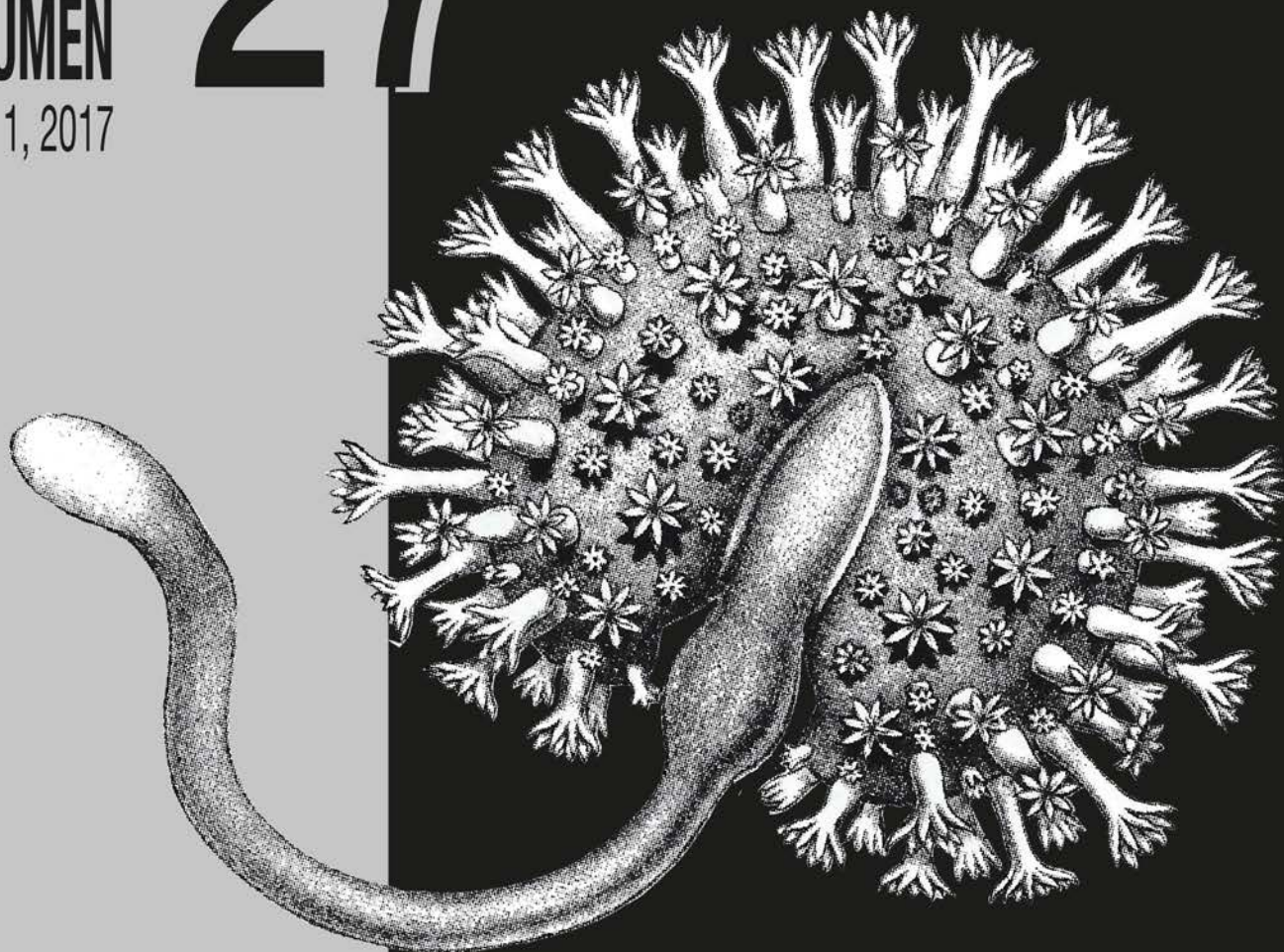


HIDROBIOLÓGICA

27

VOLUMEN

Número 1, 2017



UAM
Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa



HIDROBIOLÓGICA

Revista del Departamento de Hidrobiología

VOLUMEN 27

Número 1

2017

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 Índice 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. 27 No. 1, Enero-Abril 2017, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Iztapalapa, División Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Hidrobiología. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Tlalpan, C. P. 14387, Ciudad de México, México, y Av. San Rafael Atlixco No. 186, Colonia Vicentina, Iztapalapa, C. P. 09340, Ciudad de México, México, Tel. 5804-4600 ext. 3053. Página electrónica de la revista: <http://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/login> y dirección electrónica rehb@xanum.uam.mx. Editor Responsable: Ma. Esther Angélica Meave del Castillo. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2001-051112590500-102.

