestreos mensuales, de mayo 2012 a abril 2013, en un sitio cercano a la boca de la laguna, tomando muestras diurnas y nocturnas con el fin de tener una mejor representación de la comunidad. El zooplancton fue colectado utilizando una red estándar con luz de malla de 150 μm . **Resultados:** Se registraron 57 componentes zooplanctónicos correspondientes a 6 phyla (Cnidaria, Ctenophora, Chaetognatha, Annelida, Arthropoda y Chordata), 25 órdenes y 43 familias. Los componentes mejor representados fueron los crustáceos, dentro de los cuales los copépodos adultos fueron los más diversos con 17 especies. Los adultos de peracáridos también estuvieron relativamente bien representados con 11 especies, mientras que los decápodos estuvieron principalmente integrados por larvas (Penaeidea y Brachyura). El ictioplancton estuvo representado por 12 especies y el resto del zooplancton incluyó cnidarios, ctenóforos, quetognatos y poliuetos. Dieciocho taxa corresponden a nuevos registros para el sistema, aunque solo dos representan además una ampliación en su intervalo de distribución (*Leucon americanus* y *Microdesmus carri*). **Conclusiones:** Comparado con otros estudios de diferentes sistemas costeros del Atlántico mexicano, la riqueza zooplanctónica reportada en el presente estudio es relativamente alta, estando dominada por copépodos. La curva de acumulación de especies y los valores de los estimadores no-paramétricos de la riqueza de especies, indican que el número de componentes registrados representa adecuadamente la comunidad zooplanctónica del área estudiada.

Palabras clave: ampliación de distribución, estuario, listado de especies, nuevos registros

ABSTRACT

Background: Despite the importance of zooplankton communities as a link in the processes of energy flow and biogeochemical cycles, few studies have been conducted in the coastal lagoons of the southwestern Gulf of Mexico, with only two previous formal works for these systems. **Objectives:** To contribute to the knowledge of the species richness of the coastal zooplankton communities of Veracruz, with particular reference to the La Mancha lagoon. **Methods:** Monthly samplings were conducted from May 2012 to April 2013, at a site near the mouth of the lagoon, taking diurnal and nocturnal samples in order to have a better representation of the community. Zooplankton samples were collected with a surface net (100 cm length, 150 μm mesh size) in 10 min, circular trawls. **Results:** Fifty-seven zooplankton components corresponding to 43 families, 25 orders and 6 phyla (Cnidaria, Ctenophora, Chaetognatha, Annelida, Arthropoda y Chordata) were identified. The main components were the crustaceans, within which the adult copepods were the most diverse with 17 species. Adult peracarids were also relatively well represented with 11 species, while the decapods were characterized mainly by larvae (Penaeidea and Brachyura). Ichthyoplankton was represented by 12 species and the rest of the zooplankton included cnidarians, ctenophores, chaetognaths and polychaetes. Eighteen taxa correspond to new records for the system, although only two represent an extension in their range of distribution (*Leucon americanus* y *Microdesmus carri*). **Conclusions:** The zooplanktonic richness recorded in the present study is relatively high, being dominated by copepods. The curve of the accumulation of species and the values of the non-parametric estimators of the richness, allowing us to determine that the number of components recorded in the present study is a good indicator of the zooplankton richness of the study area.

Keywords: check list, estuary, new records, range distribution

Laboratorio de Peces, Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Avenida San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, 09340. México.

***Corresponding author:**

Manuel Castillo-Rivera: e-mail: crma@xanum.uam.mx

To quote as:

Mecalco-Hernández, Á. & M. Castillo-Rivera. 2020. Riqueza zooplanctónica en la boca de la Laguna La Mancha, durante muestreos mensuales y nictímeros. *Hidrobiológica* 30 (2): 143-153.

DOI: 10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2020v30n2/ Castillo

INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras se caracterizan por su elevada productividad tanto primaria como secundaria (Day *et al.*, 2013), además de constituir reservorios importantes de diversidad biológica de comunidades de vertebrados e invertebrados tales como el zooplancton (Souza *et al.*, 2011). Las comunidades del zooplancton tienen una alta riqueza de especies, las cuales se clasifican en dos grupos de acuerdo con sus estrategias de vida. El holoplancton, cuyos organismos desarrollan todo su ciclo de vida como parte del plancton (entre los cuales destacan los copépodos), y el meroplancton, el cual, solo durante una fase de su ciclo de vida forman parte de la comunidad planctónica, ingresando usualmente como estadios larvarios a los sistemas estuarinos en busca de protección (Johnson & Allen, 2012), hasta alcanzar etapas más avanzadas de su desarrollo.

Aunque existen muchos estudios sobre la estructura de comunidades de zooplancton en sistemas costeros en el mar Caribe (Álvarez-Cadena & Segura-Puertas, 1997; Álvarez-Cadena *et al.*, 2007; Castellanos & Suarez-Morales, 1997; Gasca & Castellanos, 1993; Gasca *et al.*, 1994), así como sobre algunos grupos taxonómicos en particular, por ejemplo medusas (Mendoza-Becerril *et al.*, 2009; Ocaña-Luna *et al.*, 2015) e ictioplancton (Flores-Coto *et al.*, 2009; Ocaña-Luna & Sánchez-Ramírez, 2016; Sánchez-Ramírez & Ocaña-Luna, 2015; Sanvicente-Añorve *et al.*, 2000) en el Golfo de México, pocos estudios se han realizado en sistemas lagunares de Veracruz. Así, a pesar de que en el estado de Veracruz existen al menos 19 grandes sistemas estuarinos (Contreras, 2010), la estructura de toda la comunidad del zooplancton de estos sistemas permanece poco estudiada. Uno de los pocos trabajos es el reciente de Benítez-Díaz *et al.* (2014) para la laguna costera de Sontecomapan, Veracruz, en el cual se registran 54 taxa zooplanc-tónicos correspondientes a una amplia escala zoológica (de Rotífera hasta larvas de pez).

De manera particular, para la laguna La Mancha (sitio RAMSAR: humedal de importancia internacional), en sentido estricto del zooplancton, solo existe un trabajo sobre copépodos de las lagunas costeras de Veracruz (Álvarez-Silva & Gómez-Aguirre, 2000), donde queda incluida La Mancha. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio es contribuir al conocimiento de riqueza de especies de la comunidad zooplanc-tónica de la laguna La Mancha, así como de algunos aspectos zoogeográficos, generando un inventario más amplio de las especies presentes en este sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

La laguna La Mancha es una laguna tropical localizada en la costa central del estado de Veracruz, en el Golfo de México (19°33'55" - 19°35'44" N y 96°22'45" - 96°23'39" O), la cual es un sistema somero que posee una extensión de 1.58 km² y rodeada por bosque de manglar. Presenta conexión intermitente con el Golfo de México debido al patrón estacional de apertura/cierre de la barrera arenosa, la cual es regulada por las mareas, el viento y la descarga de agua dulce, teniendo influencia sobre los procesos hidrológicos, biológicos y ecológicos del sistema (Lara-Domínguez *et al.*, 2006). El clima es cálido-subhúmedo (Aw₂; García, 2004), definiéndose dos épocas climáticas: secas y lluvias. Durante la temporada de lluvias, la cual se extiende de junio a octubre con promedio de precipitación mensual mayor a 100 mm, la laguna recibe un aporte continuo de agua dulce a través del río Caño

Grande, en contraste, durante la temporada seca, entre los meses de noviembre a mayo, registra un promedio de precipitación mensual menor a 60 mm, presentando condiciones marinas (Mecalco-Hernández *et al.*, 2018). Durante el periodo de estudio, la boca de comunicación con el mar permaneció cerrada de mayo a junio 2012 y de enero a marzo 2013, con una amplitud media anual de marea de 26.11 cm.

Se realizaron muestreos diurnos (10:00 y 14:00 h), crepusculares (06:00 y 18:00) y nocturnos (22:00 y 02:00 h) cada mes, en un sitio cercano a la boca de la laguna (ca. 320 m), durante el periodo de mayo 2012 a abril 2013, con el fin de considerar ciclos de luz/oscuridad, para tener una mejor representación del componente nerítico del sistema. Las muestras se obtuvieron utilizando una red estándar de 30 cm de diámetro, 100 cm de largo y luz de malla de 150 µm, la cual fue arras-trada circularmente 160 metros durante 10 minutos a una velocidad aproximada de 0.5 nudos, a unos 15 cm de la superficie. Un total de 68 muestras fueron preservadas con formaldehído al 4% neutralizado con borato de sodio y posteriormente conservadas en etanol al 70%. En el laboratorio, la identificación de especies fue hecha hasta el nivel de especie cuando fue posible, utilizando claves especializadas para el zooplancton en general (Gosner, 1971; Johnson & Allen, 2012; Trégouboff & Rose, 1957), branquiuros (Suárez-Morales *et al.*, 1998), copépodos (Campos & Suárez, 1994), peracáridos (Heard *et al.*, 2004, 2007; Kensley & Schotte, 1989; Price, 1982), larvas y juveniles de peces (McEachran & Fechhelm, 2005; Richards, 2006). Para el análisis de aspectos zoogeográficos, también se consideraron dos trabajos que sobre invertebrados en general, se hacen para la laguna La Mancha (Ruiz & López-Portillo, 2006, 2014). La clasificación y nomenclatura de las especies de invertebrados se basó en el Registro Mundial de Especies Marinas (WoRMS, 2020), mientras que los nombres de las especies de peces se verificaron de acuerdo con Froese & Pauly (2020), tomado en cuenta el arreglo sistemático de Nelson *et al.* (2016).

Con el fin de evaluar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente para representar la riqueza real de especies presente en el área de estudio, se realizó una curva de acumulación de especies, la cual fue optimizada aleatorizando el procedimiento a través de 100 permutaciones (Colwell, 2013; Magurran, 2004). Dado que el número de especies que se cuentan en un estudio de biodiversidad suele ser una subestimación parcial de la riqueza total de especies (debido a que muchas especies raras no se detectan), se calcularon estimadores no paramétricos de riqueza de especies como Chao 1, Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 y Bootstrap (Magurran, 2004). La curva de acumulación de especies y los estimadores de riqueza total fueron determinados con el software EstimateS versión 9.1 (Colwell, 2013).

En relación con las variables ambientales, se registraron los intervalos de ocurrencia de cada uno de los taxa, bajo las diferentes condiciones de temperatura, salinidad y oxígeno en las que fueron capturados. Finalmente, para analizar cambios temporales de la riqueza de especies, se aplicó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA), para evaluar el efecto de los meses y los periodos del día, así como la interacción entre estos factores ($\alpha < 0.05$).

RESULTADOS

A partir de la revisión de todas las muestras, se identificaron 57 taxa o estadios ontogénicos, 49 de ellos se identificaron hasta especie, 6 hasta género y 2 como estadios ontogénicos (Tabla 1). Del total de és-

tos, 70% corresponde a grupos holoplanctónicos, mientras que el 30% restante corresponde a meroplankton.

Los crustáceos fueron los mejor representados dentro del elenco sistemático, con 35 taxa y dentro de éstos, el grupo más diverso fue el de los copépodos con 17 taxa, sobresaliendo el orden Calanoida Sars, 1903. Del total de copépodos, 10 ya habían sido reportados para la laguna La Mancha, mientras que *Calanopia americana*, *Temora stylifera*, *Macrosetella gracilis*, *Microsetella rosea*, *Longipedia americana*, *Oncaea venusta* y *Caligus rapax*, así como el parásito branquiuro *Argulus* sp. representan nuevos registros para el sistema. Los peracáridos estuvieron representados por 11 taxa, de los cuales el cumáceo *Leucon americanus*, el tanaidáceo *Tanais dulongii*, los isópodos *Edotia montosa* y *Eurydice piperata*, el anfípodo *Caprella equilibra* y el misidáceo *Americamysis almyra* representan nuevos registros para la laguna La Mancha. Los decápodos estuvieron representados por seis grupos, constituidos principalmente por larvas zoea de braquiura, postlarvas de peneidos de *Penaeus aztecus* y *P. setiferus*, larvas megalopa de *Callinectes sapidus* y *Callinectes* spp., además del camarón fantasma *Belzebub faxoni*, el cual es nuevo registro para el sistema.

Nueve taxa correspondieron a otros invertebrados (cnidarios, ctenóforos, quetognatos y poliquetos) (Tabla 1), entre los cuales el cnidario hidromedusa *Obelia* sp. y el quetognato *Flaccisagitta enflata*, representan el primer registro para la laguna. Larvas y juveniles de peces fueron representados por 12 taxa, siendo la especie *Microdesmus carri* nuevo registro para el sistema.

El número acumulado de especies colectadas con respecto a los muestreos ordenados cronológicamente (curvas especies-muestras) se muestra en la Figura 1. El número total de especies esperadas según cada uno de los estimadores no paramétricos utilizados para la estimación de la riqueza de especies fue: Chao 1: 59.67, Chao 2: 59.05, Jackknife 1: 61.92, Jackknife 2: 61.04 y Bootstrap: 59.86.

El máximo, mínimo y promedio de la temperatura (°C), salinidad y oxígeno disuelto (mg L⁻¹) registrados en la laguna durante el período de estudio se muestran en la Tabla 2. Asimismo, en esta tabla se presenta el intervalo de variación en el cual se registraron cada uno de los taxa identificados. Así, del total de registros, seis fueron consideradas estenohalinas (sus capturas fueron a intervalos de salinidad menor a seis unidades): *Chrysaora quinquecirrha*, *Pleurobraquia pileus*, *Temora stylifera*, *Leucon americanus*, *Caprella equilibra* y *Citharichthys spilopterus*. *Pseudodiaptomus pelagicus*, *Tortanus (Acutanus) setacaudatus*, *Microsetella rosea*, *Gammarus* sp., *Melita nítida*, larvas zoea y *Penaeus setiferus* presentaron un comportamiento eurihalino, registrándose en todo el intervalo de variación de la salinidad en la laguna (Tabla 2). *Callinectes* spp., *Acartia (Odontacartia) liljeborgii* y *Gobiosoma bosc* fueron estenotermas, con capturas a intervalos de variación de temperatura menores a 2.5 °C, mientras que las larvas zoea y *Penaeus setiferus*, mostraron una condición euritérmica registrándose en todo el intervalo de variación de temperatura en la laguna (Tabla 2). Con respecto al oxígeno disuelto, todos los registros se presentaron en concentraciones mayores a 2.3 mg L⁻¹.

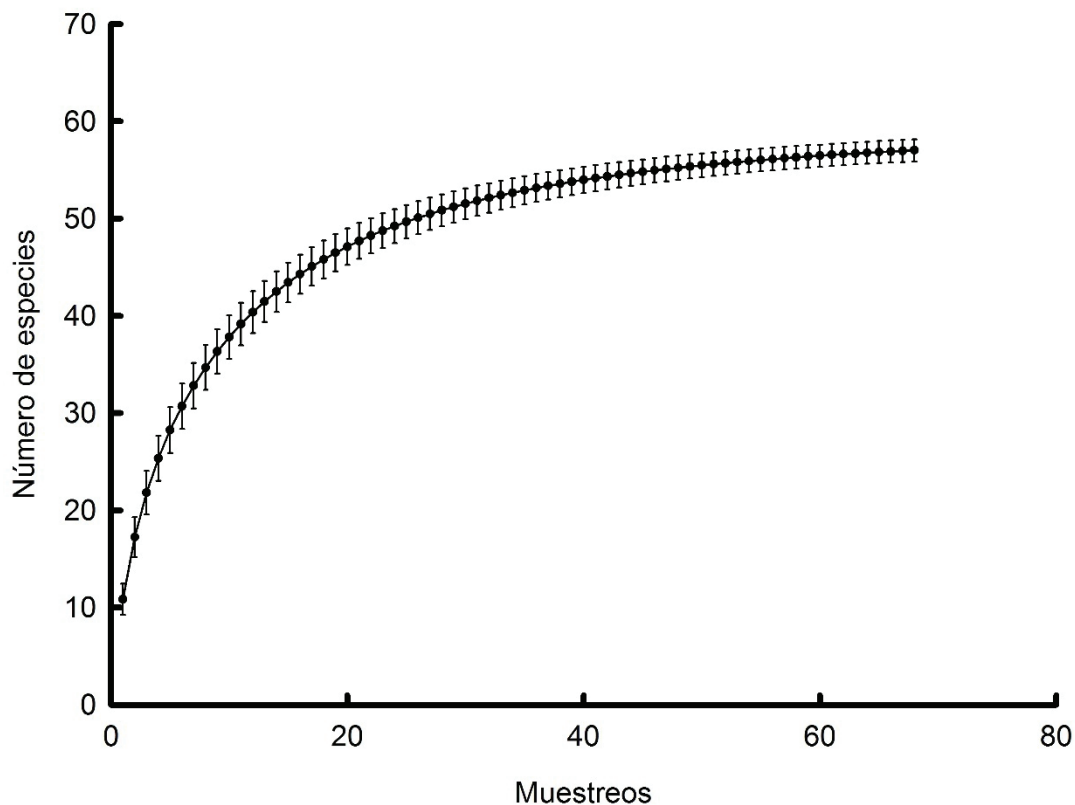


Figura 1. Curva de acumulación de especies para los ciclos de muestreos de zooplankton realizados en la laguna La Mancha, señalando promedios y error estándar.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de las especies identificadas.

Phylum/Clase	Subclase	Orden/Infraorden	Familia	Especie	Autor y año
Cnidaria	Discomedusae	Semaeostomeae	Pelagiidae	<i>Chrysaora quinquecirrha</i>	(Desor, 1848)
			Ulmaridae	<i>Aurelia aurita</i>	(Linnaeus, 1758)
Hydrozoa	Hydroidolina	Leptothecata	Campanulariidae	<i>Obelia</i> sp.*	(O. F. Müller, 1776)
Ctenophora		Cytippida	Pleurobrachiidae	<i>Pleurobrachia pileus</i>	(Grassi, 1881)
Chaetognatha		Aphragmophora	Sagittidae	<i>Flaccisagitta enflata*</i>	(Webster, 1879)
Annelida	Errantia	Phyllococida	Nereididae	<i>Laonereis culveri</i>	Hartman, 1945
				<i>Nereis pelagica occidentalis</i>	(Audouin & Milne-Edwards, 1833)
				<i>Platynereis dumerilii</i>	
			Oeonidae	<i>Arabella</i> sp.	
Arthropoda	Branchiura	Eunicida	Argulidae	<i>Argulus</i> sp.*	
	Copepoda	Calanoidea	Acartiidae	<i>Acartia (Odontacartia) lilljeborgii</i>	Giesbrecht, 1889
			Paracalanidae	<i>Acartia (Acanthacartia) tonsa</i>	Dana, 1849
			Pontellidae	<i>Paracalanus aculeatus</i>	Giesbrecht, 1888
				<i>Calanopia americana*</i>	Dahl F., 1894
				<i>Labidocera scotti</i>	Giesbrecht, 1897
			Pseudodiaptomidae	<i>Pseudodiaptomus pelagicus</i>	Herrick, 1884
			Temoridae	<i>Temora stylifera*</i>	(Dana, 1849)
				<i>Temora turbinata</i>	(Dana, 1849)
			Tortanidae	<i>Tortanus (Acutanus) setacaudatus</i>	Williams, 1906
		Cyclopoida			
			Oithonidae	<i>Oithona nana</i>	Giesbrecht, 1893
			Corycaeiidae	<i>Corycaeus (Urocorycaeus) lautus</i>	(Dana, 1849)
			Oncaeidae	<i>Oncaea venusta*</i>	Philippi, 1843
			Ectinosomatidae	<i>Microsetella rosea*</i>	(Dana, 1847)
			Miraciidae	<i>Macrosetella gracilis*</i>	(Dana, 1846)
			Tachidiidae	<i>Euterpina acutifrons</i>	(Dana, 1847)
		Canuelloida	Longipediidae	<i>Longipedia americana*</i>	Wells, 1980
Malacostraca		Siphonostomatoida	Caligidae	<i>Caligus rapax*</i>	Milne-Edwards, 1840
		Cumacea	Leuconidae	<i>Leucon (Leucon) americanus*</i>	Zimmer, 1943
		Tanaidacea	Tanaididae	<i>Tanais dilongii*</i>	(Audouin, 1826)
		Isopoda	Cirolanidae	<i>Eurydice piperata*</i>	Menzies & Frankenberg, 1966
			Idoteidae	<i>Edotia montosa*</i>	(Stimpson, 1853)

Tabla 1. Continúa.

Phylum/Clase	Subclase	Orden/Infraorden	Familia	Especie	Autor y año
			Sphaeromatidae	<i>Cassidinidea ovalis</i>	(Say, 1818)
		Amphipoda	Aoridae	<i>Grandidierella bonnieroides</i>	Stephensen, 1947
			Caprellidae	<i>Caprella equilibra*</i>	Say, 1818
			Gammaridae	<i>Gammarus mucronatus</i>	Say, 1818
				<i>Gammarus</i> sp.	
			Melitidae	<i>Melita nitida</i>	S.I. Smith in Verrill, 1873
		Mysidacea	Mysidae	<i>Americamysis almyra*</i>	(Bowman, 1964)
		Decapoda	Luciferidae	<i>Belzebub faxoni*</i>	(Borradaile, 1915)
	Eucarida		Penaeidae	<i>Penaeus aztecus</i>	Ives, 1891
				<i>Penaeus setiferus</i>	(Linnaeus, 1767)
			Portunidae	<i>Callinectes sapidus</i>	Rathbun, 1896
				<i>Callinectes</i> sp.	
				Larva zoea	
Chordata		Brachyura	Megalopidae	<i>Megalops atlanticus</i>	Valenciennes, 1847
Actinopterygii		Eloptiformes	Engraulidae	<i>Anchoa mitchilli</i>	(Valenciennes, 1848)
		Clupeiformes	Eleotridae	<i>Dormitator maculatus</i>	(Bloch, 1792)
				<i>Eleotris pisonis</i>	(Gmelin, 1789)
		Gobiiformes	Oxudercidae	<i>Ctenogobius boleosoma</i>	(Jordan & Gilbert, 1882)
			Gobiidae	<i>Gobionellus oceanicus</i>	(Pallas, 1770)
				<i>Gobiosoma bosc</i>	(Lacepède, 1800)
				<i>Microdesmus carr*</i>	Gilbert, 1966
		Pleuronectiformes	Paralichthyidae	<i>Citharichthys spilopterus</i>	Günther, 1862
		Syngnathiformes	Syngnathidae	<i>Syngnathus louisianae</i>	Günther, 1870
		Perciformes	Gerreidae	<i>Eucinostomus melanopterus</i>	(Bleeker, 1863)
				<i>Eucinostomus</i> sp.	
				Huevo de pez	

Los nuevos registros para el sistema son denotados con un “*”. Nombres científicos, autor y año, de acuerdo con WoRMS (2020) y Froese & Pauly (2020).

En relación con la variación temporal de la riqueza, ésta mostró diferencias significativas entre meses y entre periodos del día, con una interacción no significativa entre estos factores (Tabla 3). A lo largo del año, los promedios del número de especies tendieron a ser más altos de agosto a diciembre y abril, mientras que los promedios más bajos tendieron a presentarse de mayo a julio y de enero a marzo (Figura 2A). Así, el promedio del número de especies cuando la boca estuvo abierta ($\bar{x}_{ba} = 13.27$) fue mayor al observado cuando la boca estuvo cerrada ($\bar{x}_{bc} = 7.04$). A nivel nictímero, la riqueza de especies fue significativamente más grande en las horas nocturnas que durante las horas crepusculares y del día (Figura 2B).

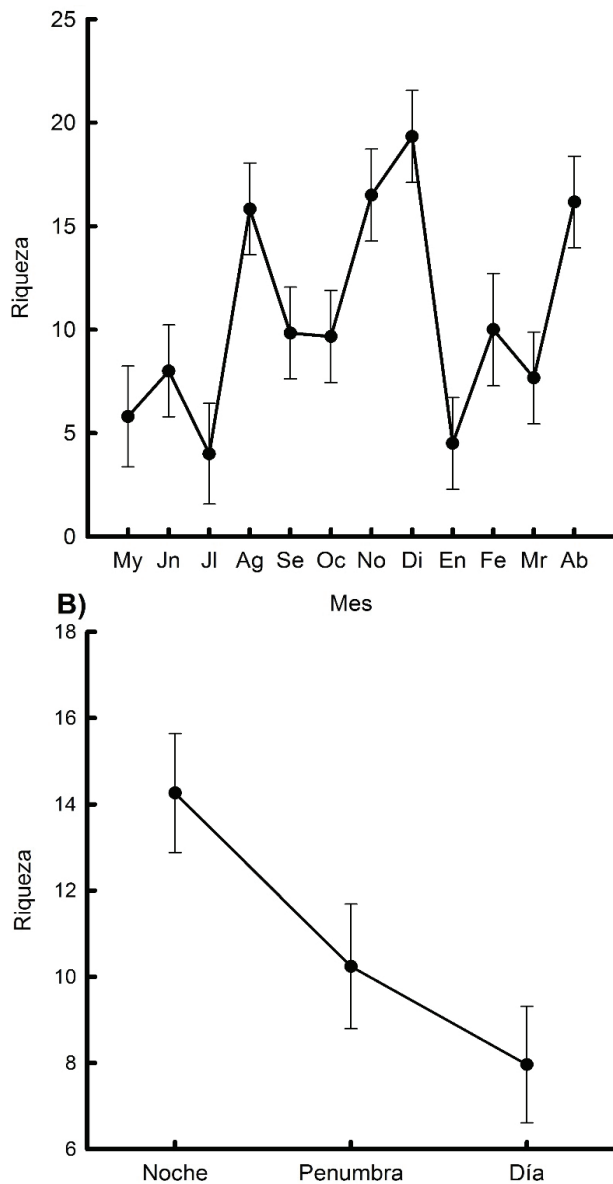


Figura 2. Valores promedio y error estándar por mes (A) y período del día (B), de la riqueza de especies.

DISCUSIÓN

Aunque el estudio formal del plancton en aguas mexicanas inició hace más de medio siglo, la mayoría de los estudios realizados corresponden principalmente a investigaciones en aguas epicontinentales y marinas, con referencia a la sistemática y distribución solo de algunos grupos del zooplancton (Suárez-Caabro & Gómez-Aguirre, 1965; Suárez-Morales, 2003), principalmente sobre cnidarios (Martell-Hernández *et al.*, 2014; Mendoza-Becerril *et al.*, 2009; Ocaña-Luna *et al.*, 2015), copépodos (López-Salgado & Suarez-Morales, 1998; López-Salgado *et al.*, 2000; Suárez-Morales & Gasca, 1998), e ictioplancton (Flores-Coto *et al.*, 2009; Ocaña-Luna & Sánchez-Ramírez, 2016; Sánchez-Ramírez & Ocaña-Luna, 2015; Sanvicente-Añorve *et al.*, 2000).

En este sentido, a pesar que la composición de especies de toda la comunidad zooplanctónica ha sido extensamente abordada en sistemas costeros del Caribe mexicano (Álvarez-Cadena & Segura-Puertas, 1997; Álvarez-Cadena *et al.*, 2007; 2009; Castellanos & Suarez-Morales, 1997; Gasca & Castellanos, 1993; Gasca *et al.*, 1994), relativamente pocos esfuerzos se han hecho en la zona costera del oeste central del Golfo de México (López-Salgado & Suarez-Morales, 1998) y menos aún en las lagunas costeras de la región suroccidental, salvo algunas excepciones, como son los casos de las lagunas de Sontecomapan (Benítez-Díaz *et al.*, 2014) y Términos (Suárez-Caabro & Gómez-Aguirre, 1965).