ISSN: 0188-8897. Ambos otorgados por el Instituto Nacional de derechos de Autor. Certificado de Licitud de Título número 6574 y Certificado de Licitud de Contenido número 5100, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por DocuMaster, Av. Coyoacán 1450, Col. Del Valle, Benito Juárez, C.P. 03220. Este número se terminó de imprimir en Ciudad de México, México el 1 de abril de 2017, con un tiraje de 300 ejemplares.

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

Editor en Jefe: Dra. Ma. Esther Angélica Meave del Castillo

Responsable de la edición del número

Área de Ficología Comparada

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud.
Universidad Autónoma Metropolitana, Plantel Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

EDITORES ASOCIADOS Y ÁRBITROS DEL NÚMERO ESPECIAL

ÁREA SISTEMÁTICA, MORFOLOGÍA Y FILOGENIA

Dra. Jhoana Díaz Larrea

Área de Ficología Comparada

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

Dr. Mario Adolfo Espejo Serna

Área de Botánica Estructural y Sistemática Vegetal

Dpto. de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza

Área de Ecología Acuática y Algas

Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Querétaro, México

Dr. Jorge Cortés Núñez

Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR)

Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica.

Dr. José De La Cruz Agüero

Colección Ictiológica del CICIMAR-IPN

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR)
Instituto Politécnico Nacional (IPN)
La Paz, B.C.S. México

Dra. Patricia Guiamet

Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas
(INIFTA)

Dpto. de Química
Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
La Plata, Argentina.

Dr. Arturo Tripp Quezada

Área de Ecología y Cultivo de Moluscos

Dpto. de Pesquerías y Biología Marina
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR)
Instituto Politécnico Nacional (IPN)
La Paz, B.C.S. México

Dr. Juan Violante González

Unidad Académica de Ecología Marina

Dpto. Ciencias de Desarrollo Regional
Universidad Autónoma de Guerrero
Guerrero, México.

ÁREA MANEJO DE RECURSOS ACUÁTICOS

Dra. Irene de los Ángeles Barriga Sosa

Área de Manejo Integral de Recursos Acuáticos

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

Dra. Ana Laura Ibáñez Aguirre

Área de Producción Acuática

Dpto. de División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

Dra. Alda Rocío Ortiz Muñiz

Área de Biología Celular

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

Dr. Rogelio Aguilar Aguilar

Dpto. de Biología Comparada

Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
CDMX, México.

ÁREA AMBIENTAL

Dra. Guadalupe Barrera Escorcía

Área de Manejo Integral de Recursos Acuáticos

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

Dra. Flor de Ma. Cuervo López

Área de Microbiología

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

Dra. María Teresa Núñez Cardona

Área Estructura y Funcionamiento de los Recursos Naturales
Renovables

Dpto. de el Hombre y su Ambiente, División de Ciencias Biológicas y
de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAMX)
CDMX, México.

Dr. Antonio Márquez García

Área de Geología y Limnología

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

Dra. Patricia Ramírez Romero

Área de Manejo Integral de Recursos Acuáticos

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX, México.

ÁREA ECOLOGÍA

Dr. Derik Castillo Guajardo

Área Biología de la Conservación

Dpto. de Ciencias Ambientales
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma (UAML)
Lerma de Villada, Edo. de México, México.

Dra. Margarita Elizabeth Gallegos Martínez
Área de Ecosistemas Costeros
Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)
CDMX. México.

Dra. Claudia Maricusa Agraz Hernández
Área de Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México
Dpto. de Ecología
Universidad Autónoma de Campeche
Campeche, México.

Dr. Everardo Barba Macías
Área de manejo sustentable de cuencas y zonas costeras
Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad
El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)
Unidad Villahermosa
Tabasco, México.

Dra. Eugenia López López
Laboratorio de Ictiología y Limnología
Dpto. de Zoología
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
Instituto Politécnico Nacional (IPN)
CDMX, México.

Dr. Roberto Eduardo Mendoza Alfaro
Área de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Nuevo León
Nuevo León, México.

Dra. Rosaluz Tavera Sierra
Área de Ecología de algas de agua dulce
Departamento de Ecología y Recursos Naturales
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
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. Brian E. Hartwick**
Simon Fraser University
Vancouver, Canadá.
- Dr. Antonio Lot Helgueras**
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
CDMX, México.
- Dr. Jordi Lleonart Aliberas**
Institut de Ciències del Mar
Barcelona, España.
- Dr. Fabio Massa**
Experto FAO
Roma, Italia.
- Dr. Alejandro Toledo Ocampo**
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
CDMX, México.
- Dr. José Vinicio Macías Zamora**
Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, México.
- Dra. Marisa Mazari Hiriart**
Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
CDMX, México.
- Dr. Juan José Morrone Lupi**
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
CDMX, México.
- Dr. Federico Páez Osuna**
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Mazatlán, México.
- Dra. Gabriela Parra Olea**
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
CDMX, México.
- Dra. Dolores Planas**
Département des Sciences Biologiques
Université du Québec à Montréal
Québec, Canadá.
- Dr. Víctor H. Rivera Monroy**
Department of Oceanography and Coastal Sciences
Louisiana State University
Louisiana, USA.
- Dr. Gilbert T. Rowe**
Texas A&M University
Texas, USA.
- Dr. Michael J. Smith**
Simon Fraser University
Vancouver, Canadá.
- Dra. Mutue Toyota Fujii**
Instituto de Botânica São Paulo
São Paulo, Brasil.
- Dr. Martin F. Wojciechowski**
Arizona State University
Arizona, USA.
- Dr. Giuseppe C. Zuccarello**
Victoria University of Wellington
Wellington, Nueva Zelanda.

HIDROBIOLÓGICA

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

ÍNDICE AL VOLUMEN 27, NÚMERO 1 • 2017

Sánchez-Serrano S. y J. Cáceres-Martínez

Primer registro helmintológico de la sardina monterrey *Sardinops sagax* en Baja California, México, durante dos estaciones del año.....1-11

Wurl J., C. N. Martínez García y M. Á. Imaz Lamadrid

Respuesta hidrológica al cambio climático en regiones áridas: caso de estudio en los Comondú, Baja California Sur, México.....13-22

López-Fuerte F. O., D. A. Siqueiros-Beltrones, L. Veleva y D. A. Huerta-Quintanilla

Composición de especies y estructura de asociaciones de diatomeas incrustantes sobre fibra de vidrio en costas de Yucatán, México.....23-37

Hernández-Olascoaga A., L. D. Olivera-Gómez y B. Morales-Vela

Helmintos parásitos en heces de manatí Antillano *Trichechus manatus manatus* (Sirenia: Trichechidae) en México: Golfo de México y Caribe.....39-44

Godínez-Ortega J. L., M. G. Oliva-Martínez, M. A. Escobar-Oliva y B. Mendoza-Garfias

Diversidad algal del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México, excepto diatomeas.....45-58

Trinidad-Ocaña C., J. F. Miranda-Vidal, J. Juárez-Flores y E. Barba-Macías

Distribución y densidad de moluscos invasores de la familia Thiaridae en diferentes ambientes dulceacuícolas de Tabasco, México.....59-68

López-Rojas V. I., R. Flores-Garza, P. Flores-Rodríguez, C. Torreblanca-Ramírez y S. García-Ibáñez

La clase Bivalvia en sitios rocosos de las Regiones Marinas Prioritarias en Guerrero, México: riqueza de especies, abundancia y distribución.....69-86

Guerrero-Jiménez G., R. Rico-Martínez y M. Silva-Briano

Monitoreo de una planta tratadora de aguas residuales mediante pruebas de toxicidad aguda con el cladóceros *Daphnia magna* y el rotífero de agua dulce *Lecane quadridentata*.....87-92

Cony N. L., N. C. Ferrer y E. J. Cáceres

Dinámica de la comunidad fitoplanctónica de un humedal pampeano argentino en relación con variables ambientales del agua.....93-102

Rivera-Hernández J. R. , C. Green-Ruiz, L. Pelling-Salazar y A. Trejo-Alduenda

Hidroquímica del acuífero costero del Río Mocorito, Sinaloa, México: evaluación de la calidad del agua para consumo humano y agricultura.....103-113

NOTAS

Fuentealba-Jara C., G. D'Elia, F. González y C. Franco-Jaccard

Reconstrucción filogenética de Sphaeriidae (Veneroida: Bivalvia) y la posición filogenética de *Pisidium chilense*..... 115-117