Para la laguna La Mancha, a pesar de que se han realizado muchos estudios sobre fauna acuática, la gran mayoría de esta literatura ha permanecido en tesis o resúmenes de reuniones científicas (Contreras, 2010; Ruiz & López-Portillo, 2006). Así, en el estricto sentido de estudios zooplanctónicos, para este sistema sólo se han registrado 13 especies de copépodos (Álvarez-Silva & Gómez-Aguirre, 2000), de las cuales ocho fueron registradas en el presente estudio (*A. lilljeborgii*, *A. tonsa*, *P. aculeatus*, *P. pelagicus*, *T. turbinata*, *T. setacaudatus*, *C. lautus* y *E. acutifrons*), mientras que cinco no lo fueron (*Centropages velificatus*, *Labidocera aestiva*, *Cymbasoma* sp., *Ergasilus versicolor* y *Diosaccus tenuicornis*). Por lo que el presente estudio, a pesar de tener la limitación de haberse desarrollado en una sola localidad del sistema (boca), representa el primer reporte de la composición de especies del zooplancton para la laguna La Mancha y uno de los pocos reportes con estas características para lagunas costeras del suroccidente del Golfo de México.

En diferentes sistemas costeros del Golfo de México y Caribe mexicano se han reportado entre 30 y 80 grupos zooplanctónicos, de los cuales, entre 10 y 30 se han determinado hasta especie (Álvarez-Cadena *et al.*, 2007; 2009; Benítez-Díaz *et al.*, 2014; Castellanos & Suarez-Morales, 1997; Gasca *et al.*, 1994), dependiendo estas cifras del nivel de determinación taxonómica hasta el que se reporten (Phylum, Orden, Familia, Género o Especie). Así, la composición del zooplancton reportada en el presente estudio, con 57 grupos, de los cuales 55 taxa fueron determinados hasta género o especie, muestra una riqueza relativamente alta para el sistema. Así, los 57 componentes zooplanctónicos registrados correspondieron a 43 familias, 25 órdenes y 6 phyla. La ocurrencia de una gran diversidad de invertebrados pertenecientes a una amplia escala zoológica acentúa la importancia de los estuarios como sitios de reproducción y crianza para muchas de estas especies (Day *et al.*, 2013).

Tabla 2. Máximo (Max), mínimo (Min) y promedio (\bar{x}) de la temperatura, salinidad y oxígeno registrada para la laguna La Mancha y para cada una de las especies registradas, durante el periodo de estudio.

	Temperatura			Salinidad			Oxígeno		
	Max	Min	\bar{x}	Max	Min	\bar{x}	Max	Min	\bar{x}
Laguna La Mancha	33.4	21.1	26.9	39	6	20.57	8.8	2.3	5.5
<i>Chrysaora quinquecirrha</i>	31.30	24.30	27.80	27.00	24.30	25.65	4.80	4.40	4.60
<i>Aurelia aurita</i>	31.10	24.20	27.50	39.00	8.00	24.80	6.70	2.80	5.10
<i>Obelia</i> sp.*			26.20			26.20			6.10
<i>Pleurobrachia pileus</i>	27.60	24.50	25.70	27.60	24.50	25.70	7.40	6.10	6.60
<i>Flaccisagitta enflata</i> *	31.30	23.80	26.40	39.00	14.50	25.70	7.40	2.80	5.20
<i>Laeonereis culveri</i>	29.60	23.90	25.83	34.00	24.10	28.45	6.10	4.50	5.23
<i>Nereis occidentalis</i>	26.80	24.10	24.97	39.00	24.10	29.67	6.00	4.30	4.87
<i>Platynereis dumerilii</i>	27.50	24.20	26.10	39.00	14.00	26.43	6.20	5.00	5.76
<i>Arabella</i> sp.	29.60	23.80	25.70	39.00	14.00	27.60	6.20	4.30	5.20
<i>Argulus</i> sp.*			23.90			34.00			6.10
<i>Acartia</i> (Odontacartia) <i>lilljeborgi</i>	24.40	23.80	24.10	39.00	23.80	29.10	6.10	4.30	5.10
<i>Acartia</i> (Acanthacartia) <i>tonsa</i>	31.60	21.10	26.00	39.00	8.50	23.50	7.30	2.80	5.20
<i>Paracalanus aculeatus</i>	31.30	24.20	26.30	39.00	24.30	30.40	6.70	4.40	5.50
<i>Calanopia americana</i> *	29.60	23.80	25.50	39.00	12.00	27.90	6.10	4.30	5.10
<i>Labidocera scotti</i>	28.70	23.80	26.10	27.00	12.00	21.00	6.20	2.80	4.80
<i>Pseudodiaptomus pelagicus</i>	31.60	21.10	26.50	39.00	6.00	20.40	8.80	2.80	5.60
<i>Temora stylifera</i> *	29.60	24.00	25.90	30.00	24.00	26.00	5.30	4.20	4.70
<i>Temora turbinata</i>	33.40	21.60	26.50	39.00	10.00	24.70	7.30	2.30	5.00
<i>Tortanus setacaudatus</i>	31.80	21.10	26.70	39.00	6.00	19.60	8.80	2.80	5.80
<i>Oithona nana</i>	31.60	23.80	26.40	38.00	10.00	22.30	7.30	4.20	5.40
<i>Corycaeus lautus</i>	29.60	23.80	25.70	39.00	12.00	26.40	6.70	4.20	5.10
<i>Oncaea venusta</i> *	29.60	23.80	25.30	39.00	23.80	30.20	6.70	4.20	5.30
<i>Microsetella rosea</i> *	31.30	23.80	27.12	39.00	6.00	20.88	8.80	4.20	5.59
<i>Macrosetella gracilis</i> *			24.20			39.00			6.00
<i>Euterpina acutifrons</i>	31.20	24.00	26.40	38.00	24.00	28.70	6.20	4.20	4.90
<i>Longipedia americana</i> *			24.10			24.10			4.50
<i>Caligus rapax</i> *	30.20	23.80	25.32	39.00	14.50	25.14	6.00	4.40	4.82
<i>Leucon americanus</i> *	29.60	24.40	27.00	30.00	24.40	27.20	5.30	4.30	4.80
<i>Tanais dulongii</i> *	30.20	23.80	25.90	39.00	14.50	26.90	6.20	4.30	4.90
<i>Eurydice piperata</i> *	29.60	24.10	26.90	38.00	16.00	26.80	6.40	2.80	4.90
<i>Edotia montosa</i> *	29.60	21.10	25.40	30.00	13.00	23.90	7.10	2.80	5.20
<i>Cassidinidea ovalis</i>	31.80	27.90	29.90	25.00	8.00	17.30	5.30	4.30	4.90
<i>Grandidierella bonnieroides</i>	30.20	23.80	25.20	38.00	8.00	25.40	6.10	4.30	4.80
<i>Caprella equilibra</i> *	29.60	23.90	26.75	34.00	30.00	32.00	6.10	5.30	5.70
<i>Gammarus mucronatus</i>	30.20	21.10	25.54	27.00	6.00	20.71	7.30	4.30	5.77
<i>Gammarus</i> sp.	30.20	21.10	26.01	39.00	6.00	20.83	7.14	2.80	5.10
<i>Melita nitida</i>	30.20	21.10	26.00	39.00	6.00	20.80	7.10	2.80	5.10
<i>Americamysis almyra</i> *	30.20	21.10	26.60	25.00	6.00	15.90	7.10	4.30	5.70
<i>Belzebub faxoni</i> *	33.40	24.20	27.90	39.00	12.00	23.40	6.20	2.30	4.30
<i>Penaeus aztecus</i>	29.60	24.60	27.66	38.00	10.00	22.90	5.50	4.60	5.08
<i>Penaeus setiferus</i>	33.40	21.10	27.00	39.00	6.00	20.10	8.80	2.30	5.30
<i>Callinectes sapidus</i>	31.80	23.90	26.90	39.00	9.50	22.80	6.10	2.80	4.70
<i>Callinectes</i> sp.	24.60	24.40	24.50	38.00	24.40	31.20	4.60	4.30	4.45
Larva zoea	33.40	21.10	27.10	39.00	6.00	20.00	8.80	2.30	5.40

Tabla 2. Continúa.

	Temperatura			Salinidad			Oxígeno		
	Max	Min	\bar{x}	Max	Min	\bar{x}	Max	Min	\bar{x}
<i>Megalops atlanticus</i>	27.90	23.90	25.90	34.00	25.00	29.50	6.10	5.00	5.50
<i>Anchoa mitchilli</i>	30.20	27.40	28.58	25.00	9.50	15.30	5.90	2.80	4.62
<i>Dormitator maculatus</i>	29.60	24.20	27.43	39.00	9.50	23.29	6.00	4.60	5.33
<i>Eleotris pisonis</i>	29.60	24.60	27.90	30.00	9.50	21.37	5.90	4.30	5.17
<i>Ctenogobius boleosoma</i>	30.20	24.40	28.20	30.00	9.50	17.80	5.90	2.80	4.50
<i>Gobionellus oceanicus</i>	29.60	24.60	28.15	38.00	9.00	18.00	5.90	3.80	5.02
<i>Gobiosoma bosc</i>	30.20	27.90	29.00	30.00	8.00	19.00	5.30	2.80	4.36
<i>Microdesmus carri*</i>	30.20	26.60	28.60	29.00	8.00	16.33	6.94	3.50	4.93
<i>Citharichthys spilopterus</i>	29.60	24.60	27.10	30.00	24.60	27.30	5.30	4.30	4.80
<i>Syngnathus louisianae</i>			27.90			25.00			5.00
<i>Eucinostomus melanopterus</i>	29.60	26.60	27.88	30.00	12.00	20.75	5.30	2.80	4.15
<i>Eucinostomus sp.</i>	28.30	27.90	28.10	25.00	10.00	17.50	5.50	5.00	5.25
Huevo de pez	31.30	21.10	25.90	39.00	8.00	24.70	7.40	4.20	5.50

Los nuevos registros para el sistema son denotados con un “**”.

Los componentes zooplanctónicos mejor representados fueron los crustáceos, dentro de los cuales los copépodos fueron los más diversos con 17 especies, dominando los copépodos calanoideos de los géneros *Acartia* (principalmente *A. tonsa*), *Calanopia*, *Pseudodiaptomus* y *Temora*, como se ha registrado en otros sistemas costeros tanto del Golfo de México (Benítez-Díaz *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2017; Suárez-Caabro & Gómez-Aguirre, 1965), como del Caribe mexicano (Álvarez-Cadena *et al.*, 2007; 2009; Castellanos & Suárez-Morales, 1997). Los peracáridos también estuvieron relativamente bien representados con 11 especies. Aunque los cumáceos, tanaidáceos, isópodos, anfípodos, así como la mayoría de los poliquetos, tienden a estar principalmente asociados al bentos, muchos pueden ascender por la columna de agua, por movimientos migratorios verticales (principalmente nocturnos) y por efecto de transporte de agua de fondo hacia la superficie (Gasca & Castellanos, 1993; Johnson & Allen, 2012). Los decápodos estuvieron constituidos solo por seis componentes, principalmente larvas zoea y megalopa, y su gran abundancia en sistemas costeros, se ha relacionado con los procesos reproductivos dentro del sistema (Gasca & Castellanos, 1993; Gasca *et al.*, 1994).

En relación con el ictioplancton, aunque no se encontró una riqueza específica tan alta como la registrada en otras lagunas costeras del Golfo de México, donde el número de especies oscila entre 39 y 57 (Ocaña-Luna & Sánchez-Ramírez, 2016; Sánchez-Ramírez & Ocaña-Luna, 2015), se determinaron 12 especies, principalmente de los

órdenes Gobiiformes y Clupeiformes. El zooplancton gelatinoso incluyó dos especies de medusas, una de ctenóforo y un género de hidromedusa (*Obelia* sp.), del cual no fue posible determinar taxonómicamente la especie, debido a que los caracteres de identificación a este nivel están basados en el pólipo y no en el estado de medusa (Martell-Hernández *et al.*, 2014). Los poliquetos también incluyeron cuatro especies, mientras que un quetognato y un branquiuro completaron el elenco sistemático.

De todos los componentes registrados, 18 representaron nuevos registros para la laguna La Mancha, los cuales fueron 1 hidromedusa, 1 quetognato, 1 branquiuro, 7 copépodos, 6 peracáridos, 1 decápodo y 1 pez. Para comprender si estos nuevos registros implican además una ampliación en su distribución, se analizaron aspectos zoogeográficos de cada uno de ellos.

Así, para el Golfo de México han sido citadas al menos ocho especies de hidromedusas del género *Obelia*, tres de las cuales tienen una amplia distribución desde el noreste hasta el sureste (Calder & Cairns, 2009). La especie de quetognato *Flaccisagitta enflata* presenta una amplia distribución en el Golfo de México, con alta abundancia desde las costas de Tamaulipas, hasta el mar Caribe (Álvarez-Cadena *et al.*, 2007; Mille-Pagaza & Carrillo-Laguna, 2003). Asimismo, para el Golfo de México han sido registradas al menos diez especies de branquiuros del género *Argulus* (Poly, 2009).

Cinco de los siete nuevos registros de copépodos, *Calanopia americana*, *Temora stylifera*, *Macrosetella gracilis*, *Microsetella rosea* y *Oncaea venusta* han sido registrados para sistemas tanto hacia el norte del sistema (López-Salgado & Suárez-Morales, 1998; López-Salgado *et al.*, 2000), como en el Caribe mexicano (Álvarez-Cadena & Segura-Puertas, 1997; Álvarez-Cadena *et al.*, 1998), todas ellas con una amplia distribución en todo el Golfo de México (Suárez-Morales *et al.*, 2009). Similarmente, el copépodo *Longipedia americana* presenta registros tanto en el norte del golfo, como en el Caribe (Johnson & Allen 2012; Suárez-Morales *et al.*, 2009), mientras que *Caligus rapax* ha sido reportada hacia el norte del sistema La Mancha, en laguna de Pueblo Viejo y para el sur, en la laguna de Alvarado (Álvarez-Silva & Gómez-Aguirre, 2000).

Tabla 3. Resultados del ANOVA de dos vías para evaluar el efecto de los meses y los períodos del día sobre la riqueza de especies.

Origen de la variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados medios	F	P
Meses	11	146.193	5.822	< 0.0005
Período del día	2	232.957	9.278	0.001
Interacción	22	16.320	0.650	0.853
Error	32	25.109		

En relación con los nuevos registros de peracáridos, aunque el cópico *Leucon americanus* se ha reportado como restringido a la costa este de los Estados Unidos, estando en controversia su límite meridional en el norte del Golfo de México (Heard & Roccatagliata, 2009; Heard *et al.*, 2007; Petrescu & Heard 2010; Roccatagliata, 2004), el presente reporte podría representar además una ampliación en su distribución meridional. El tanaidáceo *Tanais dulongii* (= *T. cavolinii*) ha sido registrado para la costa noreste de Estados Unidos (Gosner, 1971), con probable presencia en Florida (Heard *et al.*, 2004) y hacia el sur en las lagunas de Alvarado y Términos, y mar Caribe (Escobar-Briones, 2004; García-Madrigal *et al.*, 2002). Los isópodos *Eurydice piperata* y *Edotea montosa* presentan una distribución que incluye el noreste del Golfo de México y mar Caribe (Kensley & Shotte, 1989; Schotte *et al.*, 2009). Similarmente, el anfípodo *Caprella equilibra* se encuentra ampliamente distribuida en todo el Golfo de México (LeCroy *et al.*, 2009; Paz-Ríos *et al.*, 2014), mientras que el misidáceo *Americamysis almyra* (= *Mysis almyra*) se presenta desde la costa norte de los Estados Unidos, hasta el sur del Golfo de México (Escobar-Briones & Soto, 1988; Johnson & Allen, 2012).

Con respecto a los decápodos, el camarón fantasma *Belzebub faxoni* presenta una amplia distribución en el océano Atlántico, desde Nueva Escocia, Canadá, hasta el Río Grande, Brasil (Cházaro-Olvera *et al.*, 2017), y en relación con el ictioplancton, la distribución de *Microdesmus carri* se ha delimitado de manera general, del suroeste de México a Costa Rica (Froese & Pauly, 2020; Lara-Domínguez *et al.*, 2011; McEachran & Feckhelm, 2005), por lo que este nuevo registro además puede representar el límite septentrional en su distribución. Así, de los 18 taxa reportados en el presente estudio como nuevos registros para la laguna La Mancha, solo dos casos representan una ampliación en su distribución geográfica (*Leucon americanus* y *Microdesmus carri*).

En cuanto a los intervalos de las variables ambientales, en los cuales se registraron para cada uno de los taxa encontrados, la información aportada permitirá determinar potenciales nuevos registros de tolerancias fisiológicas a la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, en las que pueden ocurrir las especies.

Las curvas de acumulación de especies permiten extrapolar el número de especies observado en un inventario y de esta manera poder estimar el total de especies que estarían presentes en la zona (Magurran, 2004). En este sentido, la curva de acumulación de especies realizada en el presente trabajo muestra un comportamiento asintótico, es decir, que un incremento en el esfuerzo de muestreo no causaría aumentos sustanciales en la riqueza de especies, resaltando así que la combinación del esfuerzo de muestreo realizado tanto a nivel mensual como por períodos del día permitió tener representada adecuadamente la riqueza de especies de la localidad estudiada. Asimismo, de acuerdo con los métodos no paramétricos para la estimación de la riqueza de especies, el número total de especies esperadas para la laguna podría variar entre 59 y 62, confirmando que el elenco sistemático reportado puede representar adecuadamente esta comunidad zooplanctónica.

En este contexto, en la determinación de riqueza de especies de un sistema, resalta la importancia de considerar muestreos nocturnos a lo largo de un ciclo anual de estudio, ya que esto permite aumentar la probabilidad de capturar especies con hábitos preferentemente nocturnos y por lo tanto obtener una representación más completa de la estructura de la comunidad (Castellanos & Suarez-Morales, 1997; Castillo-Rivera *et al.*, 2005; Marques *et al.*, 2009). De hecho, en el presente

estudio se observó que la riqueza de especies fue significativamente mayor durante la noche que en los otros dos períodos del día.

Similarmente, a nivel estacional la riqueza también mostró diferencias significativas entre meses y aunque esto puede estar relacionado con los procesos de migración estacional inherentes a los ciclos de vida de las especies, en el presente estudio se observó que esta variación estuvo en lo general asociada con el estado de la boca del sistema, existiendo una mayor riqueza de especies cuando ésta permaneció abierta.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, por haber contribuido con el financiamiento del presente estudio, asimismo, a los miembros del Laboratorio de Peces por su colaboración en la toma de muestras y a la cooperativa pesquera de la laguna La Mancha, por su permiso y apoyo en la recolecta de material biológico. Al CONACyT, por la beca de estudios de doctorado otorgada a AMH. Se agradece también la valiosa revisión y sugerencias de los revisores anónimos.

REFERENCIAS

- ÁLVAREZ-CADENA, J. N. & L. SEGURA-PUERTAS. 1997. Zooplankton variability and copepod species assemblages from a tropical coastal lagoon. *Gulf Research Reports* 9: 345-355. DOI:10.18785/gr.0904.12
- ÁLVAREZ-CADENA, J. N., E. SUÁREZ-MORALES & R. GASCA. 1998. Copepod assemblages from a reef-related environment in the Mexican Caribbean Sea. *Crustaceana* 70: 411-433. DOI:10.1163/156854098X00527
- ÁLVAREZ-CADENA, J. N., U. ORDÓÑEZ-LÓPEZ, D. VALDÉS-LOZANO, A. R. ALMARAL-MENDIVIL & A. UICAB-SABIDO. 2007. Estudio anual del zooplankton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, mar Caribe de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 421-430.
- ÁLVAREZ-CADENA, J. N., U. ORDÓÑEZ-LÓPEZ, A. R. ALMARAL-MENDIVIL & A. UICAB-SABIDO. 2009. Composition and abundance of zooplankton groups from a coral reef lagoon in Puerto Morelos, Quintana Roo, Mexico, during an annual cycle. *Revista de Biología Tropical* 57(3): 647-658. DOI:10.15517/rbt.v57i3.5481
- ÁLVAREZ-SILVA, C. & S. GÓMEZ-AGUIRRE. 2000. Listado actualizado de la fauna de Copépodos (Crustácea) de las Lagunas Costeras de Veracruz. *Hidrobiológica* 10: 161-164.
- BENÍTEZ-DÍAZ, M. M. I., M. E. CASTELLANOS-PÁEZ, G. GARZA-MOURIÑO, M. J. FERRARA-GUERRERO & M. PAGANO. 2014. Spatiotemporal variations of zooplankton community in a shallow tropical brackish lagoon (Sontecomapan, Veracruz, Mexico). *Zoological studies* 53-59. DOI:10.1186/s40555-014-0059-6
- 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-Origins, Waters, and Biota. Biodiversity*. Texas A y M University Press, pp. 381-394.
- CAMPOS, A. & E. SUÁREZ. 1994. *Copépodos pelágicos del Golfo de México y Mar Caribe: Biología y sistemática*. CIQRO, CONACYT, Chetumal. 711 p.
- CASTELLANOS, I. & E. SUÁREZ-MORALES. 1997. Observaciones sobre el zooplankton de la zona arrecifal de Mahahual, Quintana Roo (Mar

- Caribe). *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 68(2): 237-252.
- CASTILLO-RIVERA, M., R. ZARATE-HERNÁNDEZ & S. ORTIZ-BURGOS. 2005. Variación nictímera y estacional de la abundancia, riqueza y especies dominantes de peces, en un ambiente salobre de sustrato blando. *Hidrobiológica* 15: 227-238.
- CHÁZARO-OLVERA, S., M. ORTIZ, I. WINFIELD, J. A. PÉREZ-RAMOS & C. MEINERS-MANDUJANO. 2017. Distribución, densidad, proporción sexual y fecundidad de *Belzebub faxoni* (Decapoda, Luciferidae) en el Sistema Arrecifal Veracruzano, SO del Golfo de México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 52(3): 467-478. DOI:10.4067/S0718-19572017000300005
- COLWELL, R. K. 2013. Estimate S: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>
- CONTRERAS, E. F. 2010. *Ecosistemas Costeros Mexicanos*. CONABIO-UAMI, D. F. 514 p.
- DAY, J. W., B. C. CRUMP, W. M. KEMP & A. YÁÑEZ-ARANCIBIA. 2013. *Estuarine Ecology*. John Wiley & Sons, New Jersey. 568 p.
- ESCOBAR-BRIONES, E. 2004. Tanaidacea. In: Llorente-Bousquets, J. E., J. J. Morrone, O. Yáñez-Ordóñez & I. Vargas-Fernández (eds.). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos: hacia una síntesis de su conocimiento*. Facultad de Ciencias UNAM, D. F., pp. 497-511.
- ESCOBAR-BRIONES, E. & L. A. SOTO. 1988. Mysidacea from Términos Lagoon, Southern Gulf of Mexico, and description of a new Species of *Taphromysis*. *Journal of Crustacean Biology* 8(4): 639-655. DOI:10.1163/193724088X00477
- FLORES-COTO, C., M.L. ESPINOSA-FUENTES, L. SANVICENTE-AÑORVE Y F. ZAVALLA-GARCÍA. 2009. Ictioplancton del sur del Golfo de México. Un compendio. *Hidrobiológica* 19 (1): 49-76.
- FROESE, R. & D. PAULY. 2020. FishBase. World Wide Web electronic publication. Disponible en línea en: <http://www.fishbase.org> (downloaded January 27, 2020).
- GARCÍA, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM, D. F. 217 p.
- GARCÍA-MADRIGAL, M. S., C. CAMPOS-VÁZQUEZ & N. E. GONZÁLEZ. 2002. Selección de Crustáceos de la Colección de referencia de bentos costero de ECOSUR. *Universidad y Ciencia* 36: 140-148.
- GASCA, R. & I. CASTELLANOS. 1993. Zooplancton de la Bahía de Chetumal, Mar Caribe, México. *Revista de Biología Tropical* 41: 619-625.
- GASCA, R., E. SUÁREZ-MORALES & L. VÁSQUEZ-YEOMAS. 1994. Estudio comparativo del zooplancton (biomasa y composición) en dos bahías del Mar Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 42: 595-604.
- GOSNER, K. L. 1971. *Guide to Identification of marine and estuarine invertebrates*. John & Sons, Inc, New York. 693 p.
- HEARD, R. W. & D. C. ROCCATAGLIATA. 2009. Cumacea (Crustacea) of the Gulf of Mexico. In: Felder D. L. & D. K. Camp (eds.). *Gulf of Mexico-Origins, Waters, and Biota. Biodiversity*. Texas A y M University Press, pp. 1001-1011.
- HEARD, R. W., T. HANSKNECHT & K. LARSEN. 2004. *An illustrated identification guide to Florida Tanaidacea (Crustacea: Peracarida) occurring in depths of less than 200 M*. Department of Environmental Protection, Division of Water Resource Management camb. Tallahassee, 163 p.
- HEARD, R. W., D. C. ROCCATAGLIATA & I. PETRESCU. 2007. *An illustrated guide to Cumacea (Crustacea: Malacostraca: Peracarida) from Florida coastal and shelf waters to depths of 100 m*. Department of environmental protection, Tallahassee. 8 p.
- JOHNSON, W. S. & D. M. ALLEN. 2012. *Zooplankton of the Atlantic and Gulf Coast: A Guide to Their Identification and Ecology*. JHU Press, Baltimore. 452 p.
- KENSLEY, B. F. & M. SCHOTTE. 1989. *Guide to the marine isopod crustaceans of the Caribbean*. Smithsonian Institution Press, Washington. 308 p.
- LARA-DOMÍNGUEZ, A. L., J. W. DAY, A. YÁÑEZ-ARANCIBIA & E. SÁINZ-HERNÁNDEZ. 2006. A dynamic characterization of water flux through a tropical ephemeral inlet, La Mancha lagoon, Gulf of Mexico. In: Singh V. P. & Y. J. Xu (eds.). *Coastal Hydrology and Processes*. Water Resources Publications, Chelsea, pp. 413-422.
- LARA-DOMÍNGUEZ, A. L., J. FRANCO-LÓPEZ, C. BEDIA-SÁNCHEZ, L. ABARCA-ARENAS, S. DÍAZ-RUIZ, A. AGUIRRE-LEÓN, C. GONZÁLEZ-GÁNDARA & M. CASTILLO-RIVERA. 2011. Diversidad de peces en los ambientes costeros y plataforma continental. In: Cruz Aragón, C. (ed.). *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C., Xalapa. 679 p.
- LECROY, S. E., R. GASCA, I. WINFIELD, M. ORTIZ & E. ESCOBAR-BRIONES. 2009. Amphipoda (Crustacea) of the Gulf of Mexico. In: Felder D. L. & D. K. Camp (eds.). *Gulf of Mexico-Origins, Waters, and Biota. Biodiversity*. Texas A y M University Press, pp. 941-972.
- LIU, H., X. ZHANG, Q. YANG, T. ZUO & A. QUIGG. 2017. Mesozooplankton dynamics in relation to environmental factors and juvenile fish in a subtropical estuary of the Gulf of Mexico. *Journal of Coastal Research* 33(5): 1038-1050. DOI:10.2112/JCOASTRES-D-16-00155.1
- LÓPEZ-SALGADO, I. & E. SUÁREZ-MORALES. 1998. Copepod assemblages in surface waters of the Western Gulf of Mexico. *Crustaceana* 71(3): 312-330.
- LÓPEZ-SALGADO, I., R. GASCA & E. SUÁREZ-MORALES. 2000. La comunidad de copépodos (Crustacea) en los giros a mesoescala en el occidente del Golfo de México (julio, 1995). *Revista de Biología Tropical* 48: 169-179.
- MAGURRAN, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Oxford. 215 p.
- MARQUES, S. C., U. AZEITEIRO, F. MARTINHO, I. VIEGAS & M. A. PARDAL. 2009. Evaluation of estuarine mesozooplankton dynamics at a fine temporal scale: The role of seasonal, lunar and diel cycles. *Journal of Plankton Research* 31(10): 1249-1263. DOI:10.1093/plankt/fbp068
- 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. DOI:10.1186/s40693-014-0018-y