Siqueiros Beltrones D. A., J. M. Murillo Jiménez y R. E. García Gómez

Observaciones recientes que apoyan la hipótesis sobre la colonización de plataformas trombolíticas por mangles 119-121

Morales-Azpeitia R., J. López-Martínez y J. E. Valdez-Holguín

Nuevo registro batimétrico para el pez carbonero cabezón *Laemonema verecundum* (Gadiformes: Moridae) en el Golfo de California, México 123-126

Jakes-Cota U., A. Tripp-Valdez y F. O. López-Fuerte

Relación longitud-peso y factor de condición relativo del pez escorpión roquero *Scorpaena mystes* en la parte central del Golfo de California, México 127-129

Reyes-Bonilla H., A. López-Pérez, D. A. Paz-García, G. Parra-Madrado, P. Medina-Rosas y E. F. Balart

Distribución del coral arrecifal *Pocillopora inflata* (Scleractinia) en el Pacífico Mexicano y comentarios sobre su situación taxonómica 131-135

Instrucciones para autores..... 137-140

HIDROBIOLÓGICA

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

VOLUME INDEX 27, NUMBER 1 • 2017

Sánchez-Serrano S. and J. Cáceres-Martínez

First helminthological record of the Monterey sardine *Sardinops sagax* from Baja California, Mexico, gathered during two seasons.....1-11

Wurl J., C. N. Martínez García and M. Á. Imaz Lamadrid

Hydrologic response to climate change in arid regions: Case study in los Comondú, Baja California Sur, Mexico 13-22

López-Fuerte F. O., D. A. Siqueiros-Beltrones, L. Veleza and D. A. Huerta-Quintanilla

Species composition and assemblage structure of microfouling diatoms growing on fiberglass plates off the coast of Yucatán, Mexico.....23-37

Hernández-Olascoaga A., L. D. Olivera-Gómez and B. Morales-Vela

Helminth parasites in feces of Antillean manatees *Trichechus manatus manatus* (Sirenia:Trichechidae) in Mexico: Gulf of Mexico and Caribbean39-44

Godínez-Ortega J. L., M. G. Oliva-Martínez, M. A. Escobar-Oliva and B. Mendoza-Garfias

Algal diversity of Zempoala Lagoons National Park, Mexico, except diatoms45-58

Trinidad-Ocaña C., J. F. Miranda-Vidal, J. Juárez-Flores and E. Barba-Macías

Distribution and density of invasive mollusks of the Thiaridae family in freshwater environments of Tabasco, Mexico.....59-68

López-Rojas V. I., R. Flores-Garza, P. Flores-Rodríguez, C. Torreblanca-Ramírez and S. García-Ibáñez

The Bivalvia Class of rocky sites in priority marine regions of Guerrero, Mexico: species richness, abundance, and distribution.....69-86

Guerrero-Jiménez G., R. Rico-Martínez and M. Silva-Briano

Monitoring of a water treatment plant using acute toxicity tests with the cladoceran *Daphnia magna* and the freshwater rotifer *Lecane quadridentata*.....87-92

Cony N. L., N. C. Ferrer and E. J. Cáceres

Dynamics of the phytoplankton community of an Argentine Pampean wetland in relation to water environmental variables93-102

Rivera-Hernández J. R. , C. Green-Ruiz, L. Pelling-Salazar and A. Trejo-Alduenda

Hydrochemistry of the Mocorito river coastal aquifer, Sinaloa, Mexico: water quality assessment for human consumption and agriculture suitability.....103-113

NOTES

Fuentealba-Jara C., G. D'Elia, F. González and C. Franco-Jaccard

Phylogenetic reconstruction of Sphaeriidae (Veneroida: Bivalvia) and phylogenetic position of *Pisidium chilense*.....115-117

Siqueiros Beltrones D. A., J. M. Murillo Jiménez and R. E. García Gómez

Recent observations supporting the hypothesis of the colonization of thrombolite platforms by mangroves ...119-121

Morales-Azpeitia R., J. López-Martínez and J. E. Valdez-Holguín

New bathymetric record for the fish bighead mora, *Laemonema verecundum* (Gadiformes: Moridae) in the Gulf of California, Mexico123-126

Jakes-Cota U., A. Tripp-Valdez and F. O. López-Fuerte

Length-weight relationship and relative condition factor of the Stone Scorpionfish *Scorpaena mystes* in the central area of the Gulf of California, Mexico127-129

Reyes-Bonilla H., A. López-Pérez, D. A. Paz-García, G. Parra-Madrado, P. Medina-Rosas and E. F. Balart