- McEACHRAN, J. D. & J. D. FECHHELM. 2005. *Fishes of the Gulf of Mexico*. University of Texas, Austin. 1004 p.
- MICALCO-HERNÁNDEZ, A., M. CASTILLO-RIVERA, L. SANVICENTE-AÑORVE, C. FLORES-COTO & C. ÁLVAREZ-SILVA. 2018. Variación estacional y nocturna en la distribución del zooplankton dominante en una laguna costera tropical. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 53: 39-49. DOI:10.4067/S0718-19572018000100039
- MENDOZA-BECERRIL, M., A. OCAÑA-LUNA & M. SÁNCHEZ-RAMÍREZ. 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.
- MILLE-PAGAZA, S. & J. CARRILLO-LAGUNA. 2003. Distribución y abundancia de los quetognatos de la plataforma Tamaulipeca y océano adyacente en abril de 1987. *Hidrobiológica* 13: 223-229.
- NELSON, J. F., T. C. GRANDE & M. V. H. WILSON. 2016. *Fishes of the world*. John Wiley & Sons Inc, New Jersey. 707 p.
- OCAÑA-LUNA, A. & M. SÁNCHEZ-RAMÍREZ. 2016. Estructura de la comunidad ictioplanctónica en la laguna de Tamiahua, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(1): 123-132. DOI:10.1016/j.rmb.2016.01.018
- OCAÑA-LUNA, A., M. SÁNCHEZ-RAMÍREZ & R. AGUILAR-DURÁN. 2015. Macro-medusas y ctenóforos del sistema arrecifal veracruzano y lagunas costeras asociadas. In: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del sistema arrecifal veracruzano: Hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, pp. 121-138.
- PAZ-RIOS, C. E., J. M. GUERRA-GARCÍA & P. L. ARDISSON. 2014. Caprellids (Crustacea: Amphipoda) from the Gulf of Mexico, with observations on *Deutella mayeri*, redescription of *Metaprotella hummelinki*, a taxonomic key and zoogeographical comments. *Journal of Natural History* 48 (41-42): 2517-2578. DOI:10.1080/00222933.2014.931481
- PETRESCU, I. & R. W. HEARD. 2010. New leuconids from the Gulf of Mexico (Crustacea: Cumacea: Leuconidae). *Travaux du Muséum National d'Histoire naturelle "Grigore Antipa"* 53: 71-90. DOI:10.2478/v10191-010-0005-8
- POLY, W. J. 2009. Branchiura (Crustacea) of the Gulf of Mexico. In: Felder D. L. & D. K. Camp (eds.). *Gulf of Mexico-Origins, Waters, and Biota*. Biodiversity. Texas A y M University Press, pp. 1001-1011.
- PRICE, W. W. 1982. Key to the shallow water Mysidacea of the Texas coast with notes on their ecology. *Hydrobiologia* 93: 9-21.
- RICHARDS, W. J. 2006. *Early stages of Atlantic fishes. An identification guide for the western central North Atlantic*. Taylor y Francis, Florida. 2640 p.
- ROCCATAGLIATA, D. C. 2004. Cumacea. In: Llorente-Bousquets, J. E., J. J. Morrone, O. Yáñez-Ordóñez & I. Vargas-Fernández (eds.). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos: hacia una síntesis de su conocimiento*. Facultad de Ciencias UNAM. México, pp. 471-481.
- RUIZ, M. & J. LÓPEZ-PORTILLO. 2006. Los invertebrados. In: P. Moreno-Casasola (ed.). *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha*. Instituto de Ecología. A. C. Veracruz, pp. 341-361.
- RUIZ, M. & J. LÓPEZ-PORTILLO. 2014. Variación espacio-temporal de la comunidad de macroinvertebrados epibiontes en las raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) en la laguna costera de La Mancha, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical* 62(4): 1309-1330. DOI:10.15517/rbt.v62i4.12582
- SÁNCHEZ-RAMÍREZ, M. & A. OCAÑA-LUNA. 2015. Estructura y variación estacional de la comunidad ictioplanctónica en una laguna hipersalina del oeste del Golfo de México: Laguna Madre, Tamaulipas. *Hidrobiológica* 25: 175-186.
- SANVICENTE-AÑORVE, L., C. FLORES-COTO & X. CHIAPPA-CARRARA. 2000. Temporal and spatial scales of ichthyoplankton distribution in the southern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 51: 463-475. DOI:10.1006/ecss.2000.0692
- SCHOTTE, M., J. C. MARKHAM & G. D. F. WILSON. 2009. Isopoda (Crustacea) of the Gulf of Mexico. In: Felder D. L. & D. K. Camp (eds.). *Gulf of Mexico-Origins, Waters, and Biota*. Biodiversity. Texas A y M University Press, pp. 973-986.
- SOUZA, L. C., C. W. BRANCO, P. DOMINGOS & S. L. C. BONECKER. 2011. Zooplankton of an urban coastal lagoon: composition and association with environmental factors and summer fish kill. *Zoologia* 28: 357-364. DOI:10.1590/S1984-46702011000300010
- SUÁREZ-CAABRO, J. A. & S. GÓMEZ-AGUIRRE. 1965. Observaciones sobre el plancton de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Bulletin of Marine Science* 15: 1072-1120.
- SUÁREZ-MORALES, E. 2003. Bibliografía comentada y perspectivas en el estudio de los copépodos pelágicos del Golfo de México y zonas adyacentes del Atlántico Noroccidental. In: Barreiro, M. T., M. E. Meave, M. Signoret & G. Figueroa (eds.). *Planctología Mexicana*. Sociedad Mexicana de Planctología A.C./ UAM Iztapalapa/ ECO-SUR. México, pp. 143-156.
- SUÁREZ-MORALES, E. & R. GASCA. 1998. Updated checklist of the free-living marine copepoda (Crustacea) of Mexico. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología* 69: 105-119.
- SUÁREZ-MORALES, E., R. GASCA, I. H. KIM & I. CASTELLANOS. 1998. A new geographic and host record for *Argulus flavescens* Wilson, 1916 (Crustacea, Arguloida), from southeastern Mexico. *Bulletin of Marine Science* 62: 293-6.
- SUÁREZ-MORALES, E., J. W. FLEEGER & P. A. MONTAGNA. 2009. Free-Living Copepoda (Crustacea) of the Gulf of Mexico. In: Felder D. L. & D. K. Camp (eds.). *Gulf of Mexico-Origins, Waters, and Biota*. Biodiversity. Texas A y M University Press, pp. 841-869.
- TRÉGUBOFF, G. & M. ROSE. 1957. *Manual de planctonologie Méditerranéenne*. Illustrations. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 582 p.
- WoRMS (EDITORIAL BOARD). 2020. World Register of Marine Species. Disponible en línea en: <http://www.marinespecies.org> (downloaded February 05, 2020).

Horizontal transmission of ice-ice disease in seaweed *Kappaphycus alvarezii* (Doty) L. M. Liao (Gigartinales, Rhodophyta)

Transmisión horizontal de la enfermedad del hielo en *Kappaphycus alvarezii* (Doty) L. M. Liao (Gigartinales, Rhodophyta)

Muhammad Aris^{1*} and Rusmawati Labenua²

Recibido: 07 de mayo de 2020.

Aceptado: 15 de julio de 2020.

Publicado: agosto de 2020.

ABSTRACT

Background: *Kappaphycus alvarezii* seaweed is a major commodity of important economic value fishery cultivation that has been developed in many countries. The demand for *K. alvarezii* seaweed continues to increase because it produces carrageenan which is commonly used as the main raw material in many industrial activities. However, *K. alvarezii* seaweed farming is inseparable from several obstacles. In the seaweed culture system, ice-ice disease is a major obstacle because it can harm the cultivation business. Ice-ice disease causes a decrease in seaweed production. Bacteria play a role in the development of ice-ice disease in seaweed cultivation. Aquatic organisms infected with bacteria indirectly cause damage to tissue. The spread of bacterial diseases in aquatic organisms can occur vertically or horizontally. **Goals:** This research aims to study the horizontal transmission of ice-ice disease on growth, carrageenan content, and changes in the structure of the *K. alvarezii* seaweed tissue which were tested in-vivo. **Methods:** This study uses healthy seaweed thallus weighing 35g and seaweed thallus affected by ice-ice weighing 30g (A), 35g (B), 40g (C) and 45g (D). The parameters observed were morphological changes, carrageenan content and tissue changes with histological analysis. **Result:** The results of this research indicate that the transmission of ice-ice disease can occur horizontally from thallus affected by ice-ice to healthy thallus. This transmission causes discoloration that shows symptoms of ice-ice attack on healthy seaweed *K. alvarezii*. This discoloration is accompanied by a decrease in thallus weight. Transmission also causes changes in the structure of the tissue in the form of lysis in the tissue and reduce the content of carrageenan in *K. alvarezii* seaweed. **Conclusions:** Based on this research, it can be concluded that the spread of ice-ice disease in seaweed causes color change, weight loss, changes in tissue structure, and reduce the quality of carrageenan.

Keywords: *Kappaphycus alvarezii*, ice-ice disease, horizontal transmission, histology, carrageenan content.

RESUMEN

Antecedentes: *Kappaphycus alvarezii* es un importante producto en la acuicultura de valor económico en muchos países. La demanda de algas *K. alvarezii* continúa aumentando porque produce carragenina, que se usa comúnmente como la principal materia prima en muchas actividades industriales. Sin embargo, el cultivo de algas marinas de *K. alvarezii* es inseparable de varios obstáculos. En el sistema de cultivo de algas marinas, la enfermedad de hielo-hielo una problemática importante porque puede dañar el negocio del cultivo. La enfermedad de hielo-hielo causa una disminución en la producción de algas. Las bacterias juegan un papel en el desarrollo de la enfermedad de hielo-hielo en el cultivo de algas. Los organismos acuáticos infectados con bacterias causan daños indirectos en los tejidos. La propagación de enfermedades bacterianas en organismos acuáticos puede ocurrir vertical u horizontalmente. **Objetivos:** Esta investigación tiene como objetivo estudiar la transmisión horizontal de la enfermedad de hielo-hielo en el crecimiento, el contenido de carragenina y los cambios en la estructura de la red de algas marinas *K. alvarezii* que se probaron in vivo. **Métodos:** Este estudio utilizó talos de algas sanas que pesaron 35 g y talos de algas marinas afectadas por la enfermedad del hielo-hielo que pesaron 30 g (A), 35 g (B), 40 g (C) y 45 g (D). Los parámetros observados fueron cambios morfológicos, contenido de carragenano y cambios tisulares con análisis histológico. **Resultados:** Los resultados de esta investigación indican que la transmisión de la enfermedad de hielo-hielo puede ocurrir horizontalmente desde el talo afectado por el hielo hasta el talo sano. Esta transmisión provoca decoloración y una disminución en el peso del talo. La transmisión también provoca cambios en la estructura del tejido en forma de lisis en la red y reduce el contenido de carragenina en las algas *K. alvarezii*. **Conclusiones:** Con base en esta investigación, se puede concluir que la propagación de la enfermedad del hielo-hielo en

¹ Department of Aquaculture, Fisheries and Marine of Faculty, Khairun of University. Ternate, 97719. Indonesia

² Departement of Aquatic Resource Management, Fisheries and Marine of Faculty, Khairun of University. Ternate, 97719. Indonesia

***Corresponding author:**

Muhammad Aris: e-mail: amboasse100676@gmail.com

To quote as:

Aris, M. & R. Labenua. 2020. Horizontal transmission of ice-ice disease in seaweed *Kappaphycus alvarezii* (Doty) L. M. Liao (Gigartinales, Rhodophyta). *Hidrobiológica* 30 (2): 155-161.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbshidro/2020v30n2/Muhammad

las algas marinas causa cambios de color, pérdida de peso, cambios en la estructura de los tejidos y reducción de la calidad de la carragenina.

Palabras clave: Algas rojas, acuicultura, bacterias, carragenina, histología, morfología.

INTRODUCTION

Kappaphycus alvarezii (Doty) L. M. Liao seaweed is a major economically important fishery commodity (Ask & Azanza, 2002; Bixler & Porse, 2010; Bindu & Levine, 2011; Zuniga-Jara & Marin-Riffo, 2015). The development of the *K. alvarezii* culture is very fast due to the demand for carrageenan, which is commonly used as the main raw material in many industrial activities (Munoz *et al.*, 2004; Yunque *et al.*, 2011; Barbosa *et al.*, 2013; Hurtado *et al.*, 2015; Porse & Rudolph, 2017).

Kappaphycus alvarezii is a seaweed commodity that has been developed in many countries, such as Indonesia, Malaysia, the Philippines, Vietnam and several other countries (Hung *et al.*, 2009; Nadirah *et al.*, 2012; Hurtado *et al.*, 2015; Kasim & Mustafa, 2017). In the seaweed culture system, ice-ice disease is a major obstacle because it can harm cultivation efforts (Vairappan, 2006; Solis *et al.*, 2010; Luhan *et al.*, 2015). Ice-ice disease causes a decrease in seaweed farming production ranging from 70%-100% (Loureiro *et al.*, 2010).

Outbreaks of ice-ice diseases attacking *K. alvarezii* cultivation development activities have been reported in various regions of Indonesia, including Karimunjawa Islands, East Java; Bungin Island and Muna Island, Southeast Sulawesi; and Seribu Islands, DKI Jakarta (Porse & Rudolph, 2017; Syafitri *et al.*, 2017; Aeni *et al.*, 2019).

Bacteria play a role in the development of ice-ice disease in seaweed cultivation. The bacteria that cause ice-ice disease in *K. alvarezii* are *Vibrio*, *Aeromonas*, *Cytophaga*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* and *Bacillus* (Largo *et al.*, 1995; Riyaz *et al.*, 2019). Aquatic organisms infected with bacteria indirectly cause damage to tissue. Changes in tissue structure make aquatic organisms sick and even cause death (Korun & Timur, 2008; Oh *et al.*, 2019).

Disease transmission in aquatic organisms can occur vertically or horizontally. Horizontal spread is the process of transferring pathogens from disease-infected organisms to healthy organisms (Manin & Ransangan, 2011; Karthikeyan & Sudhakaran, 2018; Ben-Asher *et al.*, 2019). This study aims to determine the horizontal transmission of ice disease on growth, carrageenan content and changes in the tissue structure of *K. alvarezii* seaweed.

MATERIALS AND METHODS

Sample Collection

Kappaphycus alvarezii seaweed samples used were healthy seaweed with a wet weight of 35 g obtained from the *K. alvarezii* seaweed aquaculture in Kupang, East Nusa Tenggara, Indonesia, whereas the wet weight of seaweed that was attacked by ice-ice was 30 g (treatment A), 35 g (treatment B), 40 g (treatment C) and 45 g (treatment D) obtained from the waters of Panggang Island, DKI Jakarta, Indonesia (S 05°44' 30,7" dan E 106°36'04"). In addition, there was also a negative control treatment as a comparison to treatment A, B, C and D. Negative control, was a treatment with thallus free of ice-ice disease.

Container Preparation

This test was carried out in vivo with an aquarium container of 45 cm x 30 cm x 30 cm, the volume of seawater media used was 80 liters. The values of each water quality parameter especially temperature, salinity, and dissolved oxygen are maintained in an ideal range. Temperature 27-29°C, salinity 30-35 ppt, and dissolved oxygen 4.8-6.2 mg / L.

Seaweed Acclimatization

Before testing the transmission of ice-ice disease, seaweed was first acclimatized for 3 days. This acclimatization was carried out to adapt seaweed to new environmental conditions. During acclimatization, the media were given liquid organic fertilizer (POC NASA) as much as 5 ml per aquarium volume of 80 liters. The test container was equipped with constant aeration.

Observation of Clinical Symptoms

The determination of the health status was based on clinical signs macroscopically, which is characterized by changes in the thallus to become rough, wilted and wrinkled followed by the appearance of white spots on the surface of the thallus seaweed. Thallus wet weight measurements were carried out every hour for 5 days.

Carrageenan Content Analysis

Determination of seaweed carrageenan concentration was expressed in the percentage of carrageenan dry weight of seaweed following the method of Hayashi *et al.* (2007). The analysis of carrageenan content was performed on the seaweed thallus in each treatment, including the negative control.

Histological examination

Histology observation is a microscopic observation to see changes in tissue structure due to the transmission of ice-ice disease from seaweed which is attacked by ice-ice disease to healthy seaweed at each treatment. Observation of the structure of the seaweed tissue was carried out for 5 consecutive days. Histological observation and the staining of Mayers Hematoxylin and Eosin followed the procedure by Jaiswal *et al.* (2019).

Data analysis

This study used a Completely Randomized Design model. The effect of the treatment was tested by using the Analysis of Variance, if there was an effect, then Duncan's further test analysis was carried out.

RESULTS

The spread of ice-ice disease in cultivated seaweed organisms is closely related to the process of transferring disease agents from thallus affected by ice-ice to healthy thallus. The symptoms of ice-ice disease are indicated by changes in the color of the thallus which leads to symptoms of the emergence of ice-ice disease.

Analysis of variance showed that there was no significant interaction between treatment and time with a value of 0.99 ($p > 0.05$), while the severity of the treatment of infected thallus to the transmission of ice-ice disease showed a significant effect with a value of

0.03 ($p < 0.05$). Treatment with the transmission time level showed a significant influence on the appearance of ice-ice disease 0.01 ($p < 0.05$). The results of the statistical analysis did not show the effect of each treatment, but based on the observation time they showed a significant effect in each treatment. Based on Duncan's test results, it shows that the treatment on the fifth day has a lower value (28.0472) compared to the first (32.451), second (32.6769), third (32.2361), and fourth (30.2365) days. This shows that over time the transmission process of ice-ice pathogens increases in the thallus of healthy seaweed.

This can be further proven by the appearance of ice-ice disease symptoms from each treatment compared to negative controls that did not show ice-ice symptoms during the observation. The speed of transmission of ice-ice disease to healthy seaweed thallus shows different results. In treatment A, transmission of ice-ice disease infection occurred on the fourth day. Treatment B, the transmission occurred on the third day. Treatment C, the transmission occurred on the fourth day. While treatment D, the transmission occurred on the second day.

Transmission of ice-ice caused morphological changes in seaweed thallus showing the same symptoms in each treatment. The change begins with a change in the condition of the thallus that has lost mucilage on the surface of the thallus. These conditions cause the surface of the thallus to become rough and gradually change color.

Changes in the thallus surface conditions and changes in color and the appearance of bleaching at the tip of the thallus were followed by changes in the wet weight of the thallus seaweed (gram). The relationship is shown by the tendency to decrease the fresh weight of seaweed thallus after transmission test (Fig.1). The change in color and the decrease in wet weight cause changes in the conditions of the thallus tissue. According to the results of the histological observations, the thallus tissue of the seaweed showed differences in the structure of the tissue (Fig. 2). The healthy condition of seaweed tissue shows that the components of the cells making up the tissue are intact such as cortical cells and modular cells are still compact, neatly arranged, while the seaweed tissue structure infected with ice-ice disease shows the tissue structure from the first day to the fifth day showing changes in cell degradation (cells making up damaged tissue or lysis).

Changes in carrageenan content of seaweed are different in a healthy thallus condition with seaweed with ice-ice disease and can be seen in Table 1. According to the analysis of the carrageenan content of the seaweed thallus in the negative control, the values ranged between 28% and 35%. When compared with seaweed thallus content from the transmission test results, the range of carrageenan content values is lower with a range of 2.9% - 4%.

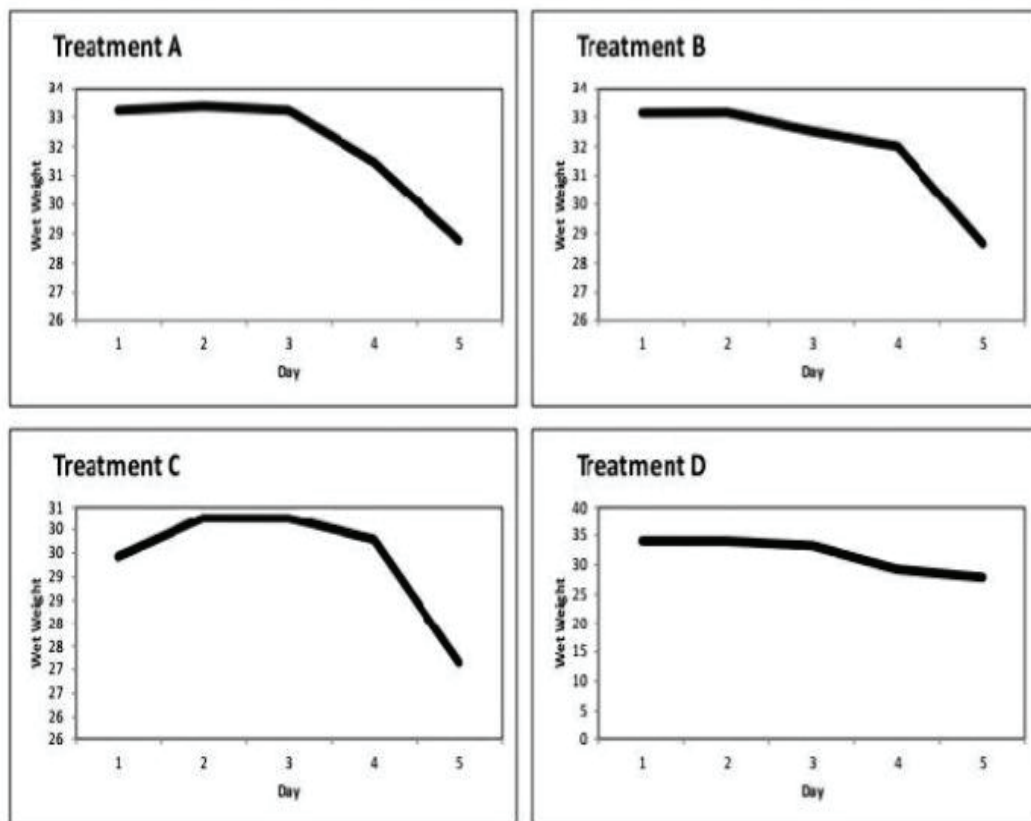


Figure 1. Changes in biomass during the experiment from day 1 to 5.

The transmission test shows that there is a change and causes a tendency to significantly decrease carrageenan levels with each treatment. Based on the analysis of carrageenan content of seaweed after transmission test, show a tendency to decrease carrageenan levels significantly from each treatment. Based on the results of the analysis of variance ($p < 0.05$), it shows an interaction of the level of severe treatment of infected thallus with the transmission test time to the response to decrease in carrageenan content. The interaction of each treatment level was determined by further statistical tests with the Duncan test. The results of the analysis show the differences of each interaction level of treatment before and after the ice-ice disease transmission test.

DISCUSSION

In fish, shrimp and seaweed cultivation activities, disease attacks are the main obstacles (Loch & Faisal, 2015; Mohamad *et al.*, 2019; Dey *et al.*, 2019; Ward *et al.*, 2019). The results of this study indicate that the transmission of ice-ice disease to healthy seaweed thallus causes discoloration and weight loss.

The phenomenon observed in the present study of ice-ice disease has similarities with those reported by Ask *et al.* (2003), Yong *et al.* (2015) and Tsiresy *et al.* (2016), that the incidence of ice-ice disease in

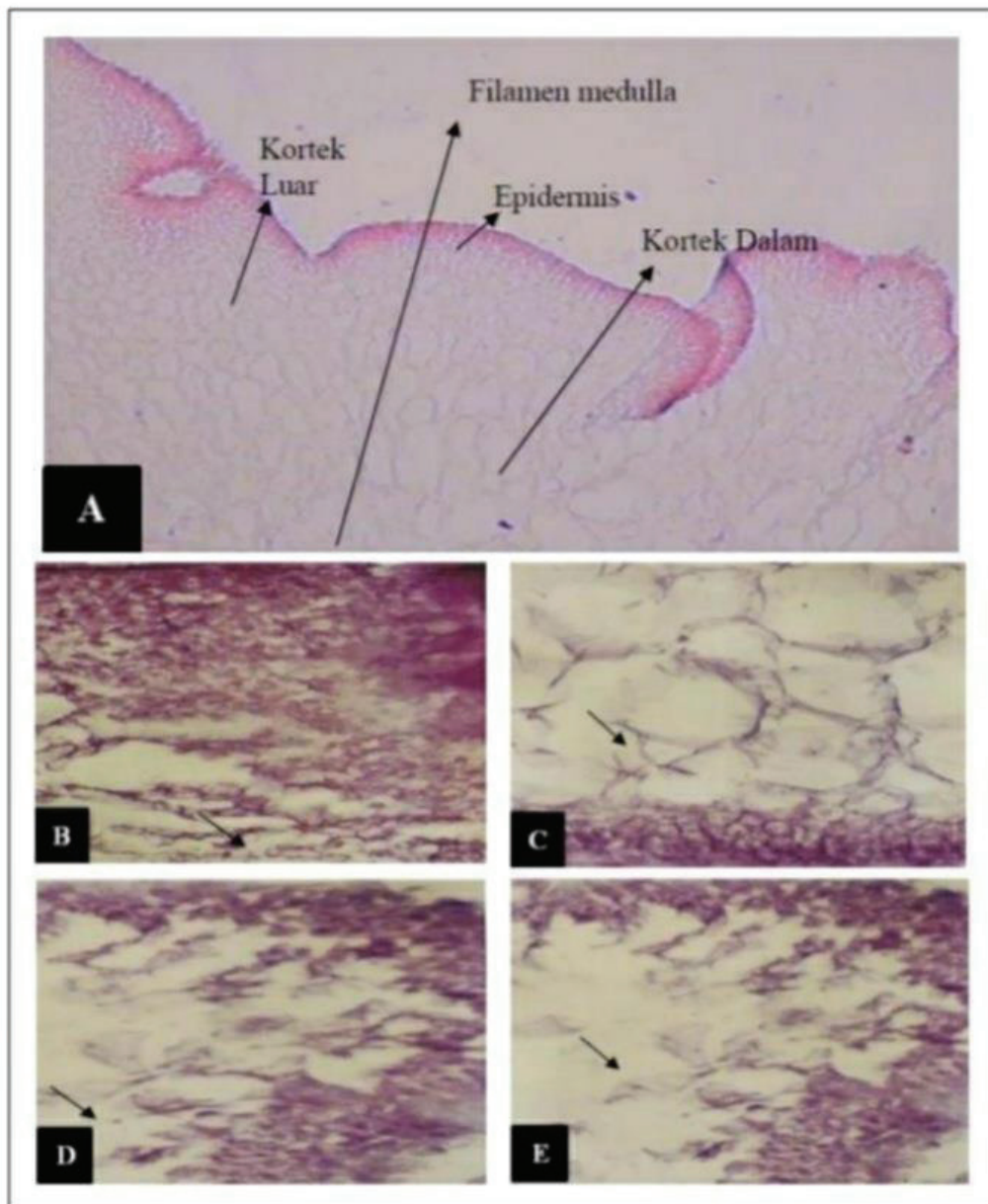


Figure 2. Photomicrograph of seaweed thallus tissue *Kappaphycus alvarezii* that is attacked by ice-ice disease (A = Day 0, B = Day 2, C = Day 3, D = Day 4, E = Day 5) [Arrows in image B-E indicate the occurrence of cell death or lysis].

Table 1. Results of carrageenan content analysis on day of the experiment

Treatment	Carrageenan content (%)
A	4,0 %
B	3,1 %
C	3,1 %
D	2,9 %
Negative control	28-35 %

a seaweed cultivation region begins with changes in thallus that are experiencing stress, followed by bleaching and ultimately thallus damage. Stress characterized by changes in the color of the thallus is an early symptom of seaweed that has a disruption of ice-ice disease, along with the maintenance of the thallus tip turns white and finally porous (Sulu *et al.*, 2003).

In addition, the transmission of ice-ice shows different tissue structures in seaweed that show changes in the degradation of cells making up the lysed tissue. Transmission of disease agents can cause changes in tissue structure (Magi *et al.*, 2009; Senapin *et al.*, 2018). This is due to the attachment of disease agents from the organism to the production of extracellular substances, that is highly correlated with time and weight loss of the new hosts due to the lysis of new host cells (Salysers & Whitt, 1994).

Ice-ice infection also causes a decrease in carrageenan content in *K. alvarezii* seaweed (Rantetondok & Latama, 2017; Ward *et al.*, 2019). This is indicated by the loss of pigment due to lysis of the cells making up seaweed tissue. Another impact of cell lysis is the occurrence of significant degradation of organic substances from the thallus tissue of seaweed. The study of Mendoza *et al.* (2002), showed that the viscosity and carrageenan levels of *K. alvarezii* seaweed thallus decreased when ice-ice infection occurred.

This condition is in line with the results of research Hayashi *et al.* (2010) that, the condition of seaweed thallus which experienced pigment loss and showed symptoms of ice-ice disease had a low carrageenan content ranging from 0.5% - 25%. The quality of *K. alvarezii* seaweed is determined by carrageenan content which ranges from 32% - 75%, and decreases its quality when it is below that range (Munoz & Sahoo, 2004). The content of carrageenan and gel strength decreased significantly when the symptoms of ice-ice disease began to appear in the thallus, and decreased with time and the level of thallus damage. The decrease in carrageenan content is directly proportional to the time of bacterial infection (Riyaz *et al.*, 2020).

CONCLUSION

The results of this study indicate that the transmission of ice-ice disease can occur horizontally from thallus affected by ice-ice to healthy thallus. This transmission causes discoloration accompanied by a decrease in thallus weight. Transmission also causes changes in tissue structure and decreases carrageenan content.

REFERENCES

- AENI, O. N., L. O. M. ASLAN, W. IBA, A. B. PATADJAI, M. RAHIM & M. BALUBI. Effect of different seedling sources on growth and carrageenan yield of seaweed *Kappaphycus alvarezii* cultivated in Marobo Waters, Muna Regency, Southeast (Se) Sulawesi, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 382: 1-9. DOI:10.1088/1755-1315/382/1/012015
- ASK, E. I. & R. V. AZANZA. 2002. Advances in cultivation technology of commercial eucheumatoid species: a review with suggestions for the future research. *Aquaculture* 206: 257-277. DOI:10.1016/S0044-8486(01)00724-4
- BARBOSA, M., L. CAVALCANTE, C. SOUZA & P. GOMEZ. 2013. *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) cultivated in Brazil: is it only one species. *Journal of Applied Phycology* 25: 1143-1149. DOI: 10.1007/s10811-012-9952-8
- BEN-ASHER, R., S. RAVID, M. UCKO, M. SMIRNOV & O. LAHAV. 2019. Chlorine-based disinfection for controlling horizontal transmission of VNNin a seawater recirculating aquaculture system growing European seabass. *Aquaculture* 510: 329-336. DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.06.001
- BINDU, M. S. & I. A. LEVINE. 2011. The commercial red seaweed *Kappaphycus alvarezii* an overview on farming and environment. *Journal of Applied Phycology* 23: 789-796. DOI:10.1007/s10811-010-9570-2
- BIXLER, H. J. & H. PORSE. 2010. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology* 23: 321-335. DOI:10.1007/s10811-010-9529-3
- DEY, B. K., G. H. DUGASSA, S. M. HINZANO & P. BOSSIER. 2019. Causative agent, diagnosis and management of white spot disease in shrimp: A review. *Reviews in Aquaculture* 12(2): 1-44. DOI:10.1111/raq.12352
- HAYASHI, L., E. J. DE PAULA & F. CHOW. 2007. Growth rate and carrageenan analyses in four strains of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) farmed in the subtropical waters of São Paulo State, Brazil. *Journal of Applied Phycology* 19: 393-399. DOI:10.1007/s10811-006-9135-6
- HAYASHI, L., N. S. YOKOYA, S. OSTINI, R. T. L. PEREIRA, E. S. BRAGA & E. C. OLIVEIRA. 2010. Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in re-circulating water. *Aquaculture* 277: 185-191. DOI:10.1016/j.aquaculture.2008.02.024
- HUNG, L. D., K. HORI, H. Q. NANG, T. KHA & L. T. HOA. 2009. Seasonal changes in growth rate, carrageenan yield and lectin content in the red alga *Kappaphycus alvarezii* cultivated in Camranh Bay, Vietnam. *Journal of Applied Phycology* 21: 265-272. DOI:10.1007/s10811-008-9360-2
- HURTADO, A. Q., I. C. NEISH & A. T. CRITCHLEY. 2015. Developments in production technology of *Kappaphycus* in the Philippines: more than four decades of farming. *Journal of Applied Phycology* 27: 1945-1961. DOI:10.1007/s10811-014-0510-4
- JAISWAL, L., S. SHANKAR & J. RHIM. 2019. Carrageenan-based functional hydrogel film reinforced with sulfurnanoparticles and grapefruit seed extract for wound healing application. *Carbohydrate Polymers* 224: 115-191. DOI:10.1016/j.carbpol.2019.115191

- KARTHIKEYAN, K. & R. SUDHAKARAN. 2018. Experimental horizontal transmission of *Enterocytozoon hepatopenaei* in post-larvae of white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Fish Diseases* 42(3): 397-404. DOI:10.1111/jfd.12945
- KASIM, M. & A. MUSTAFA. 2017. Comparison growth of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) cultivation in floating cage and longline in Indonesia. *Aquaculture Reports* 6: 49-55. DOI:10.1016/j.aqrep.2017.03.004
- KORUN, J. & G. TIMUR. 2008. Marine vibrios Associated with diseased sea bass (*Dicentrarchus labrax*) In Turkey. *Journal of Fisheries Sciences* 2(1): 66-76. DOI:10.3153/jfscm.2008007
- LARGO, D. B., F. FUKAMI, T. NISHIJIMA & M. OLINO. 1995. Laboratory induced development of the ice-ice disease of the farmed red algae *Kappaphycus alvarezii* and *Euclima denticulatum* (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 7: 539-543. DOI:10.1007/BF00003940
- LOCH, T. P. & M. FAISAL. 2015. Emerging flavobacterial infections in fish: A review. *Journal of Advanced Research* 41(5): 829-845. DOI:10.1016/j.jare.2014.10.009
- LOUREIRO, R. R., R. P. REIS & A. T. CRITCHLEY. 2010. In vitro cultivation of three *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Areschouggiaceae) variants (green, red and brown) exposed to a commercial extract of the brown alga *Ascophyllum nodosum* (Fucaceae, Ochrophyta). *Journal of Applied Phycology* 22: 101-104. DOI:10.1007/s10811-009-9412-2
- LUHAN, M. R. J., S. SHERYLL-AVAÑCENA & P. M. JONALYN. 2015. Effect of short-term immersion of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty in high nitrogen on the growth, nitrogen assimilation, carrageenan quality, and occurrence of "ice-ice" disease. *Journal of Applied Phycology* 27: 917-922. DOI:10.1007/s10811-014-0365-8
- MAGI, G. E., S. LOPEZ-ROMALDE, B. MAGARIÑOS, J. LAMAS, A. E. TORANZO & J. L. ROMALDE. 2009. Experimental *Pseudomonas anguilliseptica* infection in turbot *Psetta maxima* (L.): a histopathological and immunohistochemical study. *European Journal of Histochemistry* 53: 73-80. DOI:10.4081/ejh.2009.e9
- MANIN, B. O. & J. RANSANGAN. 2011. Experimental evidence of horizontal transmission of Betanodavirus in hatchery-produced Asian seabass, *Lates calcarifer* and brown-marbled grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* fingerling. *Aquaculture* 321: 157-165. DOI:10.1016/j.aquaculture.2011.08.021
- MENDOZA, W. G., N. E. MONTANO, E. T. GANZON-FORTES & E. R. D. VILLANU. 2002. Chemical and Gelling Profile of ice-ice Infected Carrageenan from *Kappaphycus striatum* (Schmitz) Doty "Sacol" Strain Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 14: 409-418. DOI:10.1023/A:1022178119120
- MOHAMAD, N., M. N. Z. AMAL, I. S. M. YASIN, M. Z. SAAD, N. S. NASRUDDIN, N. AL-SAARI, S. MINO & T. SAWABE. 2019. Vibriosis in cultured marine fishes: a review. *Aquaculture* 512: 01-17. DOI:10.1016/j.aquaculture.2019.734289
- MUNOZ, J., Y. FREILE-PELEGRIN & D. ROBLEDO. 2004. Mariculture of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) color strains in tropical waters of Yucatán, México. *Aquaculture* 239: 161-177. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2004.05.043
- MUNOZ, J. & D. SAHOO. 2004. *Impact of Large Scale Kappaphycus alvarezii Cultivation in Coastal Water of India*. XIX th International seaweed Symposium, Kobe, Japan, Program and abstracts. 121 p.
- NADIRAH, M., H. H. RUHIL, K. C. A. JALAL & M. NAJIAH. 2012. Occurrence of *Plesiomonas shigelloides* in cultured red hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus*) from tropical rivers, east coast Malaysia. *Pakistan Journal Biological Sciences* 15: 600-603. DOI:10.3923/pjbs.2012.600.603
- OH, W. T., J. H. KIM, J. W. JUN, S. S. GIRI, S. YUN, H. J. KIM, S. G. KIM, S. W. KIM, S. J. HAN, J. KWON & S. C. PARK. 2019. Genetic Characterization and Pathological Analysis of a Novel Bacterial Pathogen, *Pseudomonas tructae*, in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Microorganisms* 7(432): 01-12. DOI:10.3390/microorganisms7100432
- PORSE, H. & B. RUDOLPH. 2017. The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. *Journal of Applied Phycology* 29: 2187-2200. DOI:10.1007/s10811-017-1144-0
- RANTETONDOK, A. & G. LATAMA. 2017. Epiphytic and ice-ice diseases of seaweed, *Kappaphycus alvarezii* and its effect on growth rate and carrageenan quality. *International Journal of Aquaculture* 7(21): 134-138. DOI:10.5376/ija.2017.07.0021
- RIYAZ, S. U. M., S. NALINI, G. KAVITHA, S. A. D. SUTHA & D. INBAKANDAN. 2019. Characterization and identification of isolated bacteria from ice-ice disease infected seaweed *Kappaphycus alvarezii*. *Indian Journal of Geo Marine Sciences* 48(08): 1286-1290.
- RIYAZ, S. U. M., N. S. PRABHU, S. NALINI, G. TEJASWINI, H. J. CHRISTY & D. INBAKANDAN. 2020. Microbiome identification from ice-ice disease infected *Kappaphycus alvarezii* using 16S rRNA gene sequence analysis and in silico docking studies against carrageenan degrading bacteria. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 27: 101870. DOI:10.1016/j.bcab.2020.101707
- SALYERS, A. A. & D. D. WHITT. 1994. *Bacterial Pathogenesis: A Molecular Approach*. ASM Press, Washington D.C. 420 p.
- SENAPIN, S., H. T. DONG, W. MEEMETTA, W. GANGNONNGIW, P. SANGSURIYA, R. VANICHIRIYAKIT, M. SONTI & B. NUANGSAENG. 2018. Mortality from scale drop disease in farmed *Lates calcarifer* in Southeast Asia. *Journal of Fish Diseases* 42(1): 119-127. DOI:10.1111/jfd.12915
- SOLIS, M. J. L., S. DRAEGER, E. E. THOMAS & T. E. E. DE LA CRUZ. 2010. Marine derived fungi from *Kappaphycus alvarezii* and *K. striatum* as potential causative agents of ice-ice disease in farmed seaweeds. *Botanica Marina* 53: 587-594. DOI:10.1515/bot.2010.071
- SULU, R., L. KUMAR, C. HAY & T. PICKERING. 2003. *Kappaphycus alvarezii* in the Pacific: review of introductions and field testing proposed quarantine protocols. The Institute of Marine Resources (IMR), The University of the South Pacific. Also available at: <http://marine-aquaculture.org/sites/default/files/Sulu.%202006.Kappaphycus%20introductions%20%26%20quarantine.pdf>
- SYAFITRI, E., S. B. PRAYITNO, W. F. MA'RUF & O. K. RADJASA. 2017. Genetic diversity of the causative agent of ice-ice disease of the seaweed *Kappaphycus alvarezii* from Karimunjawa island, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 55: 1-8. DOI:10.1088/1755-1315/55/1/012044

- TSIRESY, G., J. PREUX, T. LAVITRA, P. DUBOIS, G. LEPOINT & I. EECKHAUT. 2016. Phenology of farmed seaweed *Kappaphycus alvarezii* infestation by the parasitic epiphyte *Polysiphonia* sp. in Madagascar. *Journal of Applied Phycology* 28: 2903-2914. DOI:10.1007/s10811-016-0813-8
- VAIRAPPAN, C. S. 2006. Seasonal occurrences of epiphytic algae on the commercially cultivated red alga *Kappaphycus alvarezii* (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 18: 611-617. DOI:10.1007/978-1-4020-5670-3_46
- WARD, G. M., J. P. FAISAN-JR, E. J. COTTIER-COOK, C. GACHON, A. Q. HURTADO, P. E. LIM, I. MATOJU, F. E. MSUYA, D. BASS & J. BRODIE. 2019. A review of reported seaweed diseases and pests in aquaculture in Asia. *The Journal of the World Aquaculture Society* 1: 1-14. DOI:10.1111/jwas.12649
- YONG, Y. S., W. T. L. YONG, V. Y. THIEN, S. E. NG, A. ANTON & S. YASSIR. 2015. Acclimatization of micropropagated *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva (Rhodophyta, Solieriaceae) in outdoor nursery system. *Journal of Applied Phycology* 27: 413-419. DOI:10.1007/s10811-014-0289-3
- YUNQUE, D. A. T., K. R. TIBUBOS, A. Q. HURTADO & A. T. CRITCHLEY. 2011. Optimization of culture conditions for tissue culture production of young plantlets of carrageenophyte *Kappaphycus*. *Journal of Applied Phycology* 23: 433-438. DOI:10.1007/s10811-010-9594-7
- ZUNIGA-JARA, S. & M. MARIN-RIFFO. 2015. Bioeconomic analysis of small-scale cultures of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty in India. *Journal of Applied Phycology* 28: 133-143. DOI:10.1007/s10811-015-0616-3

Aislamiento de *Brucella melitensis* en el charal *Poblana letholepis* (Atheriniformes: Atherinopsidae) del Lago Cráter La Preciosa en el Centro de México

Isolation of *Brucella melitensis* in the silverside *Poblana letholepis* (Atheriniformes: Atherinopsidae) from La Preciosa Crater Lake in Central Mexico

J. Ricardo Cruz-Aviña^{1,2*}, Elsa I. Castañeda-Roldan¹, Carlos Alfonso Álvarez-González², Karen N. Nieves-Rodríguez² y Emyr S. Peña-Marín^{2,3}

Recibido: 10 de marzo de 2020.

Aceptado: 05 de junio de 2020.

Publicado: agosto de 2020.

RESUMEN

Antecedentes: Las bacterias del género *Brucella* producen la enfermedad conocida como brucelosis (la zoonosis más importante del orbe). Actualmente se reconocen 14 especies, reportadas en mamíferos marinos, anfibios y peces comerciales. En los últimos años, en la Cuenca Oriental se detectó a *Brucella melitensis* en suelo agrícola y en el agua de los Lagos Cráter, por lo que se especulaba si *B. melitensis* tenía la capacidad de infectar a la ictiofauna nativa. **Objetivo:** Aislar e identificar a *Brucella melitensis* en el charal *Poblana letholepis* del Lago Cráter La Preciosa. **Métodos:** El primoaislamiento se realizó en placa-Agar a partir de tejidos blandos y la identificación del microorganismo a través de pruebas microbiológicas estándar. La identificación se corroboró por PCR-PF, utilizando cepas de referencia, mediante la amplificación del gen *bp26*, específico para el género *Brucella*. **Resultados:** Se aisló a *B. melitensis* en 66.66% de las muestras estudiadas n=60, los perfiles microbiológicos resultaron comparativamente idénticos con las cepas de referencia. La prueba por PCR amplificó el gen específico del género *bp26* con 1029 pb en 40% de las muestras analizadas. **Conclusiones:** El estudio generó el primer reporte de aislamiento e identificación para *B. melitensis* en un pez nativo, el cual da soporte a futuros estudios para comprender mejor esta enfermedad zoonótica y reconocer la importancia de la fauna nativa en la transmisión y permanencia de la brucelosis en ambientes acuáticos naturales.

Palabras clave: Axalapascos, biodiversidad, *Brucella* spp., conservación biológica, contaminación microbiológica.

*Corresponding author:

J. Ricardo Cruz-Aviña: e-mail: ambysto-mag@hotmail.com

To quote as:

Cruz-Aviña, J. R., E. I. Castañeda-Roldan, C. A. Álvarez-González, K. N. Nieves-Rodríguez & E. S. Peña-Marín. 2020. Aislamiento de *Brucella melitensis* en el charal *Poblana letholepis* (Atheriniformes: Atherinopsidae) del Lago Cráter La Preciosa en el Centro de México. *Hidrobiológica* 30 (2): 163-171.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbshidro/2020v30n2/Cruz

ABSTRACT

Background: Bacteria of the genus *Brucella* yield the disease known as brucellosis (the most critical zoonosis in the world). Currently, 14 species are recognized, reported in marine mammals, amphibians, and commercial fish. In recent years, in the Eastern Basin, *Brucella melitensis* was detected in agricultural soil and the Crater Lakes' water, so it was speculated whether *B. melitensis* could infect native ichthyofauna. **Objective:** Isolate and identify *Brucella melitensis* in the charal of La Preciosa Crater Lake (*Poblana letholepis*). **Methods:** The first isolation was carried out on agar-plate from soft tissues and identifying the microorganism through standard microbiological tests. Which was corroborated by PCR-PF, using reference strains, by amplifying the *bp26* gene, specific for the genus *Brucella*. **Results:** *B. melitensis* was isolated in 66.66% of the samples studied n=60, the microbiological profiles were comparatively identical with the reference strains. The PCR test amplified the genus-specific gene *bp26* with 1029 bp in 40% of the samples analyzed. **Conclusions:** The study generated the first isolation and identification report for *Brucella melitensis* in a native fish, which supports future studies to better understand this zoonotic disease and recognize the importance of native fauna in the transmission and permanence of brucellosis in natural aquatic environments.

Keywords: Axalapazco, biodiversity, *Brucella* spp., biological conservation, microbiology pollution.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, nuevos patógenos zoonóticos emergen (Laperche, 2011), derivados principalmente de la fauna silvestre y de las malas prácticas del manejo de animales domésticos (vacas, cabras, entre otros), lo cual genera problemas en la salud pública (Gummow, 2010; Cabello & Cabello, 2008). Sin embargo; la dinámica ecológica y mecanismos de acción de este tipo de patógenos sigue siendo poco conocida (Whatmore *et al.*, 2015; Valenzuela & Medina, 2014; Woolhouse & Gowtage-Sequeria, 2005; Cleaveland *et al.*, 2001). En este sentido, la brucelosis es una enfermedad zoonótica emergente (EZE) que tiene un impacto significativo en la salud y la economía de comunidades rurales en muchas partes del mundo (Whatmore *et al.*, 2015; Cabello & Cabello, 2008).

Brucella son bacterias Gram negativas, aerobias, no motiles, no esporuladas, capaces de sobrevivir fuera del ambiente celular y otros medios como agua embotellada (2 meses, pH= 8.0 y 8°C) y agua mineral (hasta 72 días, pH 4.2-8.4, 20°C) (Falenski *et al.*, 2011). La supervivencia es de hasta 200 días en el agua natural (pH 9-9.3, 15-18°C, 0.5-9.8%) de la misma región donde el problema de la brucelosis humana data desde 1921 (Cruz-Aviña *et al.*, 2015, Pláceres, 1923). Actualmente, *Brucella* comprende 14 especies, de las cuales solo el 70% han sido descritas en los últimos 25 años, incluyendo la descripción de nuevos hospedadores acuáticos en cautiverio. Por ejemplo, la trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*), el bagre del Nilo (*Clarias gariepinus*) y diversas especies ranas (Whatmore *et al.*, 2015; Eisenberg *et al.*, 2012; Pappas, 2010; El-Tras *et al.*, 2010). Es por lo anterior que se considera un género en expansión hacia nuevos reservorios o nichos (O' Callaghan & Whatmore, 2011; El-Tras *et al.*, 2010; Pappas *et al.*, 2006; Gelev & Gelev, 1988). Esta expansión se detectó en el Lago Cráter de la Cuenca Oriental, el cual es de carácter endorreico y está considerado por CONABIO como área prioritaria importante (ANP 122 y RHP 71), que abarca los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz, donde se presenta una notable prevalencia y morbilidad de brucelosis en el humano (BrH 12-15 %) y en el ganado caprino (BrA 20-30 %) desde hace casi 100 años (Cruz-Aviña *et al.*, 2015; Cruz-Aviña, 2013; Castañeda-Roldán *et al.*, 2005; Pláceres, 1923).

Las infecciones por este tipo de bacterias presentan un efecto negativo sobre la biodiversidad, debido a que alteran significativamente sus tasas de crecimiento y reproducción (O'Callaghan & Whatmore, 2011; Cabello & Cabello, 2008), lo cual vulnera la fauna nativa como resultado de un aumento en la tasa de mortalidad y el potencial riesgo de extinción (Cabello & Cabello, 2008). En México existe un notable incremento en el impacto de las Enfermedades Zoonóticas Emergentes, mismas que pueden afectar la vida silvestre (Bulman & Lamberti, 2011; Jones *et al.*, 2008). El charal de La Preciosa, *Poblana letholepis* (Álvarez, 1950) es un atherinopsido endémico, restringido al lago cráter La Preciosa de la que existe poca información (Hernández-Rubio *et al.*, 2016; Ceballos & Ortega, 2011; Lira-Guerrero *et al.*, 2008; Flores-Negrete, 1998; Espinosa-Pérez *et al.*, 1993; Díaz-Pardo, 1992; Guerra Magaña, 1986; Álvarez, 1950; De Buen, 1945). Una especie que desde tiempos prehispánicos representa un recurso alimenticio y económicamente importante para los lugareños (Alcocer *et al.*, 2004). Las poblaciones silvestres de *P. letholepis* se encuentran en riesgo debido a la contaminación de su hábitat. La NOM-059-ECOL-2010 la reporta como una especie amenazada (A) y la lista roja de especies amenazadas IUCN la considera en peligro crítico (CR) (Cruz-Aviña *et al.*, 2015, Cruz-Aviña,

2013, SEMARNAT, 2010; Can-Chulim *et al.*, 2011; Castañeda-Roldán *et al.*, 2005; Alcocer *et al.*, 2004; Contreras-Balderas *et al.*, 2002).

A pesar del reconocimiento científico del charal del lago La Preciosa (*P. letholepis*), desde hace 70 años, poco se conoce sobre su ecología, enfermedades y aspectos específicos para el logro de su aprovechamiento sustentable. Además, a la fecha no existen acciones concretas para su conservación (Ceballos *et al.*, 2018; Cruz-Aviña *et al.*, 2015; Woolrich-Piña *et al.*, 2012; Alcocer *et al.*, 2010; Bloom *et al.*, 2009; Miller, 1986). El objetivo del presente estudio fue detectar la presencia de la bacteria *Brucella melitensis* en el charal *Poblana letholepis* de La Preciosa, mediante métodos microbiológicos y moleculares (PCR), para contribuir así a su preservación y al estudio científico de esta especie mexicana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. El Lago La Preciosa (Las Minas) es un lago cráter tipo *Maar*, monomítico, cálido tropical de altura (2400 m. snm), de tipo atalasalino e hiposalino (1.1 gL⁻¹), un pH alcalino (≤ 9) considerado oligotrófico y con una profundidad máxima de 36 m. Ubicado entre los 19° 21'N y 97° 23'W en la Cuenca Oriental (Alcocer & Bernal, 2010; Armienta *et al.*, 2008; Arredondo-Figueroa, 1983) (Fig. 1).

Trabajo de campo. Para este estudio se realizó un muestreo simple completamente aleatorizado para poblaciones finitas, lo que arrojó una N total de 263 individuos que deberían ser capturados en las estaciones planteadas. Sin embargo, el esfuerzo de muestreo (abril 2014 a mayo 2016) solamente permitió capturar un total de 60 ejemplares de *P. letholepis* del lago cráter La Preciosa en sitios cercanos a la orilla. La colecta se realizó con un chinchorro (12 x 3 m) de malla cerrada a diferentes profundidades. Los ejemplares se colocaron en bolsas de plástico con agua del lago y hielo conforme a las técnicas descritas por Hernández-Rubio *et al.*, (2016) y Blancas-Arroyo *et al.*, (2014). Los peces se transportaron al Laboratorio de Patogenicidad Bacteriana del Centro de Investigación en Ciencias Microbiológicas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (CICM-IC-BUAP) para su análisis respectivo. Los organismos fueron sacrificados por shock térmico y se diseccionaron para obtener el tracto digestivo y gónadas. Los charales estudiados se donaron institucionalmente a la Colección Nacional de Peces del Instituto de Biología de la UNAM (CNPE), con número de colección: PE 10146- PE10203.

Trabajo de laboratorio. Se diseñaron dos análisis a partir de métodos diagnóstico directo (aislamiento en placa-agar y PCR punto final).

1. Aislamiento de *Brucella sp.* en placa-agar. De los ejemplares de *P. letholepis* se obtuvieron muestras del tracto digestivo y gónadas conforme a la técnica de Amato *et al.*, (1991). Los tejidos fueron centrifugados en tubos Falcon de 50 mL con suero fisiológico (Ringer lactato) y del botón del sedimento se tomó una alícuota de 10 mL para realizar series de diluciones por triplicado en el intervalo de 10³ a 10⁸ L, las cuales fueron inoculadas en placas de Petri con agar del medio específico *BrucellaBUAP*[®] (Laboratorio de Patogenicidad Bacteriana, CICM, IC, BUAP, Puebla, 2015), con cristal violeta y antibióticos (Alton *et al.*, 1988; Alton *et al.*, 1976; Alton *et al.*, 1972). Las placas se incubaron dentro de frascos de vidrio (2.5 L), con una atmósfera de CO₂ al 5%, a 37°C por 48 h (Castañeda-Roldán *et al.*, 2005 modificado; Alton *et al.*, 1988; Alton *et al.*, 1976).