Distribution of the reef coral *Pocillopora inflata* (Scleractinia) in the Mexican Pacific and comments about its taxonomic status131-135

Instructions for authors141-144

EDITORIAL

Con este número, **Hidrobiológica**, Revista del Departamento de Hidrobiología, festeja 25 años de existencia (1991-2016). Muchos escritores científicos, de diversas instituciones y países, han aportado resultados e interpretaciones, grupales o personales, en las páginas de esta revista. Una revista que ha tenido diferentes enfoques, tendencias y criterios, para tratar de mantenerla como la mejor revista en su tipo en México y Latinoamérica. Cada uno de los seis Editores en Jefe, que la han dirigido, han dejado una marca personal y todo su empeño en esta tarea. Algunos de los resultados son, en la parte estructural: la existencia de un comité editorial amplio, diverso, interinstitucional y mundial; Editores Asociados *ad hoc* de acuerdo a la naturaleza del número a publicarse; una amplia cartera de revisores a nivel internacional, unas instrucciones para los autores amplias, explícitas y bilingües, y algo muy destacado, la participación de Sociedades Científicas con aportaciones temáticas puntuales. En cuanto al contenido, contribuciones que de acuerdo al panorama de impacto y cobertura, se publican en idiomas diferentes al español, como el inglés o el portugués, siempre con un resumen en español o inglés. Éste y como lo marcan las tendencias actuales, subdividido en los rubros antecedentes, objetivos, métodos, resultado y conclusiones. Tablas y figuras editadas con cuidado y de mucho mejor calidad que con anterioridad, incluso y con tendencia mayor, la inclusión de imágenes a color. Un trabajo de corrección de estilo bilingüe también, completa el arduo trabajo editorial.

La inclusión de **Hidrobiológica** en índices de reconocimiento internacional, la han posicionado como un espacio atractivo de lectura y publicación para la comunidad hídrica del mundo, tanto a nivel disciplinar como interdisciplinar. Ejemplo de ello es el contenido del presente número, en el cual se han reunido diez artículos y cinco notas científicas. Cincuenta y dos investigadores, autores-escritores de diecisiete instituciones participan en este volumen histórico. En el ámbito disciplinar, destacan los temas: filogenia, taxonomía, diversidad y distribución, relación huésped-hospedero, colonización y estudios merísticos entre otros, y en diferentes objetos de estudio como: peces, corales, rotíferos, cladóceros, helmintos, sardinas, manatí, bivalvos, macroalgas, fitoplancton, diatomeas y manglares, por supuesto no he citado a estos en ningún orden taxonómico o filogenético. Los ambientes cubiertos por los temas u organismos, son los comunes: marino, dulceacuícola e incluso pantanos.

En términos espaciales, diversas regiones y países son la ubicación de los estudios antes mencionados. Desde grandes áreas como el Pacífico mexicano, Golfo de California y Golfo de México y Caribe, así como estados de la República Mexicana, entre ellos: Aguascalientes, Baja California, Guerrero, Morelos, Sinaloa, Tabasco y Yucatán. Además de México tenemos a Argentina y a Chile como visitantes en nuestro espacio editorial.

En términos del trabajo que enfrenta problemas, en áreas de conocimiento muy diferentes, y aunque incipientes, hay tres temas con un carácter interdisciplinar: el comportamiento hidrológico ante el cambio climático, toxicología en el tratamiento de aguas y la importancia de trabajar integralmente en regiones marinas prioritarias.

Todos los que hemos sido, de una manera u otra, en un momento o en otro, partícipes de este proyecto, debemos de sentirnos orgullosos de que **Hidrobiológica** se mantenga en el escenario editorial académico. **Hidrobiológica** se ha ido forjando su propio camino y por ende, deberá sostener el ritmo y camino hacia la excelencia, compitiendo en el mercado nacional y global. Algunas de las iniciativas ya iniciadas por los editores, como mencionaba al inicio de este editorial, se ven complementadas con el proyecto de la actual administración, de sumarse al uso de JATS (Journal Article Tag Suite) por sus siglas en inglés, en lo referente a los contenidos digitales, que provee de un conjunto de elementos y atributos XML, para describir el contenido gráfico y de texto de cada una de las contribuciones. Éste, conjuntamente con el identificador digital de objeto (DOI) harán que la información, los autores y las instituciones tengan una cobertura importantísima en este siglo XXI, llegando a millones de lectores potenciales en todos los rincones del mundo.