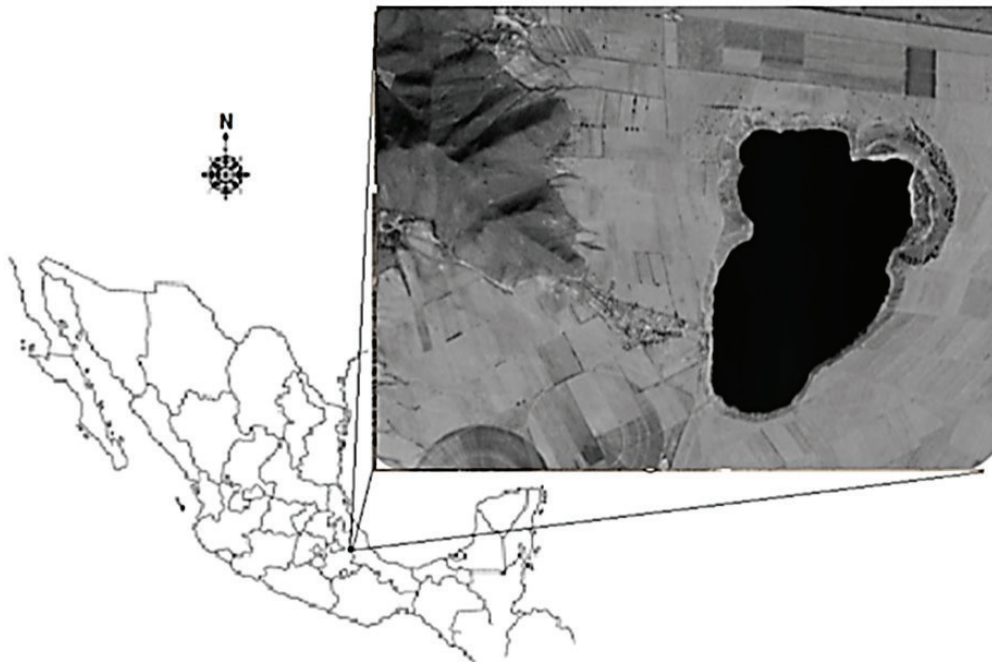


Figura 1.- Ubicación de la zona de muestreo, Lago Cráter La Preciosa, Puebla, México.

La identificación inicial de *Brucella* fue por morfología, donde a partir del total de colonias obtenidas se seleccionaron colonias con características típicas del género *Brucella*, a las cuales se les realizaron pruebas de aglutinación con suero específico anti-*Brucella*, tinción de Gram, tinción de Zihel-Neelsen (ZH) modificada y pruebas bioquímicas (TSI, Citrato; Urea, LIA, producción de H₂S en tiras de acetato de plomo, aglutinación con acriflavina). La identificación de *Brucella melitensis* se estableció mediante pruebas de sensibilidad a colorantes con Tionina (diluciones 1:100,000, 1:50,000 y 1:25,000), Fucsina (115937 Merck Millipore) (dilución 1:10,000) y Safranina (115948 Merck Millipore) (dilución de 1:10,000) (Alton *et al.*, 1988). También se calculó el total de resultados positivos obtenidos para *Brucella melitensis* derivados de las muestras. Los primeros aislamientos se separaron durante las siguientes 8 a 24 h y se sembraron en el medio BrucellaBUAP® bajo las condiciones anteriormente descritas. Posteriormente se les realizaron las pruebas (SAT), 2-β-mercaptoetanol (2BME) y Serion ELISA classic Brucella IgG/IgM/IgA. Éstos se llevaron a cabo en el depósito y comparativamente con los controles positivos de cepas vacuales de *Brucella* Rev-1 y *Brucella* M16 (Yagupsky, 1999; Alton *et al.*, 1988).

Test rosa de Bengala.- El antígeno rosa de Bengala (8% concentración celular) y suero control positivo (22°C), se mezclaron con la suspensión bacteriana (30 µL cada uno). La mezcla se agitó suavemente en un agitador de balanceo (Boyn, SK-R330-Pro), durante 5 min y se depositó la suspensión como gota de 2 cm de diámetro, en placa de vidrio esmerilada. La aglutinación visible se consideró positiva (OIE, 2004; Alton *et al.*, 1988).

Test de Rivanol.- El antígeno de Rivanol-*Brucella* y la solución de Rivanol fueron obtenidos en el Laboratorio de Patogenicidad bacteriana

del CIM-IC-BUAP. El ensayo se realizó mezclando 40 mL de muestra de suero con igual volumen de Rivanol. La solución se agitó en un tubo de ensayo, se dejó reposar durante 5-60 minutos y se centrifugó durante 5 minutos a 1500 rpm. Se mezclaron 30 mL de antígeno de Rivanol con 80 mL, 40 mL, 20 mL y 10 mL del sobrenadante, respectivamente, para obtener diluciones 1:25, 1:50, 1:100 y 1:200. Las placas se rotaron y mantuvieron durante seis minutos bajo cubierta para evitar la evaporación, seis minutos después las placas fueron rotadas de nuevo. La aglutinación completa a la 1:25 fue considerada positiva (Quinn *et al.*, 1994).

2. PCR-Punto Final

- Purificación de ADN. Se procedió a purificar el ADN bacteriano de los aislamientos derivados del tejido de *P. letholepis* con sospecha de *Brucella*, a través de un Kit genómico de purificación ADN-NORGEN 21550 (Norgen Biotek Corporation, Ontario, Canadá) que permite obtener ADN de alta calidad, a partir de tan sólo 10 células bacterianas en 1 mL de muestra (Shell *et al.*, 2013) hasta obtener 5 ng/µL de ADN bacteriano en cada muestra, con una pureza en la absorbancia de 260/280 nm.
- Análisis Molecular. Se realizó un análisis de la cadena en reacción de la polimerasa PCR para comprobar que el ADN de las colonias aisladas pertenecía al género *Brucella*, para lo cual se extrajo el ADN total bacteriano de cepas de referencia. La amplificación del gen *bp26* se realizó con cebadores específicos para el género *Brucella* (Cloekaert *et al.*, 2011), mediante el Kit comercial (Genomic DNA Purification, Thermo Scientific™, Kit Fermentas). Para la cuantificación de ADN extraído se usó un Kit comercial (Quant-iT[®] ds DNA HS Assay Kit, de Invitrogen). En los cebadores y la PCR se usó el método descrito por García-Yoldi

et al., (2006) y el programa miniPCR™ (Cambridge, Ma, USA). Los cebadores utilizados fueron: Oligo 1: 5'GCCCTGACATACCCGGC-TT3' y Oligo 2: 5'GAGCGTGACATTTGCCGATA3'. El carril M indica el Marcador molecular. Las cepas de referencia empleadas como controles positivos fueron *B. S19* (carril 1) y *B. M16* (carril 2) y como control negativo se utilizó *Escherichia coli* (carril 3), y el ADN bacteriano extraído de *P. letholepis* (carril 4).

RESULTADOS

Análisis Microbiológico y Primoaislamiento. - Se logró el primoaislamiento para *Brucella* en 40 de las 60 muestras de *P. letholepis* (66.66%) en el tracto digestivo y gónadas de los ejemplares. Las muestras se sembraron por triplicado y posterior a las 48 hrs fueron positivas a pruebas de diagnóstico de rutina para *Brucella melitensis*: rosa de Bengala, Gram, Rivanol, SAT y 2ME (Tabla 1). Las muestras restantes de este estudio resultaron negativas o indeterminadas con un bajo porcentaje en concentraciones de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en rango de 1×10^6 hasta 1×10^{10} .

Actividad metabólica. - CO_2 independiente. No produjo H_2S . Mostró crecimiento positivo en presencia de fucsina básica y de tionina, positivo para safranina e hidrolizó de manera normal la urea.

Detección por PCR punto final. - Se obtuvo la ampliación del gen *bp26* con longitud de 1029 pb (carril M, marcador molecular) de las muestras del ADN bacteriano purificado (carril 4) y se les comparó con los controles positivos *B. M16* (carril 1), *B. S19* (carril 2), se utilizó ADN de *E. coli* como control negativo (carril 3); siendo positivas 24 muestras a *Brucella* (40%) del total analizado (Fig. 2).

DISCUSIÓN

Aunque la brucelosis ha sido reportada con anterioridad en humanos, animales domésticos, animales silvestres y animales marinos (Godfroid *et al.*, 2011; Godfroid *et al.*, 2010; OIE, 2004; Pedley & Pond, 2003; Moreno *et al.*, 2002; Godfroid, 2002; Corbel & Brinley-Morgan, 1984), este es el primer reporte sobre la presencia de *Brucella melitensis* en *P. letholepis* dentro de un sistema acuático léntico endorreico, siendo descritos los peces de agua dulce como portadores sintomáticos. El reporte de la diseminación de *Brucella* hacia nuevos organismos o reservorios representa un hito epistemológico, ya que antiguamente se consideraba que la brucelosis era una patología exclusiva de los mamíferos (Jones *et al.*, 2008; OIE, 2004). Los resultados encontrados comprueban la complejidad del problema ambiental, así como la evo-

lución constante del patógeno; su migración y colonización hacia nuevos hospederos, incluido el ambiente acuático (Cruz-Aviña *et al.*, 2015; Osterman & Moriyón, 2006). Además, su función de vector para varios patógenos bacterianos zoonóticos, donde se incluyen *Aeromonas* spp. (Palumbo *et al.*, 1985), *Vibrio* spp. (Lehane & Rawlin, 2000), algunas especies de la familia de las enterobacterias como *Edwardsiella* spp. (Meyer & Bullock, 1973), *Mycobacterium* spp. (Ho *et al.*, 2006), *Streptococcus* spp. (Weinstein *et al.*, 1997) y *Erysipelothrix* (Gorby & Peacock, 1988). En cuanto a la relación con *Brucella melitensis*, El-Tras *et al.* (2010) y Salem & Mohsen (1997), reportan que el bagre del Nilo (*Clarias gariepinus*) es susceptible a contraer esta bacteria. Sin embargo, se trata de *B. melitensis* biovar 3, una biovariedad que no está reportada para México. Los resultados del presente estudio ($n_1=60$; $n_1=40$ muestras positivas en placa de Agar (66.66%) y $n_2=24$ muestras positivas para PCR (40%)), demuestran que el charal endémico del lago cráter La Preciosa puede ser infectado naturalmente por *B. melitensis* biovar 1 y sugerir que *P. letholepis* debe ser considerada como potencial reservorio para *B. melitensis* biovar 1, representando un papel clave en la epidemiología de la enfermedad en la región del Cuenca Oriental, área endémica de brucelosis humana y de ganado caprino (Cruz-Aviña *et al.*, 2015). Aunque el objetivo del estudio no era estimar la frecuencia de la infección por *Brucella* en el charal del lago La Preciosa en la región, la detección de *B. melitensis* biovar 1 en un 66.66% de las muestras de peces en varios sitios del lago cráter, sugiere un alto nivel de exposición en estos cuerpos de agua de la Cuenca Oriental. En contraste, a lo reportado por Salem & Mohsen (1997) y El-Tras *et al.* (2010); los resultados de esta investigación mostraron un número de positivos por PCR importante (40%). Adicionalmente, en estos cuerpos de agua endorreicos y lénticos, hay una mayor probabilidad de contaminación microbiológica como resultado del acceso directo al ganado caprino que padece sin control (libre) en la zona y sus materiales contaminantes (fetos abortados, membranas fetales, placenta, orina, etc.). Por lo que se incrementa el potencial de contaminación por *Brucella*. Aunado que los peces pueden infectarse con facilidad por bacterias zoonóticas en ambientes acuáticos contaminados (Guzmán & Campos 2004; Pal & Gupta, 1992; Geldreich & Clarke, 1966;). Por su parte, Salem & Mohsen (1997) reportan lesiones cutáneas en bagres (*Clarias gariepinus*) inoculados experimentalmente con 105 células de *B. melitensis* biovar 3. Sin embargo, en la recolección de organismos, no se detectaron lesiones cutáneas superficiales visibles. Aunque hay que hacer énfasis entre la gran diferencia de tamaño del bagre *C. gariepinus* comparado con el aterínido *P. letholepis*. La evidencia sugiere por primera vez, un posible vínculo entre la brucelosis en peces de agua dulce y la brucelosis en otras especies. En este sentido, *B. melitensis* biovar 1 es la causa principal de la brucelosis en caprinos y humanos en la zona de

Tabla 1.- Resultados de las pruebas positivas a las pruebas bioquímicas de diagnóstico de rutina para la identificación de *Brucella* aislado de MM de *P. letholepis*: rosa de Bengala, Gram, Rivanol, SAT y 2ME. Las muestras restantes de este estudio resultaron negativas o indeterminadas a estas pruebas con un bajo porcentaje en concentraciones de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de 1×10^6 hasta 10^{10} .

Especie	Biotipo	Oxidasa	Necesidad de CO_2	Producción de H_2S	Ureasa	Tionina 1:25 000 y 1:50 000	Safranina 1: 10 000	Fucsina 1:50 000
<i>B. melitensis</i> 16 M	Biotipo 1	(+)	(-)	(-)	V	(+)	(+)	(+)
<i>B. melitensis</i> aislada de MM de <i>P. letholepis</i>	Biotipo 1	(+)	(-)	(-)	V (24 horas) (+)	(+)	(+)	(+)

la Cuenca Oriental, donde existe una incidencia del 10% de brucelosis en humanos y del 30% de brucelosis en ganado caprino, datos que se encuentran por encima de la media nacional (Cruz-Aviña *et al.*, 2015; García-Juárez, 2014). Lo anterior también se relaciona con el hecho de que las cabras infectadas pacen libres por el campo abierto y a la orilla de los Lagos Cráter (La Preciosa), ambientes susceptibles debido al tipo de suelo (cinerítico) y la naturaleza andorreica de estos cuerpos de agua, lo que facilita la contaminación microbiológica de tipo mecánica por arrastre, misma que se maximiza en la época de lluvias (Cruz-Aviña *et al.*, 2017; Cruz-Aviña *et al.*, 2015; Cotruvo *et al.*, 2004; Alcocer *et al.*, 2004). Asimismo, persiste entre los lugareños una alta incidencia de brucelosis humana por el contacto con rumiantes (ganado caprino) expuestos e infectados y el consumo de algunos de sus productos o derivados, por ejemplo, leche sin pasteurizar y queso crudo (Cruz-Aviña *et al.*, 2015). Esta alta incidencia también se ha reportado para el bagre del Nilo (*Clarias gariepinus*), derivado del consumo humano de productos lácteos crudos o sin hervir procedentes de los hatos de ganado artiodáctilo o camellos (Jennings *et al.*, 2007; Almuneef *et al.*, 2004; Namiduru *et al.*, 2003; Kiel & Khan, 1993; Bilal *et al.*, 1991).

Por su parte, la aparición de un nuevo agente patógeno tras un salto de taxón o de especie representa la colonización exitosa de un nuevo hábitat. Pese a poseer distintos hospedadores preferentes, tanto *B. abortus* como *B. suis* se han aislado en varias especies silvestres en el mundo, lo que resulta menos frecuente con *B. melitensis* (Dobson & Fofopoulos, 2001; Daszak *et al.*, 2000).

Cabe señalar, que los resultados del estudio por métodos microbiológicos son más cercanos a *B. melitensis* biovar 1, lo cual coincide en línea a lo reportado por Cruz-Aviña *et al.* (2017) y Cruz-Aviña *et al.* (2015) en este cuerpo de agua (Lago Cráter La Preciosa). Sin embargo, la patogénesis de *Brucella* spp. en las especies silvestres no se ha

definido todavía con suficiente precisión (Kang *et al.*, 2011), su prevalencia es generalmente baja o muy baja, por lo que el comportamiento individual y las interacciones entre fauna silvestre y ganado doméstico, no son los factores de mayor relevancia epidemiológica en la potencial transmisión de esta bacteria. Puesto que las pruebas indirectas, basadas normalmente en el diagnóstico serológico en muestras de sangre o leche, no pueden identificar la especie de *Brucella* involucrada. Es preciso recurrir, siempre que sea posible, al diagnóstico bacteriológico utilizando técnicas clásicas que siguen vigentes como confirmatoria a nivel mundial (OIE, 2004) o aquellas basadas en la biología molecular (PCR). Sin embargo; las pruebas serológicas no siempre son capaces de determinar el microorganismo patógeno, y menos aún; cuando no hay información de las capacidades genéticas de respuesta al ambiente de la brucelas procedente del medio silvestre (Kang *et al.*, 2011). Por estas razones, se utilizaron tanto las técnicas clásicas microbiológicas como por PCR, donde se amplificó al gen *bp26* específico del género *Brucella*. Estos resultados concuerdan con lo sugerido por Cloeckaert *et al.* (2011), Pappas (2010), Scholz *et al.* (2008) y Pappas *et al.* (2006), quienes sugieren que el género *Brucella* puede potencialmente afectar a una gama ecológica amplia (Scholz *et al.*, 2016), incluyendo actualmente a peces nativos como *P. letholepis*. Al respecto, *P. letholepis* ha aumentado su potencial estatus de peligro crítico (CP), debido área de distribución restringida ($\leq 100 \text{ km}^2$) de Grado 4 de acuerdo con el criterio de distribución (MER) de carácter microendémica (Aldama *et al.*, 2007). La especie *P. letholepis* solo reside en el lago cráter La Preciosa y este lago al igual que los otros lagos cráter de la Región sufre problemas de contaminación microbiológica sistemática e histórica (Cruz-Aviña *et al.*, 2017 Alcocer *et al.*, 2004). Adicionalmente se reportan hasta 22 tipos diferentes de parásitos para este Atherínido, incluyendo especies zoonóticas (Moreno-Navarrete & Aguilar-Aguilar, 2013; De León *et al.*, 2008 y Coyote, 2000) y ahora se incluye a *Brucella* como de potencial riesgo zoonótico (López-Goñi *et al.*, 2011).

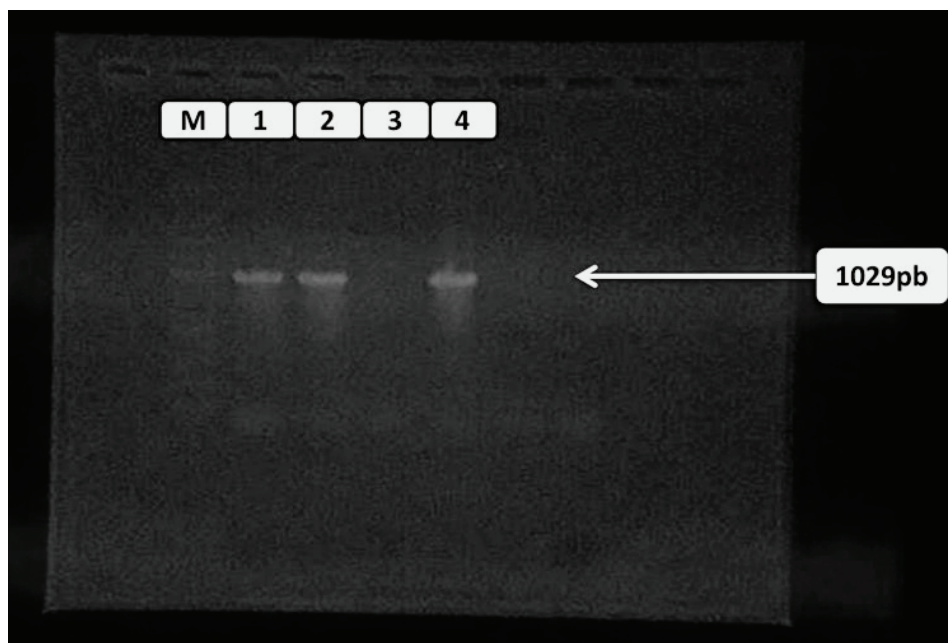


Figura 2.- Ampliación del gen *bp26* (específico para el género *Brucella*). Los cebadores fueron: (Oligo 1: 5'GCCCTGACATAACCCGCTT3', Oligo 2: 5'GAGCGTGACATTTGCCGATA3'). Carril M (Marcador molecular); Carril 1 y 2, cepas de referencia empleadas como controles positivos, *B. S19* y *B. M16*, respectivamente y Carril 3, cepa de referencia de *E. coli* como control negativo; línea 4, ADN bacteriano extraído de tejidos blandos de *Poblana letholepis*.

Hasta hace unas décadas se reconocía históricamente las diferencias entre especies de *Brucella* por el tropismo, la patogenicidad y la expresión fenotípica del huésped, hoy en día habrá que pensar en otros aspectos, nuevas posibilidades y generar nuevos métodos de diagnóstico para especies nativas. La cepa aislada de *Brucella melitensis* biovar 1, es capaz de migrar del ganado caprino, al agua natural, peces y potencialmente al resto de biodiversidad nativa, con incidencia directa en los habitantes de las comunidades aledañas. A pesar de las nulas prácticas zoonositarias en la Cuenca Oriental (cabras infectadas pastando sin control), esta investigación aporta datos relevantes para mejorar entendimiento del papel que juegan estos nuevos hospederos de la enfermedad. Aunque faltan estudios concluyentes a largo plazo para entender el rol de estos “nuevos jugadores” epidemiológicos, se requiere alertar sobre la incidencia potencial de este patógeno en reservorios no convencionales, para establecer medidas de prevención en la Región de estudio, con la finalidad de comprender mejor a esta enfermedad zoonótica y reconocer la importancia de la fauna nativa en la transmisión y permanencia de la brucelosis en áreas naturales.

CONCLUSIONES

Se determinó la presencia de *Brucella melitensis* en tejidos blandos del Charal *Poblana letholepis* del lago cráter La Preciosa Puebla, México, por medio de métodos microbiológicos y moleculares, con una incidencia del (66%) del primoaislamiento y (40%) de las pruebas confirmatorias por PCR, demostrándose la transmisión por interfaz de la enfermedad y el potencial riesgo ecológico en la ictiofauna nativa de la región de los lagos cráter como nuevo reservorio de *Brucella*.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CONACYT por el apoyo financiero de la beca de Posdoctorado del primer autor. Agradecemos la ayuda y colaboración de las siguientes instituciones: UJAT, CICART, Laboratorio de Acuicultura Tropical, UAM- Iztapalapa, Departamento de Hidrobiología, PEXPA, FES-I UNAM Laboratorio de Limnología Tropical, Dr. Miroslav Macek, y Dr. Jorge Quiroz; Colección Nacional de Peces (CNPE) IBUNAM, Dr. Héctor Espinosa; SS Puebla, Departamento de Zoonosis, MVZ Juan Manuel Balderas, habitantes de San Luis Atexcac y San Juan La Muralla, Municipio Guadalupe Victoria (Doña Lety, Don Juan, Don Lupe y Don Pedro) por último a Ricardo Daniel Cruz Guerrero por su invaluable ayuda en campo.

REFERENCIAS

- ALCOCER, J. & F. W. BERNAL-BROOKS. 2010. Limnology in Mexico. *Hydrobiologia* 644(1): 1-54.
- ALCOCER, J. D., F. O. A. ESCOLERO, S. L. E. MARTÍN. 2004. Problemática del agua de la Cuenca de Oriental, estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala. In: Jiménez, B. & L. E. Marín. (eds.). *El Agua en México Vista desde la Academia*. Academia Mexicana de Ciencias, México, D.F, pp. 57-77.
- ALCOCER, J., E. ARCE, L. ZAMBRANO & X. CHIAPPA-CARRARA. 2010. *Poblana alchichica*: A threatened silverside species? *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen* 30(9): 1429-1432. DOI:10.1080/03680770.2009.11902347
- ALDAMA, A., B. GOETTSCH, J. S. MAINERO, M. TAMBUTTI, O. SÁNCHEZ, R. MEDELLÍN. 2007. *Método de evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México* (MER) Instituto Nacional de Ecología, México. 300 p.
- ALMUNEEF, M. A., Z. A. MEMISH, H. H. BALKHY, B. ALOTAIBI, S. ALGODA, M. ABBAS & S. ALSUBAIE. 2004. Importance of screening household members of acute brucellosis cases in endemic areas. *Epidemiology and Infection* 132(3): 533-540. DOI:10.1017/s0950268803001857
- ÁLVAREZ, J. 1950. Contribución al conocimiento de los peces de la Región de los Llanos, Estado de Puebla. México. *IPN Anales Escuela Nacional Ciencias Biológicas* 6: 81-107.
- ALTON, G. G., M. L. M. JONES, C. GARCÍA-CARRILLO & D. M. V. A. TRENCHI. 1972. *Brucella melitensis* Rev-1 and *Brucella abortus* Vaccines in Goats: Immunity. *Am. J. Vet. Res* 33(9): 1747-1751.
- ALTON, G. G., L. M. JONES & D. E. PIETZ. 1976. *Técnicas de laboratorio en la brucelosis*. OMS, Ginebra. 177 p.
- ALTON, G. G., L. M. JONES, R. D. ANGUS, J. M. VERGER. 1988. *Techniques for the brucellosis laboratory*. Institut National de la Recherche Agonomique INRA, París, Francia. 190 p.
- AMATO, J. F. R., W. A. BOEGER & S. B. AMATO. 1991. *Protocolos para laboratorio: coleta e processamento de parasitos de pescado*. Seropédica, Gráfica da Universidade de Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil. 81 p.
- ARMIENTA, M. A., G. VILAFLARA, S. DE LA CRUZ-REYNA, S. RAMOS, N. CENICEROS, O. CRUZ & F. ARCEGA-CABRERA. 2008. Water chemistry of lakes related to active and inactive Mexican volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 178(2): 249-258.
- ARREDONDO-FIGUEROA, J. L., R. L. C. BORREGO, M. VALLADOLID. 1983. Batimetría y morfometría de los lagos “Maars” de la Cuenca de Oriental, Puebla, México. *Biótica* 8: 31-47.
- BILAL, N., J. GHAZI, A. B. RAYMOND, F. M. OLFAT, M. E. NARIMAN. 1991. Brucellosis in Asia region of Saudi Arabia. *Saudi Medical Journal* 12: 37-41.
- BULMAN, G. M. & J. C. LAMBERTI. 2011. Parásitos y enfermedades parasitarias emergentes y reemergentes: Calentamiento global, cambio climático, transmisión y migración de especies. Evaluación de la participación del hombre. *Vet Argentina* 28(282): 1-15.
- BLANCAS-ARROYO, G. A., R. FRÍAS-SEVILLA, E. DE LA ROSA-PIMENTEL, V. SUÁREZ-NAVARRO, J. R. CASTRO-GÓMEZ & J. MAGAÑA-MORALES. 2014. Efecto de la salinidad en la sobrevivencia de peces silvestres del género *Chirostoma* durante el transporte y mantenimiento en laboratorio. *Hidrobiológica* 24(3): 223-230.
- BLOOM, D. D., K. R. PILLER, J. LYONS, N. MERCADO-SILVA & M. MEDINA-NAVA. 2009. Systematics and Biogeography of the Silverside Tribe Menidiini (Teleostomi: Atherinopsidae) Based on the Mitochondrial ND2 Gene. *Copeia* 2009(2): 408-417. DOI:10.1643/ci-07-151
- CASTAÑEDA-ROLDAN, E. I., F. F. AVELINO, A. ESPINOSA & E. CHÁVEZ. 2005. Determinación de *Brucella melitensis* en una red, agua residual, agua de lluvia, suelo de una comunidad de alta morbilidad en el estado de Puebla. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología* 25: 4-15.
- CABELLO, C. C. & C. F. CABELLO. 2008. Zoonosis con reservorios silvestres: Amenazas a la salud pública y a la economía. *Revista Médica de Chile* 136(3):385-393. DOI:10.4067/s0034-98872008000300016