Hidrobiológica se ha caracterizado, desde sus orígenes, por no cobrar el uso de las versiones PDF de sus artículos. Ahora y con esta misma filosofía, deberá también probar el llamado **Open Access** que garantiza un acceso, a través de la red, global, abierto y sin restricciones económicas, técnicas o administrativas. En él, los autores y el público verán, con rapidez, la difusión de sus contribuciones y el impacto que ellas pueden tener. Esto sin efecto negativo en la calidad del contenido de la revista.

Finalmente, una mención especial merece la actual Editora en Jefe, la Dra. María Esther Meave del Castillo y su cuerpo editorial; así como todos aquellos revisores anónimos, quienes con su trabajo comprometido, mantienen el avance y calidad de esta publicación. Gracias a todos los académicos que han participado en esta realidad de revista científica. Su compromiso, entrega y ética profesional, a costa del limitado reconocimiento institucional, y de los problemas financieros y administrativos en nuestra Universidad, ha sido ejemplar.

¡Felicidades y que sean otros 100 años!

Francisco F. Pedroche

Primer registro helmintológico de la sardina monterrey *Sardinops sagax* en Baja California, México, durante dos estaciones del año

First helminthological record of the Monterey sardine *Sardinops sagax* from Baja California, Mexico, gathered during two seasons

Samuel Sánchez-Serrano y Jorge Cáceres-Martínez

Departamento de Acuicultura, División de Oceanología, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas, Ensenada, Baja California, 22800. México
e-mail: jcaceres@cicese.mx

Recibido: 18 de agosto de 2015.

Aceptado: 11 de agosto de 2016.

Sánchez-Serrano S. y J. Cáceres-Martínez. 2017. Primer registro helmintológico de la sardina monterrey *Sardinops sagax* en Baja California, México, durante dos estaciones del año. *Hidrobiológica* 27 (1): 1-11.

RESUMEN

Antecedentes: La sardina monterrey *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) representa uno de los recursos pesqueros más importantes del país. Los hábitos alimentarios de la sardina (filtro-alimentador) hacen que sea un hospedero adecuado para diferentes helmintos parásitos. **Objetivos.** El propósito de esta investigación fue determinar la carga helmintológica de la sardina monterrey *S. sagax* de las costas de Baja California. **Métodos.** Se analizaron muestras de *S. sagax* desembarcadas por la flota sardinera del puerto El Sauzal, en Ensenada, Baja California, durante dos temporadas: invierno-primavera y verano-otoño. **Resultados.** Se encontraron tres especies de trematodos: *Miosaccium ecaude*, *Parahemiurus merus* (= *P. noblei*) y *Bucephalus* sp.; dos especies de nematodos: *Anisakis* sp. y *Hysterothylacium* sp., así como cestodos pertenecientes a la familia Tetraphyllidae. Durante las dos temporadas de muestreo la prevalencia más alta correspondió a los trematodos (100%). La prevalencia e intensidad de la carga helmintológica fue mayor en la temporada de invierno-primavera. **Conclusiones.** Las metacercarias del trematodo *Bucephalus* sp. representan un riesgo potencial de parasitosis para los atunes, mientras que los nematodos *Anisakis* sp. e *Hysterothylacium* sp., además de transmitirse al atún, pueden provocar zoonosis. Estos hallazgos constituyen la primera información parasitológica de la sardina monterrey en México y el primer registro de *Bucephalus* sp. en *S. sagax*. La información obtenida conforma la línea base para estudios patológicos y epidemiológicos sobre esta especie de importancia comercial, ya que es crucial para la industria pesquera y acuícola.

Palabras clave: Baja California, helmintos, sardina monterrey, *Sardinops sagax*.

ABSTRACT

Background. The Monterey sardine *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842), is one of Mexico's most valuable fishing resources. The feeding habits of this sardine (filter feeder) make it an adequate host for different helminthic parasites. **Goals.** To determine the helminthological load of the Monterey sardine, *S. sagax*, in the coastal waters of Baja California. **Methods.** Samples of *S. sagax* landed by the sardine fleet stationed at Puerto del Sauzal, Ensenada, Baja California, were analyzed during the winter-spring and summer-fall. **Results.** We found three species of trematodes: *Miosaccium ecaude*, *Parahemiurus merus* (= *P. noblei*), and *Bucephalus* sp.; two species of nematodes: *Anisakis* sp. and *Hysterothylacium* sp.; and cestodes belonging to the Tetraphyllidae family. During the two sampling seasons, trematodes had the highest prevalence (100%). The prevalence and intensity of the helminthological load was higher in the winter-spring season. **Conclusions.** Of the parasites found, the metacercariae of the *Bucephalus* sp. trematode are a potential parasitic risk to tuna, while the *Anisakis* sp. and *Hysterothylacium* sp. nematodes are also transmitted to tuna and can cause zoonosis. These findings are the first parasitological information of the Monterey sardine in Mexico and the first record of *Bucephalus* sp. in *S. sagax*. This information provides a baseline for further pathological and epidemiological studies of this species of commercial importance and is crucial for the fishing and aquaculture industry.