- CAN-CHULIM, Á., H. M. ORTEGA-ESCOBAR, N. E. GARCÍA-CALDERÓN, A. L. REYES-ORTIGOZA, V. A. GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ & D. FLORES-ROMÁN. 2011. Origen y calidad del agua subterránea en la cuenca oriental de México. *Terra Latinoamericana* 29(2): 189-200.
- CEBALLOS, G. & P. ORTEGA-BÁEZ. 2011. La sexta extinción: la pérdida de especies y poblaciones en el Neotrópico. In: Simonetti, J. & R. Dirzo (eds.). *Conservación Biológica: Perspectivas de Latinoamérica*. Editorial Universitaria Chile, pp. 194.
- CEBALLOS, G., E. D. PARDO, L. M. ESTÉVEZ & H. E. PÉREZ. 2018. *Los peces dulceacuícolas de México en peligro de extinción*. Fondo de Cultura Económica, México. 487 pp.
- CLEAVELAND, S., M. K. LAURENSEN & L. H. TAYLOR. 2001. Diseases of humans and their domestic mammals: pathogen characteristics, host range and the risk of emergence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 356(1411): 991-999. DOI:10.1098/rstb.2001.0889.
- CLOECKAERT, A., N. BERNARDET, M. S. KOYLASS, A. M. WHATMORE & M. S. ZYGMUNT. 2011. Novel IS711 Chromosomal Location Useful for Identification of Marine Mammal *Brucella* Genotype ST27, Which Is Associated with Zoonotic Infection. *Journal of Clinical Microbiology* 49(11): 3954-3959. DOI:10.1128/jcm.05238-11
- CONTRERAS-BALDERAS, S., P. ALMADA-VILLELA, M. D. L. LOZANO-VILANO & M. GARCÍA-RAMÍREZ. 2002. Freshwater fish at risk or extinct in México, a checklist and review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12(3): 241-251. DOI:10.1023/a:1025053001155
- COYOTE, H. B. A. 2000. Análisis de las relaciones taxonómicas entre las especies de *Poblana*, De Buen 1945 (Pisces: Atherinopsidae) mediante marcadores RAPD. Tesis Licenciatura, IPN, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México. 91 p.
- CORBEL, M. J. & W. J. BRINLEY-MORGAN. 1984. Genus *Brucella*. In: Krieg, N. R. & J. G. Holt. (eds.). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol. 1. Baltimore: Williams and Wilkins, pp. 942.
- COTRUVO, J. A., A. DUFOUR, G. REES, J. BARTRAM, R. CARR, D. O. CLIVER & V. P. J. GANNON. 2004. *Waterborne zoonoses*. World Health Organization by IWA Publishing, London, UK. 255 p.
- CRUZ-AVIÑA, J. R. 2013. Factores fisicoquímicos que influyen en la sobrevivencia de *Brucella* spp. en sistemas acuáticos en un área del Eje Neovolcánico en Puebla, México. Tesis de Maestría, BUAP. Puebla, México. 116 p.
- CRUZ-AVIÑA, J. R., E. CASTAÑEDA-ROLDÁN & M. MACEK. 2015. *Brucella* spp. como contaminante potencial en el agua de los axalapascos de Puebla, México. In: Alcocer, J., M. Merino-Ibarra & E. Escobar-Briónes (eds.). *Tendencias de Investigación en Limnología Tropical Perspectivas Universitarias en Latinoamérica*, CONACYT, pp. 88-98.
- CRUZ-AVIÑA, J. R., E. CASTAÑEDA-ROLDÁN, S. E. SILVA-GÓMEZ. 2017. La problemática ambiental de la Región de los Axalapascos de Puebla: erosión, pobreza, enfermedades emergentes, biodiversidad y etnocultura. In: Rodríguez H. A. L. (ed.). *El Desarrollo Sustentable*. Plaza y Valdés, México, pp. 1-99.
- DASZAK, P., A. A. CUNNINGHAM, A. D. HYATT. 2000. Emerging infectious diseases of wildlife threats to Biodiversity and Human Health. *Science*. 287: 443-449.
- DE BUEN, F. 1945. Investigaciones sobre Ictiología Mexicana I. *Atherinidae* de aguas continentales de México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, México* 6: 475-532.
- DE LEÓN, G. P. P., L. G. PRIETO & G. L. GUERRERO. 2008. Helmintos parásitos de atherinópsidos de agua dulce (Osteichthyes: Atheriniformes) del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 325-331.
- DÍAZ-PARDO, E. 1992. Bioecología de los lagos cráter de Puebla. Tesis Doctorado, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N. México. 87 p.
- DOBSON, A. & J. FOUFOPOULOS. 2001. Emerging infectious pathogens of wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 356(1411): 1001-1012. DOI:10.1098/rstb.2001.0900
- EISENBERG, T., H. P. HAMANN, U. KAIM, K. SCHLEZ, H. SEEGER, N. SCHAUERTE, M. ZSCHÖCK. 2012. Isolation of potentially novel *Brucella* spp. from frogs. *Applied and Environmental Microbiology* 78: 3753-3755.
- EL-TRAS, W. F., A. A. TAYEL, M. M. ELTHOLTH & J. GUITIAN. 2010. *Brucella* infection in fresh water fish: Evidence for natural infection of Nile catfish, *Clarias gariepinus*, with *Brucella melitensis*. *Veterinary Microbiology* 141(3-4): 321-325. DOI:10.1016/j.vetmic.2009.09.017
- ESPINOSA-PÉREZ, H., M. T. GASPAR-DILLANES & P. FUENTES-MATA. 1993. *Listados Faunísticos de México III Los peces dulceacuícolas mexicanos*. Instituto de Biología, UNAM, México. 62 p.
- FALENSKI, A., A. MAYER-SCHOLL, M. FILTER, C. GÖLLNER, B. APPEL & K. NÖCKLER. 2011. Survival of *Brucella* spp. in mineral water, milk and yogurt. *International Journal of Food Microbiology* 145(1): 326-330. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2010.11.033
- FLORES-NEGRETE, E. 1998. Estudio poblacional de tres especies de *Poblana* (Pisces: Atherinopsidae) en tres lagos de cráter de Puebla, México. Tesis de Maestría, UNAM. México. 101 p.
- GARCÍA-JUÁREZ, G., J. E. RAMÍREZ-BRIBIESCA, M. HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ, L. M. HERNÁNDEZ-CALVA, E. DÍAZ-APARICIO & H. OROZCO-BOLAÑOS. 2014. Análisis de riesgos de la brucelosis en el estado de Tlaxcala. *Salud Pública de México* 56: 355-362.
- GARCÍA-YOLDI, D., C. M. MARÍN, M. J. DE MIGUEL, P. M. MUÑOZ, J. L. VIZMANOS, G. I. LÓPEZ. 2006. Multiplex PCR assay for the identification and differentiation of all *Brucella* species and the vaccine strains *Brucella abortus* S19 and RB51 and *Brucella melitensis*. *Rev. Clin. Chemistry* 52: 779-781.
- GELDRICH, E. E. & N. A. CLARKE. 1966. Bacterial pollution indicators in the intestinal tract of freshwater fish. *Applied Environmental Microbiology* 14(3): 429-437.
- GELEV, I. & E. GELEV. 1988. A new species of fish-pathogenic bacterium antigenically related to classical brucellae. *Zentralblatt Für Bakteriologie, Mikrobiologie Und Hygiene. Series A: Medical Microbiology, Infectious Diseases, Virology, Parasitology* 269(1): 1-6. DOI:10.1016/s0176-6724(88)80078-6
- GODFROID, J. 2002. Brucellosis in wildlife. *Revue Scientifique et Technique-Office international des epizooties* 21(1): 277-286.

- GODFROID, J., K. NIELSEN & C. SAEGERMAN. 2010. Diagnosis of Brucellosis in Livestock and Wildlife. *Croatian Medical Journal* 51(4): 296-305. DOI:10.3325/cmj.2010.51.296
- GODFROID, J., H. C. SCHOLZ, T. BARBIER, C. NICOLAS, P. WATTIAU, D. FRETIN, J. J. LETESSON. 2011. Brucellosis at the animal ecosystem human interface at the beginning of the 21st century. *Preventive Veterinary Medicine* 102: 118-131.
- GORBY, G. L. & J. E. PEACOCK. 1988. *Erysipelothrix rhusiopathiae* Endocarditis: Microbiologic, Epidemiologic, and Clinical Features of an Occupational Disease. *Clinical Infectious Diseases* 10(2): 317-325. DOI:10.1093/clinids/10.2.317
- GUERRA-MAGAÑA, C. 1986. Análisis taxonómico poblacional de peces aterininos (*Chirostoma* y *Poblana*), de las cuencas endorreicas del extremo sur del altiplano mexicano. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN, México* 30: 81-113.
- GUMMOW, B. 2010. Challenges posed by new and re-emerging infectious diseases in livestock production, wildlife and humans. *Livestock Science* 130(1-3): 41-46. DOI:10.1016/j.livsci.2010.02.009
- GUZMÁN, C. & C. CAMPOS. 2004. Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. *Universitas Scientiarum* 9(1): 59-67.
- HERNÁNDEZ-RUBIO, M. C., T. C. FRAUSTO-ILLESCAS & G. FIGUEROA-LUCERO. 2016. Ontogenia temprana de *Poblana letholepis* (Actinopterygii: Atherinopsidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 1118-1123. DOI:10.1016/j.rmb.2016.06.002
- HO, M. H., C. K. HO & L. Y. CHONG. 2006. Atypical mycobacterial cutaneous infections in Hong Kong: 10-year retrospective study. *Hong Kong Medical Journal* 12(1): 21-26.
- JENNINGS, G. J., R. A. HAJJEH, F. Y. GIRGIS, M. A. FADEEL, M. A. MAKSOU, M. O. WASFY, N. EL-SAYED, P. SRIKANTIAH, S. P. LUBY, K. EARHART, F. J. MAHONEY. 2007. Brucellosis as a cause of acute febrile illness in Egypt. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 101(7): 707-713. DOI:10.1016/j.trstmh.2007.02.027
- JONES, K. E., N. G. PATEL, M. A. LEVY, A. STOREYGARD, D. BALK, J. L. GITTLEMAN & P. DASZAK. 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451(7181): 990-993. DOI:10.1038/nature06536
- KANG, S. I., M. HER, J. W. KIM, J. Y. KIM, K. Y. KO, Y. M. HA & S. C. JUNG. 2011. Advanced Multiplex PCR Assay for Differentiation of *Brucella* Species. *Applied and Environmental Microbiology* 77(18): 6726-6728. DOI:10.1128/aem.00581-11
- KIEL, F. W. & M. KHAN. Y. 1993. Brucellosis among Hospital Employees in Saudi Arabia. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 14(5): 268-272. DOI:10.1086/646733
- LAPERCHE, S. 2011. Definition of emerging infectious diseases. *ISBT Science Series* 6(1): 112-115. DOI:10.1111/j.1751-2824.2011.01452.x
- LEHANE, L. & G. T. RAWLLN. 2000. Topically acquired bacterial zoonoses from fish: a review. *Medical Journal of Australia* 173(5): 256-259.
- LIRA-GUERRERO, G., L. GARCÍA-PRÍETO & G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN. 2008. Helminthos parásitos de aterinópsidos de agua dulce (Osteichthyes: Atheriniformes) del centro de México. *Revista mexicana de biodiversidad* 79(2): 325-331.
- LÓPEZ-GOÑI, I., Y. D. GARCÍA, C. M. MARÍN, M. J. DE MIGUEL, C. E. BARQUERO, V. C. GUZMÁN & B. B. GARIN. 2011. New Bruce-ladder multiplex PCR assay for the biovar typing of *Brucella suis* and the discrimination of *Brucella suis* and *Brucella canis*. *Vet. Microbiol* 154(1): 152-155.
- MEYER, F. P. & G. L. BULLOCK. 1973. *Edwardsiella tarda*, a new pathogen of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Applied Microbiology* 25(1): 155-156.
- MILLER, R. R. 1986. Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico. *Anales Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN, México* 30: 121-153.
- MORENO-NAVARRETE, R. G. & R. AGUILAR-AGUILAR. 2013. Helminth parasites of the alchichica silverside *Poblana alchichica* (Atheriniformes: Atherinopsidae) from the Alchichica Crater-Lake, Central Mexico. *World Journal of Zoology* 8(1): 52-54.
- MORENO, E., A. CLOECKAERT, I. MORIYON. 2002. *Brucella* evolution and taxonomy. *Veterinary Microbiology* 90(1): 209-227.
- NAMIDURU, M., K. GUNGOR, O. DIKENSÖY, I. BAYDAR, E. EKINCI, I. KARAOGLAN, N. A. BEKIR. 2003. Epidemiological, clinical and laboratory features of brucellosis: a prospective evaluation of 120 adult patients. *International Journal of Clinical Practice* 57(1): 20-24.
- O'CALLAGHAN, D. & A. M. WHATMORE. 2011. *Brucella* genomics as we enter the multi-genome era. *Briefings in Functional Genomics* 10(6): 334-341. DOI:10.1093/bfpg/elr026
- OIE (WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH). 2004. Bovine brucellosis. In: OIE (ed.). *Manual of the Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*, Office International Des Epizooties, Paris, France, pp. 782.
- OSTERMAN, B. & I. MORIYÓN. 2006. International Committee on Systematics of Prokaryotes; Subcommittee on the taxonomy of *Brucella*: Minutes of the meeting, 17 September 2003, Pamplona, Spain. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 56(1): 1173-1175.
- PAL, D. & C. D. GUPTA. 1992. Microbial Pollution in Water and Its Effect on Fish. *Journal of Aquatic Animal Health* 4(1): 32-39. DOI:10.1577/1548-8667(1992)004<0032:mpiwai>2.3.co;2
- PALUMBO, S. A., F. MAXINO, A. C. WILLIAMS, R. L. BUN & D. W. THAYER. 1985. Starch-ampicillin agar for the quantitative detection of *Aeromonas hydrophila*. *Applied and Environmental Microbiology* 50(4): 1027-1030.
- PAPPAS, G. 2010. The changing *Brucella* ecology: novel reservoirs, new threats. *International Journal of Antimicrobial Agents* 36: S8-S11. DOI:10.1016/j.ijantimicag.2010.06.013
- PAPPAS, G., P. PAPADIMITRIOU, N. AKRITIDIS, L. CHRISTOU & E. V. TSANOS. 2006. The new global map of human brucellosis. *The Lancet Infectious Diseases* 6(2): 91-99. DOI:10.1016/s1473-3099(06)70382-6
- PEDLEY, S. & K. POND. 2003. *Emerging issues in water and infectious disease*. WHO, France. 1690 p.
- PLÁCERES, A. 1923. Estudios bacteriológicos y serológicos In: Silva R. (ed.). *Contribución al estudio de la bibliografía mexicana sobre la brucelosis*. Primera Reunión Interamericana de la Brucelosis: Hospital General de México, México, D.F, pp. 1948.
- QUINN, P. J., B. K. MARKEY & G. R. CARTER. 1994. *Clinical Veterinary Microbiology*. Mosby, London. 6 p.

- SALEM, S. F. & A. MOHSEN. 1997. Brucellosis in fish. *Veterinari Medicina (Praha)* 42(1): 5-7.
- SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM 059-ECOL-2010*. Protección Ambiental. Especies Nativas de México de flora y fauna silvestres, Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio de lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, México. Marzo 6: 78.
- SCHOLZ, H. C., A. L. DAHOUK, H. TOMASO, H. NEUBAUER, A. WITTE & M. SCHLOTTER. 2008. Genetic diversity and phylogenetic relationships of bacteria belonging to the *Ochrobactrum-Brucella* group by *recA* and 16S rRNA gene-based comparative sequence analysis. *Syst Appl Microbiol* 31: 1-16. DOI: 10.1016/j.syapm.2007.10.004
- SCHOLZ, H. C., K. MUHLDOERFER, C. SHILTO, S. BENEDICT, A. WHATMORE, J. BLOM & T. EISENBERG. 2016. The Change of a Medically Important Genus: Worldwide Occurrence of Genetically Diverse Novel *Brucella* Species in Exotic Frogs. *PLoS ONE* 11(12): e0168872. DOI:10.1371/journal.pone.0168872
- SHELL, S. M., E. K. HAWKINS, M. S. TSAI, A. S. HLAING, C. J. RIZZO & W. J. CHAZIN. 2013. *Xeroderma pigmentosum* complementation group C protein (XPC) serves as a general sensor of damaged DNA. *DNA Repair* 12(11): 947-953. DOI:10.1016/j.dnarep.2013.08.013
- VALENZUELA-SÁNCHEZ, A. & G. MEDINA-VOGEL. 2014. Importancia de las enfermedades infecciosas para la conservación de la fauna silvestre amenazada de Chile. *Gayana (Concepción)* 78(1): 57-69. DOI:10.4067/s0717-65382014000100008
- YAGUPSKY, P. 1999. Detection of Brucellae in blood cultures. *Journal of clinical microbiology* 37(11): 3437-3442.
- WEINSTEIN, M. R., M. LITT, D. A. KERTESZ, P. WYPER, D. ROSE, M. COULTER & D. E. LOW. 1997. Invasive Infections Due to a Fish Pathogen, *Streptococcus iniae*. *New England Journal of Medicine* 337(9): 589-594. DOI:10.1056/nejm199708283370902
- WHATMORE, A. M., K. K. GOPAUL, M. KOYLASS, A. LAWRIE, J. MUCHOWSKI, E. DALE & M. JONES. 2015. Isolation of *Brucella* from a White's tree frog (*Litoria caerulea*). *JMM Case Reports* 2(1): 1-5. DOI:10.1099/jm-mcr.0.000017
- WOOLHOUSE, M. E. J. & S. GOWTAGE-SEQUERIA. 2005. Host Range and Emerging and Reemerging Pathogens. *Emerging Infectious Diseases* 11(12): 1842-1847. DOI:10.3201/eid1112.050997
- WOOLRICH-PIÑA, G. A., G. R. SMITH, J. A. LEMOS-ESPINAL, R. MONTOYA-AYAL, L. E. AVILA-BOCANEGRA & E. BENAVIDES-GARDUÑO. 2012. Temporal variation in the abundance of *Poblana alchichica* in near-shore habitat of the high elevation lake, Lago de Alchichica, Puebla, México. *Acta biológica colombiana* 17(1): 205-210.

NOTA CIENTÍFICA

Injuries caused by the invasive armoured suckermouth catfish *Pterygoplichthys* sp. in three captive Antillean manatees
Trichechus manatus manatus

Lesiones ocasionadas por el bagre armado del Amazonas *Pterygoplichthys* sp. en tres manatíes antillanos en cautiverio
Trichechus manatus manatus

Jonathan Pérez-Flores^{1*} and Omar Pigenutt-Galindo²

Recibido: 15 de junio de 2018.

Aceptado: 29 de junio de 2020.

Publicado: agosto de 2020.

ABSTRACT

Background: The interaction between *Pterygoplichthys* and Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*) was recorded approximately 13 years ago in Florida, United States. In Mexico, this interaction has not been documented neither in the wild nor in captivity. Until now it was supposed that *Pterygoplichthys* attach to manatees to forage the epibiota of the skin without causing any damage. However, some behaviour displayed suggests pain, stress, and discomfort when these fish attach to the manatee's skin. **Goals:** To determine if the skin wounds found in three captive manatees are associated with the presence of *Pterygoplichthys* in the facilities where they are housed. **Methods:** By trawling a large artificial lagoon (AL) for three consecutive days, every six months for two and a half years we decimated the local population of *Pterygoplichthys*; in the management pool (MP), fish were removed manually. Additionally, we reduced the time individuals spent in the management facilities by releasing them into the AL. **Results:** Total disappearance of the skin wounds was achieved in three years, due to their decreased interaction with the catfish (both through the reduction of the population of *Pterygoplichthys* and of the time spent by the manatees in the MP). **Conclusions:** Injuries were caused by the fact that manatees lived in a small space, without food available for the catfish, which caused an increase in the frequency and aggressiveness of the encounters. Therefore, we recommend creating and implementing strategies to reduce *Pterygoplichthys* populations in places where manatees inhabit, because in the future the wounds they cause could be a potential threat for the long-term population viability of the endangered Antillean manatee.

Keywords: Antillean manatee, Chiapas, Interactions, Invasive species, *Pterygoplichthys*.

¹ Departamento de Sistemática y Ecología Acuática, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. Avenida Centenario km 5.5, Chetumal, Quintana Roo, 77014. México.

² Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de Flora y Fauna AC. Calle 4 Sur-Poniente 174, Colonia Centro, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 29000. México.

***Corresponding author:**

Jonathan Pérez-Flores: e-mail: johnspf77@yahoo.com.mx

To quote as:

Pérez-Flores, J. & O. Pigenutt-Galindo. 2020. Injuries caused by the invasive armoured suckermouth catfish *Pterygoplichthys* sp. in three captive Antillean manatees *Trichechus manatus manatus*. *Hidrobiológica* 30 (2): 173-176.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbshidro/2020v30n2/Perez

RESUMEN

Antecedentes: La interacción entre *Pterygoplichthys* y el manatí de Florida (*Trichechus manatus latirostris*) se registró desde hace aproximadamente 13 años en Florida, Estados Unidos. En México, esta interacción no ha sido documentada en vida libre ni en cautiverio. Hasta este momento, se creía que el pez diablo se adhería al manatí solamente para consumir la epibiotas que vive en su piel sin ocasionarle ningún daño. Sin embargo, algunos comportamientos documentados sugieren dolor, estrés e incomodidad cuando este pez se adhiere a la piel del manatí. **Objetivos:** Determinar si existe una relación entre las heridas cutáneas presentes en tres manatíes en cautiverio y la presencia de *Pterygoplichthys* en las instalaciones donde se encuentran albergados. **Métodos:** Se diezmó la población de *Pterygoplichthys* mediante la técnica de arrastre en una laguna artificial grande (LA) durante tres días consecutivos, cada seis meses durante dos años y medio; en el estanque de manejo (EM), la remoción fue manual. Además, redujimos el tiempo que los individuos pasaban en el EM al liberarlos en la LA. **Resultados:** La desaparición total de las heridas cutáneas se logró en dos años y medio, gracias a la reducción de la interacción de los manatíes con los peces diablo (tanto a través de la reducción

de la población de *Pterygoplichthys* como a que se disminuyó el tiempo que pasaban los manatíes en el EM). **Conclusiones:** Las lesiones ocasionadas por *Pterygoplichthys* se debían a que los manatíes habitaban en un espacio reducido y sin alimento disponible para los peces; esto causó un aumento en la frecuencia y agresividad de los encuentros. Por lo que recomendamos crear e implementar medidas para reducir las poblaciones de peces diablo en los lugares donde habitan los manatíes, ya que en el futuro esto podría convertirse en una amenaza para la viabilidad a largo plazo de las poblaciones de una especie amenazada como lo es el manatí antillano.

Palabras clave: Chiapas, Especie invasiva, Interacciones, Manatí antillano, Pez diablo.

The Grijalva and Usumacinta rivers, the most important rivers in southern Mexico, begin their course in Guatemala and flow through the states of Chiapas and Tabasco (Pease *et al.*, 2012). In the Mexican side of this basin, Miller (2005) documented the presence of 115 fish species, 41 out of which are endemic. There are also two species of aquatic mammals, the Neotropical river otter (*Lontra longicaudis*, Olfers 1818) and the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*, Linnaeus 1758), considered near-threatened and endangered, respectively, by the IUCN (Self-Sullivan & Mignucci-Giannoni, 2008; Rheingantz & Trinca, 2015).

Over the last 15 years, Mexican freshwater ecosystems have been affected by the presence of the invasive armoured suckermouth catfish (*Pterygoplichthys pardalis*, Castelnau 1855 and another species of the genus) (Mendoza *et al.*, 2007). This species is tolerant to extreme changes of temperature, flow, salinity and quality of water (Capps *et al.*, 2011; Bijukumar *et al.*, 2015). Additionally, its early reproduction, nest construction, parental care, high fertility rate (800 to 1500 eggs per female) and larval survival have facilitated its invasion in water bodies from all over the world (Tello *et al.*, 1992; Hoover *et al.*, 2004).

Armoured catfish interactions with other species include its predators (Power, 1984; Willard, 1985; Bistoni *et al.*, 1995; Aguilar & Di-Bernardo, 2004; Kasper *et al.*, 2008; Bonino *et al.*, 2009; Borteiro *et al.*, 2009; Cabral *et al.*, 2010; Ríos-Muñoz, 2015) and the Florida manatee (*T. m. latirostris*) (Nico *et al.*, 2009). This last interaction is controversial, because it is not clear whether it is beneficial or harmful to manatee's health. Nico *et al.* (2009) mentioned that catfish attached to manatees to feed on the epibionts that live on their skin and searching for protection from its predators. In Florida, no injured manatees had been observed due to catfish attachment and in surveys analysing catfish gut contents, no epibiont (e.g., copepods, nematodes, ostracods) was found only algae (Gibbs *et al.*, 2010). However, when manatees have a catfish attached, they have been observed agitated, irritated, discomforted and attempting to dislodge catfish; these reactions have been also observed when larger jacks and *Archosargus probatocephalus*, Walbaum 1792, peck the manatees (Nico *et al.*, 2009; Gibbs *et al.*, 2010). This suggests that some structures of fish oral apparatus (teeth) are harming manatees.

Manatees in southern Mexico are considered abundant (Colmenero & Hoz, 1986; Álvarez *et al.*, 1988), but in the last two decades, orphaned and injured animals have been rescued and transferred to different institutions (e.g., zoos, aquariums, universities, wildlife rescue centres) (Ortega-Argueta & Castelblanco-Martínez, 2018) of the states of Chiapas and Tabasco to provide them with veterinary clinical assistance. In most of the facilities where these animals are housed, the water used to fill the pools comes from the hydrological network

of the lower basin of the Grijalva-Usumacinta, which increases the frequency and intensity of the contact among catfish and manatees.

Three adult female manatees are kept in an artificial lagoon (AL) (6824 m² total area) in Palenque, Chiapas, Mexico (17° 29'10" N, 92° 01'10" W). This lagoon is connected to a management pool (MP) (8.40 m wide, 7.20 m long and 2.10 m deep), where veterinarians inspect animals and keepers conduct training sessions. The water filling these artificial water bodies is turbid and comes from a nearby lagoon (1 km away). Two of the manatees arrived in August 2011 from an aquarium from Veracruz, Mexico. One of them has a total length (TL) of 2.75 m (13 years old), weighing 650 kg and the other has a TL of 2.87 m, and weighs 700 kg (14 years old). The third one (TL=3.28 m, unknown age and weighs 850 kg) was rescued from the wild in May 2013 from nearby Catazajá wetlands (Figure 1 A). Upon its arrival, none of the manatees presented wounds, just the wild one presented a buoyancy problem derived from ingestion of plastic garbage. Since their arrival, the females that came from the aquarium lived in the MP, due to the difficulty to handle them in the AL. On the other hand, the wild female spent a few weeks in the MP while recovering from the buoyancy problem; after the veterinarians discharged her, she was released to the AL.