Key words: Baja California, helminthes, Monterey sardine, *Sardinops sagax*.

INTRODUCCIÓN

La sardina monterrey *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842), que habita en las aguas templadas del Pacífico mexicano, representa uno de los recursos pesqueros más importantes del país en peso desembarcado. En el 2013 se capturaron 727,816 t que fueron destinadas para el consumohumano directo e indirecto; Baja California contribuyó con 57,515 t (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, 2013). Además del consumo humano directo y de su utilización en la elaboración de harina de pescado, la sardina fresca y congelada se ha empleado como alimento para atunes en cultivo, práctica que se ha intensificado a la par del incremento del número de ranchos atuneros en Baja California, por la enorme demanda de alimento fresco que requiere el cultivo de atún (Meza-Gutiérrez, 2002).

Los hábitos alimentarios de la sardina (filtro-alimentador) hacen que sea un hospedero adecuado para diferentes helmintos parásitos, debido a que la mayoría de ellos (trematodos, cestodos, acantocéfalos y nematodos), utilizan como primer hospedero intermediario a crustáceos como copépodos y eufáusidos, mismos que son la principal fuente de alimento de la sardina (Marcogliese, 1995). La transmisión de los parásitos de un hospedero a otro es una estrategia común para completar su ciclo de vida, con excepción de los monogéneos (Couch & Fournie, 1993). En la red trófica, así como en el ciclo de vida de muchos helmintos parásitos, la sardina representa uno de los primeros eslabones; sin embargo, existen depredadores superiores, en este caso peces ictiófagos, como el atún (Marcogliese, 1995), es decir, si las sardinias son hospederas intermediarias de helmintos parásitos, el atún adquirirá aquellos que utilicen peces ictiófagos como hospederos finales o como intermediarios; algunos mamíferos, incluido el hombre, pueden ser hospederos finales de ciertos helmintos y corren el riesgo de padecer zoonosis (Chai *et al.*, 2005).

Dada la importancia económica y alimenticia que representa la sardina para la población, para la producción de atún en cautiverio y los pocos estudios enfocados a la relación parásito-hospedero de esta especie en México, el objetivo de este trabajo fue determinar la carga helmintológica de la sardina monterrey que es desembarcada por la flota sardinera en el puerto El Sauzal, en Ensenada, Baja California, durante invierno-primavera y verano-otoño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras. Las sardinias se obtuvieron en el puerto El Sauzal, procedentes de los desembarques de la flota sardinera de este puerto que opera en la costa occidental de la península y en la isla de Cedros rumbo a Ensenada, BC. Esta flota es la encargada de proveer la sardina fresca que es utilizada en la alimentación de atunes en cultivo, además de ser la fuente de materia prima para las empacadoras de la región. Los muestreos se realizaron en dos etapas, la primera comprendió los meses de julio, agosto, septiembre y octubre del 2004, en la que se obtuvo un total de 104 sardinias. La segunda se realizó en los meses de febrero y marzo de 2005, y en ella se obtuvo un total de 50 sardinias. El número de ejemplares estudiados dependió de la disponibilidad de los mismos por parte de los pescadores. Las muestras se transportaron en cubetas de plástico al laboratorio de bioensayos del Departamento de Acuicultura del CICESE.