In December 2013, as part of a routinely veterinary examination, the water of the MP was removed and while examining the manatees' skin we observed rounded and irregular lesions through the dorsal region (head, thorax, pectoral flippers, abdomen, fluke) (Figure 1 B, D-E); no other clinical sign was observed. Cutaneous lesions of the three manatees were similar in appearance (width from 0.4 to 2.1 cm; length from 0.5 to 2.3 cm), irregular, sometimes well defined, with an abnormal thickening of the skin showing a rough surface and a light grey to off-white coloration. Occasionally the lesions showed very prominent borders and a whitish depressed centre (crater-like). These lesions were interpreted as ulcers in healing process. No systemic or topical medication was administered to the individuals. During each examination, we observed that wounds were healing slowly from the periphery to the centre. This type of healing process has been observed previously by one of the authors in other injured manatees from the Mexican Caribbean (Pérez-Flores *et al.*, 2010). Finally, in January 2017, we performed the last clinical evaluation and observed a total recovery of cutaneous wounds (Figure 1C).

After inspecting the MP carefully, we didn't find any object that could cause these kinds of injuries, except for the presence of 120 suckermouth catfish. Therefore, in May 2014 we decided to establish a protocol to reduce the population of catfish in AL and MP, and to monitor the manatees' skin healing process. First, we removed the water from the MP every 20 days to take out catfish and track the healing process of the wounds. Second, periodic extraction of catfish from the AL was performed by trawling three consecutive days every six months for two and a half years. Since we performed the first trawling, we decided to release the two manatees held in the MP into the AL to avoid contact between the manatees and the catfish.

The eradication of catfish from the MP was achieved in five months by removing catfish every time we emptied the MP (every 20 days) and closing the gates that connect with the AL. Meanwhile, hundreds of catfish were removed from the AL since the first trawling; however, complete eradication was not possible due to the characteristics of the lagoon.



Figure 1. Same female manatee on three different dates: A) May 2013 the day she arrived to the facilities without wounds, B) December 2013 she presented wounds through all the dorsal region, C) January 2017 the wounds totally disappeared, D-E) Rounded and irregular cutaneous lesions presented through all the dorsal area. Photo A courtesy of María Silva.

It was previously assumed that the interaction between *P. pardalis* and manatees was not harmful for the latter (Nico *et al.*, 2009; Gibbs *et al.*, 2010). However, Williams (2005) and Nico *et al.* (2009) mentioned that catfish sometimes bite the skin of manatees, causing them to squirm and roll, flip the fluke, increase vocalizations, and rub their body against some superficies (e.g., branches, logs, stream bottom). Despite the fact that manatee skin is thick, we believe that this kind of behaviour is displayed as a consequence of pain or discomfort caused by the scrapping-feeding movements of *P. pardalis* (Adriaens *et al.*, 2009). Catfish present a row of rake-like teeth, which they use to scrape up to one and a half meters deep in different kind of substrates they have invaded (Mendoza *et al.*, 2007; Adriaens *et al.*, 2009).

The parts of the body where we observed the wounds (head, snout, dorsal and ventral regions, and caudal fluke) are the same parts where catfish are usually found attached (Nico *et al.*, 2009). Furthermore, the length of *Pterygoplichthys* sp. found in the MP (28.0 to 44.6 cm) coincides with the length (30-40 cm) of catfish attached to manatees in Florida (Nico *et al.*, 2009). Williams (2005) and Nico *et al.* (2009) observed up to 40 catfish attached to a single manatee for a period of four minutes; however, it only takes one armoured catfish attached to a manatee to provoke a change in latter's behaviour (Gibbs *et al.*, 2010). Due to low visibility, we only observed catfish attached (a maximum of 2 minutes) to the manatees during the training sessions, but when manatees swam on the surface most of the fish detached.

We hypothesize that two factors induced catfish to injure manatees. First, the long period of time spent by manatees in the MP. The MP is a small concrete reduced space where manatees cannot escape from catfish; this could increase the frequency and intensity of the attachment to the skin causing the observed wounds. Second, walls and floor of the MP were constantly cleaned, preventing the accumulation of organic particles; thus, the only source of food for *Pterygoplichthys* were the algae present in manatees' body, and once the algae were removed, they probably began to scrape manatees' skin.

We assumed that the main factor that contributes to heal the wounds of the manatees was the declining and eradication of catfish population from AL and MP respectively. This process must be carried out through the periodic extraction followed by killing, due to the rapid rate of colonisation of this species (Schmitter-Soto *et al.*, 2015).

This interaction has probably been carried out since catfish invaded the fluvial-lagoon systems of Chiapas and Tabasco; however, the turbidity of the water makes it difficult to document it. The reduction of size of water bodies during the dry season could favour the contact between manatees and catfish; this might be harmful for manatees' health, since it is speculated that dermal scavenging is associated with the papilloma virus (Nico *et al.*, 2009). For these reasons, it is necessary to create and implement strategies to control or eradicate armoured catfish populations, since there is evidence that this species is increasingly abundant and could be a potential threat to the long-term population viability of the endangered Antillean manatee in the South of Mexico.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the personnel of the Zoological Institution in Chiapas. Special thanks to Adriana de los Santos for helping in the manuscript. This manuscript benefited from comments by Juan Jacobo Schmitter Soto and two anonymous reviewers

REFERENCES

- ADRIAENS, D., T. GEERINCKX, J. VLASSENBOECK, L. VAN HOOREBEKE & A. HERREL. 2009. Extensive jaw mobility in suckermouth armored catfishes (Loricariidae): a morphological and kinematic analysis of substrate scraping mode of feeding. *Physiological and Biochemical Zoology* 82(1): 51-62. DOI:10.1086/594378
- AGUILAR, L. F. S. & M. DI-BERNARDO. 2004. Diet and Feeding Behavior of *Helicopsisinfra taeniatus* (Serpentes: Colubridae: Xenodontinae) in Southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 39(1): 7-14. DOI:10.1080/01650520412331270927
- ÁLVAREZ, C., A. AGUAYO & L. JHONSON. 1988. Observaciones sobre el manatí *Trichechus manatus* en la región media del Usumacinta, Tabasco. In: Chávez-Lomeli, M. O. (ed.). *Ecología de los ríos Usumacinta y Grijalva*. Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bióticos, División Regional Tabasco y Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. pp. 617-624.
- BIJUKUMAR, A., R. SMRITHY, U. SURESHKUMAR & S. GEORGE. 2015. Invasion of South American suckermouth armored catfishes *Pterygoplichthys* spp. (Loricariidae) in Kerala, India a case study. *Journal of Threatened Taxa* 7(3): 6987-6995. DOI:10.11609/JoTT.o4133.6987-95
- BISTONI, M. A., J. G. HARO & M. GUTIÉRREZ. 1995. Feeding of *Hoplias labaricus* in the wetlands of Dulce River (Córdoba, Argentina). *Hydrobiologia* 316: 103-107.
- BONINO, M., J. J. N. LESCANO, J. G. HARO & G. C. LEYNAUD. 2009. Diet of *Hydromedusa tectifera* (Testudines-Chelidae) in a mountain stream of Córdoba province, Argentina. *Amphibia-Reptilia* 30(4): 545-554.
- BORTEIRO, C., F. GUTIÉRREZ, M. TEDROS & F. KOLENC. 2009. Food habits of the broad-snouted Caiman (*Caiman latirostris*: Crocodylia, Alligatoridae) in northwestern Uruguay. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 44(1): 31-36.
- CABRAL, M. M. M., J. ZUANON, G. E. DE MATTOS & F. C. W. ROSAS. 2010. Feeding habits of giant otters *Pteronura brasiliensis* (Carnivora: Mustelidae) in the Balbina hydroelectric reservoir, Central Brazilian Amazon. *Zoologia* 27(1): 47-53.
- CAPPS, K. A., L. G. NICO, M. MENDOZA-CARRANZA, W. ARÉVALO-FRÍAS, A. J. ROPICKI, S. A. HEILPERN & R. RODILES-HERNÁNDEZ. 2011. Salinity tolerance of non-native suckermouth armored catfish (Loricariidae: *Pterygoplichthys*) in south-eastern Mexico: implications for invasion and dispersal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 21: 528-540. DOI:10.1002/aqc.1210.
- COLMENERO, L. C. & M. E. HOZ. 1986. Distribución de los manatíes, situación y conservación en México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 56(3): 955-1020.
- GIBBS, M., T. FUTRAL, M. MALLINGER, D. MARTIN & M. ROSS. 2010. Disturbance of the Florida manatee by an invasive catfish. *Southeastern Naturalist* 9: 635-648.
- HOOVER, J. J., K. J. KILLGORE & A. F. COFRANCESCO. 2004. Suckermouth catfishes: Threats to aquatic ecosystems of the United States? *Aquatic Nuisance Species Research Program Bulletin* 4(1): 1-9.
- KASPER, C. B., V. A. G. BASTAZINI, J. SALVI & H. C. Z. GRILLOW. 2008. Trophic ecology and the use of shelters and latrines by the Neotropical otter (*Lontra longicaudis*) in the Taquari Valley, Southern Brazil. *Iheringia, Série Zoologia* 98: 469-474. DOI:10.1590/S0073-47212008000400009
- MENDOZA, R., S. CONTRERAS, C. RAMÍREZ, P. KOLEFF, P. ÁLVAREZ & V. AGUILAR. 2007. Los peces diablo: Especies invasoras de alto impacto. *Biodiversitas* 70: 1-5.
- MILLER, R. R. 2005. *Freshwater Fishes of Mexico*. University of Chicago Press, Chicago. 652 p.
- NICO, L. G., W. F. LOTUS & J. P. REID. 2009. Interactions between non-native armored suckermouth catfish (Loricariidae: *Pterygoplichthys*) and native Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*) in artesian springs. *Aquatic Invasions* 4(3): 511-519. DOI:10.3391/ai.2009.4.3.13
- ORTEGA-ARGUETA, A. & D. N. CASTELBLANCO-MARTÍNEZ. 2018. Is captive breeding a priority for manatee conservation in Mexico? *Oryx* 54(1): 1-8. DOI:10.1017/S0030605317001697
- PEASE, A. A., A. A. GONZÁLEZ-DÍAZ, R. RODILES-HERNÁNDEZ & K. O. WINEMILLER. 2012. Functional diversity and trait-environment relationships of stream fish assemblages in a large tropical catchment. *Freshwater Biology* 57(5): 1060-1075.
- PÉREZ-FLORES, J., A. G. ROSAS-ROSAS & J. G. PÉREZ-JUAREZ. 2010. Treatment and wound management of a semicaptive harpooned manatee (*Trichechus manatus*) in Laguna Guerrero, México. American Association of Zoo Veterinarians Annual Conference, South Padre Island, Texas from 23 to 29 of October.
- POWER, M. E. 1984. Habitat quality and the distribution of algae-grazing catfish in a Panamanian stream. *The Journal of Animal Ecology* 53: 357-374.
- RHEINGANTZ, M. L. & C. S. TRINCA. 2015. *Lontra longicaudis*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2015: e.T12304A21937379. Available online at: DOI:10.2305/IUCN.UK.2015-2.RLTS.T12304A21937379.en.
- RIOS-MUÑOZ, C. A. 2015. Depredación de pez diablo (Loricariidae: *Pterygoplichthys*) por el cormorán oliváceo (*Phalacrocorax brasilianus*) en Villahermosa, Tabasco, México. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología* 16(2): 62-65.
- SCHMITTER-SOTO, J. J., R. QUINTANA, M. E. VALDEZ-MORENO, R. L. HERRERA & P. C. ESSELMAN. 2015. Armoured catfish (*Pterygoplichthys pardalis*) in the Hondo river, Mexico-Belize. *Mesoamericana* 19(3): 9-19.
- SELF-SULLIVAN, C. & A. A. MIGNUCCI-GIANNONI. 2008. *Trichechus manatus* ssp. *manatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2008: e.T22105A9359161. Available online at: DOI:10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22105A9359161.en (downloaded April 30, 2018).
- TELLO, J. S., V. H. MONTREUIL, J. T. MACO, R. A. ISMIÑO & H. SANCHEZ. 1992. Bioecología de peces de importancia económica de la parte inferior de los ríos Ucayali y Marañón-Perú. *Folia Amazonica* 4(2): 87-107.
- WILLARD, D. E. 1985. Comparative feeding ecology of twenty-two tropical piscivores. *Ornithological Monographs* 36: 788-797.
- WILLIAMS, L. 2005. Individual distinctiveness, short-and long-term comparisons and context specific rate of Florida manatee vocalizations. Master in Science Thesis, University of North Carolina, Wilmington. NC. 93 p.

NOTA CIENTÍFICA

Primer registro del anfípodo dulceacuícola *Hyalella azteca* (Amphipoda: Senticaudata) en Cuautla, Morelos, México

First record of the freshwater amphipod *Hyalella azteca* (Amphipoda: Senticaudata) in Cuautla, Morelos, Mexico

Marco Violante-Huerta[®]

Recibido: 01 de diciembre de 2019.

Aceptado: 12 de mayo de 2020.

Publicado: agosto de 2020.

RESUMEN

Antecedentes: En México, cuatro especies de anfípodos dulceacuícolas del género *Hyalella* han sido reportadas en 14 estados de la república, sin embargo, el estado de Morelos no tenía registro previo. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo fue dar a conocer un nuevo registro de *Hyalella azteca* en Morelos, México. **Métodos:** Los anfípodos fueron recolectados en manantiales cercanos a Cuautla, Morelos, México, y se preservaron en alcohol al 70%. **Resultados:** Se reconoció a *H. azteca* mediante caracteres morfológicos y sus variaciones como la distancia de las setas en la punta del telson y un lóbulo grande en el margen posterodistal del propodio del gnatópodo 2. **Conclusiones:** Este es el primer registro de la especie en el estado de Morelos, México.

Palabras clave: aguas epicontinentales, Gammaridea, Senticaudata, taxonomía

ABSTRACT

Background: In Mexico, four species of freshwater amphipods of the genus *Hyalella* have been reported in 14 states of the republic, however, the state of Morelos had no previous record. **Objectives:** The aim of this work was to address a new record of *Hyalella azteca* in Morelos, Mexico. **Methods:** The amphipods were collected in water springs near to Cuautla, Morelos, Mexico, and preserved in 70% alcohol. **Results:** *H. azteca* was recognized with the aid of morphological characteristics along with variations such as the distance of the setae in the tip of telson and a large lobe in the posterodistal margin of gnathopod 2. **Conclusions:** This is the first record of the species in the state of Morelos, Mexico.

Keywords: inland waters, Gammaridea, Senticaudata, taxonomy

El orden Amphipoda Latreillei, 1816 es uno de los grupos más importantes entre los crustáceos que habitan las aguas epicontinentales debido a su función en las redes tróficas como detritívoros (Vainola *et al.*, 2008; Rogers *et al.*, 2010). Estos anfípodos han sido estudiados ampliamente para entender su rol ecológico y complejidad taxonómica, un ejemplo de ello es el género *Hyalella* Smith, 1874.

En México, se han registrado cuatro especies del género *Hyalella*: *Hyalella azteca* (Saussure, 1858), *Hyalella cenotensis* Marrón-Becerra, Hermoso-Salazar & Solís-Weiss, 2014, *Hyalella maya* Marrón-Becerra, Hermoso-Salazar & Solís-Weiss, 2018 y *Hyalella tepehuana* Marrón-Becerra, Hermoso-Salazar & Rivas, 2020 (González & Watling, 2002; Marrón-Becerra *et al.*, 2014, 2018, 2020). Sin embargo, este género es reconocido como un grupo muy diverso cuyos estudios de distribución y taxonomía en México son escasos, de ahí la importancia de ahondar en su distribución y aspectos taxonómicos para mejorar el conocimiento del género en México. Así, el objetivo de este trabajo es registrar una nueva localidad de *H. azteca* en Morelos, México, pero también describir algunas variaciones morfológicas observadas en machos.

Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Av. Ciudad Universitaria 3000, Coyoacán, Ciudad de México, 04510. México.

*Corresponding author:

Violante-Huerta Marco: e-mail: marco_violante@hotmail.com

To quote as:

Violante-Huerta, M. 2020. Primer registro del anfípodo dulceacuícola *Hyalella azteca* (Amphipoda: Senticaudata) en Cuautla, Morelos, México. *Hidrobiológica* 30 (2): 177-179.

DOI: 10.24275/uam/izt/dcbshidro/2020v30n2/Violante

El material biológico fue recolectado durante una exploración en invierno de 2018 en el Río Cuautla, Morelos, México, cerca de una zona de cultivo de berro. Los anfípodos fueron separados manualmente de las algas filamentosas donde habitaban y preservados en alcohol al 70%. En laboratorio, los anfípodos fueron disectados y montados en láminas semipermanentes con glicerina. Posteriormente, los especímenes se identificaron con literatura especializada (González & Watling, 2002;) utilizando un microscopio óptico. El material fue depositado en la "Colección Nacional de Crustáceos" (CNCR) del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Familia Hyalellidae Bulyčeva, 1957

Hyalella azteca (Saussure, 1858) (Fig. 1)

Material examinado

7 adultos ♂♂, 4.5-7.8 mm; 2 adultos ♀♀, 5.5-7 mm; 24 juveniles ♀♀, 0.7-1.5 mm. 18.827° N, 98.941° W (15 cm de profundidad). CNCR 35714.

Diagnosis

Pleonitos 1-2 con espina en el margen dorsoposterior. Gnatópodo 1 con propodio en forma de martillo, palma transversal, sin setas en el borde anterior, cara interna con 4 setas paposas y escamas setosas en

los bordes anterodistal y posterodistal. Ganotópodo 2 del macho con 2 setas en el margen posterior del basis; palma más corta que el margen posterior, ligeramente oblicua, irregular, margen anterior con un proceso amplio truncado. Urópodo 3 con una rama tan larga como el pedúnculo, estiliforme, con 4 setas apicales simples y 1 cónica. Telson tan ancho como largo, redondo pero agudo en la punta, con dos setas apicales cercanas largas y simples (González & Watling, 2002).

Comentarios

Hyalella azteca ha sido registrada previamente en 13 estados de México (Marrón-Becerra, 2017), sin registro en Morelos previo a este trabajo. González & Watling (2002) enfatizan que el complejo de especies de *H. azteca* necesita un análisis taxonómico más amplio para una determinación inequívoca, ya que la identificación es dudosa en la región y sugieren restringir su área de distribución actual a su localidad tipo en Veracruz, México. En este sentido, es importante reconocer las variaciones morfológicas de la especie en la zona. Los individuos machos recolectados en Morelos son morfológicamente distintos al material de González & Watling (2002), en virtud de algunas estructuras como el lóbulo más grande en el margen posterodistal del propodio del gnatópodo 2 y la distancia mayor entre las setas presentes en la punta del telson (Fig. 1), no tan cercanas como en la redesccripción de *H. azteca*, mientras que la morfología de las hembras es consistente con el material de González & Watling (2002). Estas observaciones no pueden revelar la

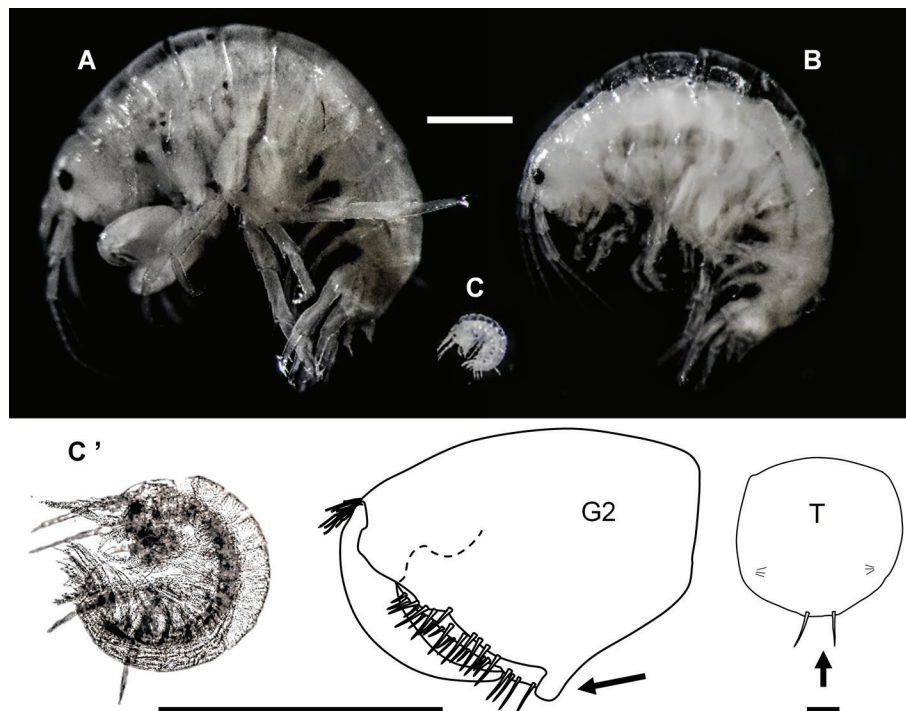


Figura 1. *Hyalella azteca* del Río Cuautla, Morelos, México. **A** hábito del macho, **B** hábito de la hembra, **C-C'** hábito de hembra juvenil, **G2** propodio del gnatópodo 2 mostrando el lóbulo posterior, **T** telson mostrando la mayor distancia entre las setas apicales. Barras de escala 1 mm (A, B, C, C', G2) y 0.1 mm (T).

existencia de una nueva especie o especie provisional, sin un análisis taxonómico y molecular más amplio como lo sugieren González & Watling (2002), Graening *et al.* (2012) y Marrón-Becerra (2017).

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a José L. Villalobos Hiriart por las facilidades para depositar los especímenes en la CNCR; y al CONACYT por la beca otorgada (862851).

REFERENCIAS

- GONZÁLEZ, E. R. & L. WATLING. 2002. Redescription of *Hyaella azteca* from its type locality, Vera Cruz, Mexico (Amphipoda: Hyalellidae). *Journal of Crustacean Biology* 22(1): 173-183. DOI:10.1163/20021975-99990220
- GRAENING, G. O., D.C. ROGERS, J. R. HOLSINGER, C. BARR & R. BOTTORFF. 2012. Checklist of inland aquatic amphipoda (Crustacea: Malacostraca) of California. *Zootaxa* 3544(1): 1-27.
- MARRÓN-BECERRA, A. 2017. Estudio comparativo del complejo *Hyaella azteca* (De Saussure, 1858) en tres estados de México: Ciudad de México, Veracruz y Quintana Roo. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 138 p.
- MARRÓN-BECERRA, A., M. HERMOSO-SALAZAR & V. SOLIS-WEISS. 2014. *Hyaella cenotensis*, a new species of Hyalellidae (Crustacea: Amphipoda) from the Yucatán Peninsula, Mexico. *Zootaxa* 3811(2): 262-270. DOI:10.11646/zootaxa.3811.2.7
- MARRÓN-BECERRA, A., M. HERMOSO-SALAZAR & V. SOLIS-WEISS. 2018. *Hyaella maya*, a new hyalellidae species (Crustacea: Amphipoda) from a cenote in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Cave & Karst Studies* 80(2): 81-91. DOI:10.4311/2017LSC0115
- MARRÓN-BECERRA, A., M. HERMOSO-SALAZAR & G. RIVAS. 2020. A new species of the genus *Hyaella* (Crustacea, Amphipoda) from the northern Mexico. *Zookeys* 942: 1-19. DOI:10.3897/zookeys.942.50399
- ROGERS, D. C., A. P. COVICH & J. H. THORP. 2010. Chapter 18- Introduction to the subphylum Crustacea. In: Thorp J. H. & A. P. Covich (eds.). *Ecology and classification of the North American freshwater invertebrates, third edition*. Academic Press (Elsevier), pp. 695-724.
- VÄINÖLÄ, R., J. D. S. WITT, M. GRABOWSKI, J. H. BRADBURY, K. JAZDZEWSKI & B. SKET. 2008. Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 241-255. DOI:10.1007/s10750-007-9020-6

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

HIDROBIOLÓGICA es una publicación **cuatrimestral** del Departamento de Hidrobiología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAM-I), que difunde trabajos originales e inéditos de investigación sobre temas relacionados con el ambiente acuático. No se aceptarán trabajos previamente publicados en obras con ISSN o ISBN (proceedings, resúmenes en extenso, libros, etc.). Las contribuciones podrán ser en español o en inglés y en ambos casos contendrán un resumen en español y un abstract en inglés.

HIDROBIOLÓGICA publica cuatro tipos de documentos: **artículos, notas científicas, artículos de revisión y monografías taxonómicas**. A criterio del Comité Editorial, se podrán publicar números especiales sobre tópicos o temas específicos. No se aceptarán trabajos preliminares o inconclusos, ni aquellos que pudiendo integrarse como una unidad, sean presentados por separado en forma de pequeñas contribuciones o notas seriadas.

La revista cubre un perfil amplio con las siguientes cuatro áreas generales en la que participen diversos editores asociados:

- 1 Área Morfología, Sistemática y Filogenia
- 2 Área Ambiental
- 3 Área Manejo de Recursos Acuáticos
- 4 Área de Ecología

Los trabajos recibidos serán objeto de arbitraje guiado por miembros del Comité Editorial y por los asesores del Consejo Editorial. En esta evaluación se considerarán:

- 1) Originalidad y rigor científico.
- 2) Contribución al avance en las diversas áreas del conocimiento hidrobiológico.
- 3) Presentación, en lo referente a coherencia, continuidad y consistencia.
- 4) Empleo apropiado de tablas, figuras y fotografías en relación con el texto.

Los manuscritos y figuras que no se ajusten a las siguientes instrucciones serán devueltos sin evaluación a los autores para que procedan a su adecuación.

Todo trabajo recibido por los Editores merecerá un acuse de recibo inmediato. En el caso de contribuciones firmadas por diversos autores, la correspondencia necesaria durante el proceso editorial se establecerá con el primer autor, salvo indicación distinta, indicada en el manuscrito.

Una vez que los manuscritos hayan sido revisados y se haya comprobado que cumplen cabalmente con las normas editoriales, serán introducidos en el sistema OJS (Open Journal System) de Hidrobiológica para iniciar su proceso de evaluación.

Publicar en la revista HIDROBIOLÓGICA tiene un costo de recuperación de \$500 pesos mexicanos por página en blanco y negro

(aproximadamente 27 dólares americanos) y \$1000 pesos por página a color (aproximadamente 54 dólares americanos)

MANUSCRITOS ORIGINALES

Existen varios tipos de publicaciones que pueden ser enviadas:

- a) Artículo científico
- b) Nota científica
- c) Artículo de revisión
- d) Monografía taxonómica

Las contribuciones deberán ser enviadas a través del portal Open Journal System (OJS) de HIDROBIOLÓGICA, enviando además un aviso a las siguientes direcciones de correo electrónico.

Dirección de la revista *Hidrobiológica*: rehb@xanum.uam.mx

Dirección de apoyo a la revista: enlacerevistahidrobiologica@gmail.com

Editora en jefe: rta@xanum.uam.mx

NORMAS EDITORIALES

Los autores deberán ajustar la estructura de su manuscrito dependiendo de la modalidad del trabajo.

Los archivos de texto (manuscrito, pies de figuras, tablas) se enviarán en formato Word y las figuras (fotografías, mapas, composiciones) en formato jpg o tif con buena calidad, mayor o igual a 300 ppp (puntos por pulgada).

FORMATO DE PRESENTACIÓN ARTÍCULO CIENTÍFICO

Los manuscritos se presentarán en **tamaño carta**, escritos a **doble espacio**, sin sangría y utilizando el tipo **Univers condensada** o **Arial 12** puntos en todo el trabajo.

Los **márgenes del texto tendrán 3 cm** de cada lado. Los manuscritos elaborados en procesadores de palabras: Word o formato RTF, **no estarán justificados**, sino alineados a la izquierda y **sin espacio interpárrafo**. La versión final de los manuscritos aceptados deberá acompañarse de la actualización electrónica correspondiente.

Título

Será breve y se presentará tanto en inglés como en español. Sin dejar de ser explícito con respecto al tema de trabajo, no deberá exceder de 20 palabras y deberá estar escrito con mayúsculas y minúsculas. Se

propondrá también un título resumido en el idioma en que esté escrito el manuscrito, no mayor de seis palabras. Ambos se presentarán en una página aparte, en la cual se hará constar también el nombre completo de los autores iniciando con el nombre de pila, indicando claramente la forma en la que aparecerán los créditos y su dirección institucional completa, incluyendo exclusivamente el correo electrónico del autor designado para la correspondencia.

Para citar las direcciones postales seguir el modelo:

(Laboratorio/Área/Departamento), (Facultad/Instituto/Centro), (Universidad, Unidad Académica), (Dirección con calle, número y colonia), (Ciudad, Estado o Provincia), (Código postal), (País)

Para puntuación, seguir el ejemplo:

Laboratorio de Biología Acuática, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Mújica s/n, Ciudad Universitaria, col. Felicitas del Río, Morelia, Michoacán, 58040, México

Resumen

En un sólo párrafo y con una extensión de mínimo 250 a máximo 280 palabras, se escribirá en una página por separado y será acompañado de su traducción al inglés (Abstract). Ambos deben estructurarse utilizando los siguientes rubros; **Antecedentes.**, **Objetivos.**, **Métodos.**, **Resultados.**, **Conclusiones.**

Palabras clave

Los autores propondrán un máximo de cinco palabras clave, tanto en español, como en inglés (Keywords), y deberán estar ordenadas alfabéticamente.

Texto

Dividido en secciones: **INTRODUCCIÓN, MATERIALES Y MÉTODOS, RESULTADOS, DISCUSIÓN, AGRADECIMIENTOS, REFERENCIAS, TABLAS** (con título en la parte superior), **LISTADO DE PIES DE FIGURA, COPIAS DE LAS FIGURAS** en Word ordenadas consecutivamente con su pie de figura en la parte inferior. Los títulos de las secciones se ubicarán en el centro de la página, claramente diferenciados del texto y escritas con mayúsculas y en negritas. Evitar en lo posible el uso de subtítulos y en caso necesario, emplear negritas nuevamente y de forma continua con el texto. Los objetivos y las conclusiones deberán incluirse en la introducción y en la discusión, respectivamente. **En ningún caso se usarán sangrías.**

Las páginas deberán ir debidamente foliadas con números consecutivos y arábigos. Para facilitar el arbitraje y la redacción de los comentarios por parte de los revisores, **se recomienda que los renglones de todo el texto, estén numerados consecutivamente desde el inicio hasta el final del manuscrito.**

En símbolos y unidades se empleará el sistema métrico decimal.

Los nombres latinos de especies biológicas se escribirán en cursivas y cuando se citen por primera vez en el texto, incluirán la autoridad nomenclatural, sin abreviaturas. Para este punto revisar las siguientes ligas:

<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=search>

<http://www.algaebase.org/search/species/>

http://ucjeps.berkeley.edu/cgi-bin/get_bpu_from_number.pl?lookfor=118025118026118027118028

Las citas en el texto que incluyan dos autores deberán incorporar el símbolo & y para las de tres o más autores se usará *et al.*, (en cursivas)

Taxa nuevos

La descripción de taxa nuevos para la ciencia deberán ajustarse a los Códigos Internacionales de Nomenclatura.

Referencias bibliográficas

Los criterios que deberán prevalecer en esta sección serán:

- Orden alfabético del apellido del primer autor
- Citas de trabajos del mismo autor primeramente se organizarán en orden cronológico las que tengan un sólo autor, seguidas por las publicadas con dos autores en orden alfabético de acuerdo al apellido del segundo autor y cronológico si ambos apellidos coinciden.
- La citas mencionadas en el texto con el apellido del primer autor seguido de *et al.* se ordenarán cronológicamente.

Los nombres de los autores deberán escribirse con mayúsculas y minúsculas, nunca exclusivamente con mayúsculas. Las iniciales del primer autor seguirán el apellido. Para los siguientes autores las iniciales antecederán el apellido, en el caso de dos o más iniciales, estas serán separadas por un punto, y un espacio adicional. Los títulos de las revistas no deberán abreviarse y, al igual de los títulos de libros, deberán ser escritos en cursivas. Deberá existir una correspondencia total entre los autores citados en el texto del manuscrito y en las referencias. En caso necesario de citas del mismo autor, publicadas en el mismo año, o del mismo autor en coautoría con dos o más autores (primer apellido seguido de *et al.*), usar siglas (a, b, c) en minúsculas tanto en el texto como en la sección de referencias. En ningún caso usar sangrías.

Un ejemplo de las citas más comunes se presenta a manera de ayuda:

Publicaciones periódicas

Ahmad, V. U. & M. S. Ali. 1991. Pinnatifinone, a new halogenated chami-grene from the red alga *Laurencia pinnatifida* (Lamour). *Scientia Pharmaceutica* 59 (2): 243-246.

Ahmad, V. U., M. S. Ali & S. Bano. 1990a. Marine natural products. XII: lauroil, a new metabolite from the red alga *Laurencia pinnatifida* (Lamour). *Scientia Pharmaceutica* 58 (2): 299-301.

Ahmad, V. U., S. Bano, W. Shaikh, S. Uddin & M. Shameel. 1990b. Isolation and structure determination of 1,1,6,6-tetrachloro, 3,4-diphenyl hexane from brown alga *Dictyota dichotoma*. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 33 (3): 428-430. (Nótese que ésta y la cita anterior deberán ser mencionadas en el texto como Ahmad *et al.*, 1990a y Ahmad *et al.*, 1990b).

Ahmad, V. U., M. S. Ali, S. Bano & M. Shameel. 1991. Pinnatifolide, a new metabolite from red alga *Laurencia pinnatifida* Lamour. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 34 (1): 161-162.

Libros

Lind, O. T. 1985. *Handbook of common methods in limnology*. Kendall-Hunt Publishing Company, Dubuque. 199 p.

Eaton, A. D., L.S. Clesceri & A. E. Greenberg (eds.). 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed. American Public Health Association (APHA). Washington, D. C. Folio variado.

Capítulos de libro

Litter, M. M. & D. S. Litter. 1998. Structure and role of algae in tropical reef communities. *In: Lembi, C. A. & J. R. Waaland (eds.). Algae and human affairs*. Cambridge University Press, pp. 29-56.

Suárez-Morales, E. & M. Elías-Gutiérrez. 1992. Cladóceros (Crustacea: Branchiopoda) de la reserva de la biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo y zonas adyacentes. *In: Navarro, D. & E. Suárez-Morales (eds.). Diversidad biológica en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo. Vol. 2*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Chetumal, pp. 145-161.

Tesis

Ibáñez-Aguirre, A. L. 1995. Algunos aspectos de la dinámica de poblaciones de *Mugil cephalus* (Linneo, 1758) y *M. curema* (Valenciennes, 1836) (Pisces: Mugilidae) en la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. CDMX, México. 216 p.

Otros

CNA (Comisión Nacional del Agua). 2003. *Ley Federal de Derechos Normas Aplicables en materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes 2003*. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Enero 2: 173-191.

Systematics Agenda. 2000. 1994. *Systematics Agenda 2000: Charting the Biosphere*. Technical Report. New York. 34 p.

Las citas a los documentos que se encuentran en la web deben hacerse de la siguiente manera: se mencionarán el autor (o en su caso la organización responsable de la publicación del documento, como por ejemplo FAO, WHO, FDA etc.), la fecha de consulta y el título, seguidos por:

En español: disponible en línea en: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus_vannamei/en (consultado el 19 febrero 2010).

En inglés: Available online at: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus_vannamei/en (downloaded February 19, 2010).

Ejemplos:

FAO (Food and Agriculture Organization). 2004. El estado mundial de la pesca y la acuicultura-2004 (SOFIA). Disponible en línea en: <http://www.fao.org/docrep/007/y5600e/y5600e00.htm> (consultado el 19 febrero 2010).

WHO (World Health Organization). 2004. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd ed. World Health Organization, Geneva. Available online at: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241546123.pdf> (downloaded February 19, 2010).

Cuando se trate de artículos, libros etc. disponibles en las dos maneras, se dará primero la cita completa y posteriormente la página web, de acuerdo al siguiente ejemplo:

SAGARPA-CONAPESCA. 2006. *Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2006*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Comisión Nacional de Pesca. Mazatlán. 219 p. También disponible en la página web (si el escrito es en inglés, usar: also available at:) http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca

Adición del DOI a las Referencias

Los libros y publicaciones periódicas colocados en las referencias bibliográficas que posean DOI (Digital Object Identifier), agregarlo al final de la referencia correspondiente, como se muestra a continuación:

Calor, A. 2009. Considerações Acerca da Filogenia de Trichoptera Kirby 1813: da Análise dos Dados para as Hipóteses ou dos Cenários para os Dados. *Entomobrasilis* 2 (1): 01-10. DOI:10.12741/entomobrasilis.v2i1.24

Tablas

Se presentarán a doble espacio, **orientadas verticalmente (a menos que la tabla contenga varias columnas)**, numeradas consecutivamente con números arábigos, con **un breve título en la parte superior y referidas al texto**. Deberán escribirse con letras y números en tipo Univers condensada o Arial 10 puntos, con mayúsculas y minúsculas; si son necesarias notas aclaratorias, éstas se pondrán en la parte inferior de la figura, con tamaño de fuente 8. **Se evitarán las líneas verticales y horizontales así como el uso de columnas que implique el empleo de tabuladores.**

Figuras

Las figuras deben ser originales, en caso de que algunas de ellas que forman parte del manuscrito hayan sido publicadas previamente, el autor estará obligado a solicitar los permisos correspondientes e indicar la referencia y cita correspondiente de donde son tomadas. En caso de que las figuras se modifiquen, indicarlo con la leyenda "Fig. modificada de (...)".

Además de las figuras incorporadas en el texto en Word, éstas se enviarán en archivos separados en alta resolución, cada uno identificado por el autor y con la numeración correspondiente a la figura. Serán numeradas consecutivamente con números arábigos y referidas al texto en forma secuencial. Las leyendas deberán escribirse con mayúsculas y minúsculas. El tamaño máximo para una figura o grupo de figuras será de 17 cm de longitud y 13 cm de ancho; el mínimo permitido será de 8 X 8 cm. Letras y números tendrán como máximo 10 puntos y como mínimo 8. Las figuras a escala deberán acompañarse de una escala gráfica. Todos los términos, símbolos y abreviaturas serán los empleados en el texto. **Es indispensable que las figuras o dibujos se envíen como archivos TIFF o JPG, con una definición mínima de 300 ppp., por ejemplo: Figura_1_Meave_dinos.jpg**

Fotografías

Sólo las estrictamente indispensables y con buen contraste. Cuando se realicen composiciones se dejará un pequeño espacio entre foto y foto. Las dimensiones máximas y mínimas se apegarán a las mencionadas en el inciso de figuras. Los números y letras no serán mayores de 10 puntos ni menores de 8 puntos. Las fotografías deben ser enviadas por separado y con buena calidad. Se numerarán como figuras en orden consecutivo a su referencia en el texto. **Se aceptarán figuras, o fotografías a color, cuando su uso sea indispensable y su costo será cubierto por los autores al momento de pagar los gastos de publicación.**

FORMATO DE PRESENTACIÓN PARA NOTAS CIENTÍFICAS

Para la elaboración de notas, los autores deberán seguir el formato: **TÍTULO** en el idioma del trabajo, **TÍTULO** traducido al inglés o al español, **AUTORES, INSTITUCIONES DE ADSCRIPCIÓN, RESUMEN, ABSTRACT (resumen en inglés), Palabras clave y Keywords, AGRADECIMIENTOS y REFERENCIAS.** Éstas se apegarán a las normas editoriales de los artículos de investigación, **aunque sin apartados en el cuerpo de la nota.** Se ajustará el texto a un mínimo de cinco cuartillas y un máximo de siete, a doble espacio. Se recomienda la presentación de una sola tabla o figura.

FORMATO DE PRESENTACIÓN PARA ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Este tipo de artículo podrá llevar el mismo formato que los artículos científicos o al menos los encabezados de **INTRODUCCIÓN, DISCUSIÓN y REFERENCIAS,** incluyendo en ellos los subtemas que los autores consideren pertinentes.

La recepción y aceptación final de los artículos de revisión estarán sujetas a la decisión final por parte del Comité Editorial.

FORMATO DE PRESENTACIÓN PARA MONOGRAFÍAS TAXONÓMICAS

Este tipo de artículos podrá tener el mismo formato que los artículos científicos, en la porción de resultados incluirá la descripción de especies. La extensión de estos trabajos podrá ser de hasta 2/3 partes de un volumen (aprox. 60 páginas del formato Word a doble espacio).

Derechos de autor

La aceptación final de un manuscrito para su publicación **implica la cesión de los derechos de autor a la casa editorial de la revista Hidrobiológica, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.**

Pruebas de galera

Las pruebas serán revisadas por los autores y devueltas al Editor en jefe **tres días después de haber sido recibidas.** Si las pruebas no se entregan a tiempo, su contribución se publicará sin las correcciones correspondientes.

Dirección Postal

Departamento de Hidrobiología, DCBS, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco N° 186. Col. Vicentina, Iztapalapa, 09340, Apartado Postal 55-535, Ciudad de México, México. Edificio AS, cubículo 305.

Teléfono: 01 (55) 5804 4600 Ext. 3053. Desde otro país: 52 (55) 5804 4600, Ext. 3053.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

HIDROBIOLÓGICA is a peer-reviewed research journal published every four months by the Departamento de Hidrobiología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAM-I). The journal publishes original papers related to aquatic environments. Data previously published in works with ISSN or ISBN (proceedings, extensive abstracts, books, etc.) will not be accepted. Contributions can be in Spanish or English. In both cases an abstract in Spanish and English must be included.

HIDROBIOLÓGICA publishes four types of documents: **scientific papers, scientific notes, review papers, and taxonomic monographs**. Periodically, the Editorial Board decides to publish special issues on specific topics or themes. Preliminary or unfinished works will not be accepted. Similarly, research presented in serial parts or small contributions are not accepted.

Various associate editors participate with the Journal to cover a wide variety of topics within the following four general areas:

- 1 Morphology, Systematics, and Phylogenics
- 2 Environment
- 3 Aquatic Resources Management
- 4 Ecology

All articles received **will go through a review process guided by a member** of the Editorial Committee or an Editorial Board Advisor. This evaluation will consider:

- 1) Originality and scientific rigor
- 2) Advances in knowledge of the different areas of hydrobiology
- 3) Coherence, continuity, and consistency of presentation
- 4) Appropriate use of tables, figures, and photographs in the text

Manuscripts and figures that do not comply with the following instructions will be returned to the authors without evaluation so that appropriate changes can be made.

All manuscripts received by the Editors will be immediately acknowledged. Correspondence during the editorial process will be directed to the first author unless otherwise indicated in the manuscript.

Once manuscripts have been reviewed and found to comply fully with the editorial instructions, they will be included in the *Hidrobiológica* Open Journal System to begin the evaluation process.

Publishing in *HIDROBIOLÓGICA* has a recovery cost of \$500 Mexican pesos per page in black and white (27 USD, approximately) and \$1000 Mexican pesos per page in color (54 USD, approximately).

ORIGINAL PAPERS

Several types of papers can be submitted:

- a) Scientific article
- b) Scientific note
- c) Review article
- d) Taxonomical monograph

Contributions should be submitted through the portal Open Journal System (OJS) of *HIDROBIOLÓGICA*, also sending a notice to:

Hidrobiológica: reh@xanum.uam.mx

Assistant editor: enlacerevistahidrobiologica@gmail.com

Editor-in-chief: rta@xanum.uam.mx

AUTHOR GUIDELINES

Authors must adjust the structure of their paper to the type of manuscript being submitted.

Text files (manuscript, figure legends, tables) must be presented in Word format, while figures (photographs, maps, compositions) should be in good-quality **JPG** or **TIFF** format, equal or higher than 300 dpi.

SUBMISSION FORMAT FOR A SCIENTIFIC PAPER

All manuscripts must be submitted in **letter format**, single column, **double spaced**, without tabs, in **Universe Condensed** or **Arial 12** font.

Texts will have **3 cm margins on each side**. Manuscripts written in Word or RTF word processors **should not be justified**, but rather aligned to the left with **no space between paragraphs**. The final version of accepted manuscripts must be accompanied by relevant electronic updates.

Title

The title should be concise, no longer than 20 words, and indicative of the nature of the paper. It must be written in English and Spanish in capital and lower-case letters. A short title of up to six words should also be provided in the same language as the rest of the manuscript. Both titles must be submitted on a separate sheet that includes authors' names. These should include the last name and one first name of each author spelt in full, clearly indicating the order in which credits must appear and their institutional address, including the email of the corresponding author.

For postal addresses, follow the pattern:

(Laboratory/Area/Department), (Faculty/Institute/Center), (University/Campus), (Address with street and number), (City, State or Province), (ZIP Code), (Country)

For punctuation, follow the example:

Laboratorio de Biología Acuática, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Mújica s/n, Ciudad Universitaria, col. Felicitas del Río, Morelia, Michoacán, 58040, México

Abstract

We require a one-paragraph abstract in English and a one-paragraph "resumen" in Spanish, each with a **maximum length of 250 words**. Both must be submitted on a separate sheet. **Background., Goals., Methods., Results., Conclusions.**

Keywords

Appropriate **keywords** (4-5) should be provided in English and Spanish in alphabetical order.

Main text

The following sections must be included in a bold center title: **INTRODUCTION**. This should state the investigated problem, the aim of the work, and previous relevant work with appropriate references. The **MATERIALS AND METHODS** used should be stated clearly in sufficient detail to permit others to repeat the research, if so desired. **RESULTS** should be presented concisely, with tables or illustrations for clarity. **DISCUSSION** should cover the significance of the findings without repetition of material in the Introduction and Results sections. This section must contain the conclusions of the work, **ACKNOWLEDGEMENTS**, and **REFERENCES**. It is very important that references be checked carefully. Subheadings should be avoided but if necessary they must be in bold and continuously written within the paragraph.

Pages should be numbered consecutively with Arabic numerals. **Please number all lines in the manuscript consecutively** in order to facilitate the review process by allowing reviewers to pinpoint specific references more easily.

The decimal metric system should be used for symbols and units.

Latin names of **biological species should be written in italics**. The first mention of a species in the text should include the **nomenclature authors without abbreviation**. In the case of **animal species, the year of publication of the description** should be indicated.

References in the text that include two authors should incorporate the ampersand (&) symbol, whereas three or more authors should include *et al.* (in italics).

New taxa

Description should follow the international code of nomenclature.

References

References should adhere to the following guidelines:

- In alphabetical order by the first author's last name.
- Citations of works by the same author in chronological order, then those published by two authors in the same order (alphabetically by the second author's last name and chronologically in case of coincidence).
- References in the text with **et al.** should be ordered chronologically.

Authors' names should be written in capital and lower-case letters, not in capital letters exclusively. Initials of the first author will follow the last name. For additional authors, initials will precede the last name. In the case of two or more initials these should be separated by a period and a space. **Journal titles should not be abbreviated. Book and journal titles should be in italics.** The total number of cited authors in the text should coincide with the total number of references. Citations of the same author, published in the same year, or with the same co-authors (last name followed by *et al.*), should use the small letters (a, b, c) within the text and in the reference section. Never use indentations.

Examples of the most common citations are presented below:

Periodical publishing

Ahmad, V. U. & M. S. Ali. 1991. Pinnatifinone, a new halogenated chami-grene from the red alga *Laurencia pinnatifida* (Lamour). *Scientia Pharmaceutica* 59 (2): 243-246.

Ahmad, V. U., M. S. Ali & S. Bano. **1990a**. Marine natural products. XII: lauroil, a new Metabolite from the red alga *Laurencia pinnatifida* (Lamour). *Scientia Pharmaceutica* 58 (2): 299-301.

Ahmad, V. U., S. Bano, W. Shaikh, S. Uddin & M. Shameel. **1990b**. Isolation and structure determination of 1,1,6,6-tetrachloro, 3,4-diphenyl hexane from brown alga *Dictyota dichotoma*. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 33 (3): 428-430. (Please note that this citation and the one before, should be mentioned in the text as Ahmad *et al.* 1990a and Ahmad *et al.* 1990b).

Ahmad, V. U., M. S. Ali, S. Bano & M. Shameel. 1991. Pinnatifolide, a new metabolite from red alga *Laurencia pinnatifida* Lamour. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 34 (1): 161-162. 4

Books

Lind, O. T. 1985. *Handbook of common methods in limnology*. Ken-dall-Hunt Publishing Company, Dubuque. 199 p.

Eaton, A. D., L. S. Clesceri & A. E. Greenberg (eds.). 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed. American Public Health Association (APHA). Maryland. Varied folio.

Book chapter

Litter, M. M. & D. S. Litter. 1998. Structure and role of algae in tropical reef communities. *In: Lembi, C. A. & J. R. Waaland (eds.). Algae and human affairs*. Cambridge University Press, pp. 29-56.

Suárez-Morales, E. & M. Elías-Gutiérrez. 1992. Cladóceros (Crustacea: Branchiopoda) de la reserva de la biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo y zonas adyacentes. *In: Navarro, D. y E. Suárez-Morales (eds.). Diversidad biológica en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo. Vol. 2.* Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Chetumal, pp. 145-161.

Thesis

Ibáñez-Aguirre, A. L. 1995. Algunos aspectos de la dinámica de poblaciones de *Mugil cephalus* (Linneo, 1758) y *M. curema* (Valenciennes, 1836) (Pisces: Mugilidae) en la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. CDMX, México. 216 p.

Others

CNA (Comisión Nacional del Agua). 2003. *Ley Federal de Derechos Normas Aplicables en materia de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes 2003.* Diario Oficial de la Federación. CDMX, México. Enero 2: 173-191.

Systematics Agenda 2000. 1994. *Systematics Agenda 2000: Charting the Biosphere.* Technical Report. New York. 34 p.

Online citations

References to online-only journals and books should include the author (or the responsible agency, i.e., FAO, FDA, WHO, etc.), title, website, and date of access, followed by:

In Spanish: Disponible en línea: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus_vannamei/en (consultado el 19 febrero 2010).

In English: Available online at: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus_vannamei/en (downloaded February 19, 2010).

Examples:

FAO. 2004. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2004 (SOFIA). Available on line at: <http://www.fao.org/docrep/007/y5600e/y5600e00.htm> (downloaded february 19, 2010).

WHO. 2004. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd ed. World Health Organization, Geneva. Available online at: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241546123.pdf> (downloaded February 19, 2010).

Citations available in both printed and online sources should be cited as follows: First with a complete citation and then the website address, as in the following example:

SAGARPA-CONAPESCA. 2006. *Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2006.* Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Comisión Nacional de Pesca. Mazatlán. 219 p. Also available at: http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca

Addition of DOI to References

The references of books and articles that have DOI (digital object identifier), it must be added at the end, as shown below:

Calor, A. 2009. Considerações About da Filogenia de Trichoptera Kirby 1813: da Análise dos Dados for Hipóteses ace or dos Cenários for Dados. *Entomobrasilis* 2 (1): 01-10. DOI:10.12741 / ebrasilis.v2i1.24

Tabular material

Tabular material must be clearly set out with the number of columns in each table kept to a minimum and **vertically oriented** using double spacing **without tabs**, Universe Condensed or Arial 10 font. Tables, numbered consecutively with Arabic numerals, must be typed on separate sheets, leaving sufficient space around the copy for printer's instructions. Tables must have **concise headings at the top** that enable comprehension without reference to the main text. Please ensure that the data in columns are consistent in the number of significant figures. Footnotes should be kept to a minimum and indicated by asterisks and daggers (*, †) at the bottom of the table with type 8. **Vertical and horizontal lines should be avoided.**

Figures

Figures should be originals. If you intend to use previously published figures, you must obtain written permission and indicate the reference and citation of their original appearance. If the figure was changed, indicate this with the legend "Figure modified by (...).

In addition to the figures included in the Word file, each one should be **sent as a separate high-resolution file**. Number illustrations with Arabic numerals consecutively, in order of appearance in the text. Legends should be written in capital and lower-case letters. **Maximum size** of a figure or group of figures will be **17 cm length and 13 cm width** with a minimum size of 8X8 cm. Numbers and letters in the figure must be 10 points maximum and 8 points minimum. **Figures with scale must be accompanied with a graph scale.** Terms, symbols, and abbreviations will be the same as in the text. **Suitable file types include Joint Photographic Experts Group (JPEG), Tagged Image File Format (TIFF) with a minimum resolution of 300 dpi. Example: Figure_1_Meave_dinos.jpg**

Photographs

Keep photographs to a minimum. They should be of good quality and well contrasted. Number photographs with Arabic numerals consecutively, in order of appearance in the text. When using compositions, leave a small space between each photo. Photographs should follow the same size instructions as figures. Photographs should be placed in separate files.

The Journal will accept color figures and photographs only when essential to the paper. Authors must cover the additional production costs of color printing.

SUBMISSION FORMAT FOR SCIENTIFIC NOTES

The format of a Scientific Note is as follows: **TITLE (in Spanish and English), AUTHORS, INSTITUTIONS, ABSTRACT** (with keywords in alphabetic order), **RESUMEN** (abstract in Spanish with keywords (“palabras clave”) in alphabetic order), **ACKNOWLEDGEMENTS**, and **REFERENCES**. The same format as a scientific paper should apply, but without **separate sections in the body of the note**. The minimum and maximum total manuscript length is 5-7 letter-sized, double-spaced pages. Please refrain from including more than one table or figure.

SUBMISSION FORMAT FOR A REVIEW PAPER

Review papers will have the same format as original manuscripts with at least the **INTRODUCTION, DISCUSSION**, and **REFERENCES** headings, and any headings and subheadings that authors consider pertinent.

Reception and final acceptance of review papers will be decided by the Editorial Board.

Publishing in Hidrobiológica implies that all authors agree to transfer the article's copyright to the Editorial Board of Hidrobiológica Journal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Monographs should have the same format as a scientific paper. The results section should include a description of the species. The length of a monograph can be up to two-thirds of a volume (60 double spaced Word pages).

Copyright

Final acceptance of a manuscript for publication implies **the transfer of all rights to the Editorial Board of Hidrobiológica, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.**

Proofs

Author's proofs will be emailed to the corresponding author. Proofs must be corrected and returned to the Associate Editor **within 72 hours after receipt**; failure to do so will result in publication without corrections.

Postal address

Departamento de Hidrobiología, DCBS, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco No. 186. Col. Vicentina, Iztapalapa, 09340, Apartado Postal 55-535, Ciudad de México, México. Edificio AS, cubicle 305.

Telephone: +52 55-5804 4600, Ext. 3053.

HIDROBIOLÓGICA

Revista del Departamento de Hidrobiología

VOLUMEN 30

Número 2

2020

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 *Hyalella azteca* (Amphipoda: Senticaudata) en Cuautla, Morelos, México 177-179

Instrucciones para autores 181-184

Instructions for authors 185-188