Análisis de ejemplares. Una vez en el laboratorio, los peces se midieron con base en una longitud estándar (de la punta de la boca a la base de la aleta caudal) en centímetros y se realizó el análisis externo de piel, escamas, aletas, cavidad bucal, ojos y branquias. Posteriormente la cavidad visceral fue abierta siguiendo el método de Vidal-Martínez *et al.* (2001): después de la supervisión externa, se extrajeron los órganos internos: corazón, hígado, riñón, vejiga natatoria, bazo, estómago, intestino, cerebro y una fracción de tejido muscular. El intestino fue dividido en tres partes: anterior (ciegos pilóricos), medio (inicio del intestino hasta la parte media de la longitud total del mismo) y posterior (de la parte media hasta el ano). Para su inspección detallada, los órganos fueron comprimidos con la ayuda de dos vidrios de 10 cm² y se observaron en un microscopio estereoscópico. Los parásitos encontrados fueron retirados del órgano en donde se encontraban alojados, en el caso de los trematodos adultos se utilizaron pinceles. Para la extracción de metacercarias enquistadas en los radios de las aletas, se usaron agujas de disección; una vez fuera de los radios, los quistes se abrieron con la ayuda de agujas hipodérmicas. La extracción y limpieza de metacercarias se realizaron con pinceles sobre una caja de Petri con agua de mar filtrada, lo que eliminó cualquier residuo de tejido con el fin de evitar un daño a los ejemplares. Para extirpar a los nematodos se usaron agujas de disección y pinceles. Los cestodos fueron removidos únicamente con pinceles (Vidal-Martínez *et al.*, 2001).

Los trematodos (adultos y metacercarias) y los cestodos fueron fijados con formol al 4%, para posteriormente teñirlos con carmín ácido, aclararlos en aceite de clavo a diferentes concentraciones, y finalmente montarlos en bálsamo de Canadá (MAFF, 1988). Los nematodos fueron fijados con una mezcla de formalina al 4% y solución salina en una proporción de 1:7 durante 20 minutos, para ser transferidos a viales con alcohol etílico al 70% para su conservación. Estos ejemplares fueron aclarados con diferentes concentraciones de glicerol (MAFF, 1988).

Identificación de helmintos. En cada temporada fueron utilizados 10 ejemplares de trematodos adultos, metacercarias y nematodos para su identificación, mientras que para los cestodos fueron utilizados todos los organismos encontrados. Se realizó un registro fotográfico de los ejemplares y su identificación se realizó con la ayuda de claves taxonómicas (Yamaguti, 1959; 1970; 1971; Vidal-Martínez *et al.*, 2001), libros de parasitología (Dick & Choudhury, 1995; Cordero *et al.*, 1999) y un reporte técnico (Incorvaia, 2001). Los nematodos fueron identificados a nivel género debido a que en peces sólo se encuentran estadios larvales y para su completa identificación es necesario contar con los adultos que se encuentran parasitando a mamíferos marinos. De igual manera la identificación de los trematodos en estadios juveniles y quistes se obtuvo a nivel de género por la misma razón explicada anteriormente. Los helmintos identificados fueron colocados en la colección de parásitos y simbioses del Laboratorio de Biología y Patología de Organismos Acuáticos del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, con una clave de identificación correspondiente.

Estimaciones epizootológicas. En todos los casos se calculó la prevalencia (porcentaje de hospederos infectados en la muestra por una especie de parásito), abundancia (número de individuos de una especie de parásitos por hospedero revisado) e intensidad (número de parásitos por organismos infectados de la muestra) (Bush *et al.*, 1997).

Análisis estadísticos. Para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la talla y el peso de las sardinias estudiadas por temporada se utilizó un ANOVA de dos vías. Con el fin de

encontrar una posible correlación entre la talla y el peso de las sardinas con el número de parásitos encontrados se empleó una regresión lineal. Ahora bien, para encontrar posibles diferencias estadísticamente significativas entre el número de helmintos en los dos periodos de muestreo y conocer cuales grupos de helmintos presentaron variaciones en su número con respecto a las dos temporadas de muestreo, se realizó la prueba de Mann Whitney (Zar, 1974).

RESULTADOS

La longitud estándar y el peso fresco de las sardinas fluctuó de 15.6 a 24.5 cm y de 17 a 62.2 g (respectivamente) en ambas temporadas y no hubo diferencias significativas entre ellas (talla, $F= 2.65$; $p= 0.15$ y peso $F= 17.46$; $p= 0.09$). No se detectó a ningún parásito en el corazón, hígado, riñón, vejiga natatoria, cerebro, bazo o músculo.

Todos los helmintos se localizaron en diferentes partes del tracto digestivo (Tabla 1). No se encontró relación entre la longitud ($R^2= 0.225$; $p= 0.234$) y el peso ($R^2= 0.133$; $p= 0.083$) de los organismos con el número de helmintos.

Se encontraron un total de 2,062 parásitos: 1,229 correspondientes a trematodos (59.7%), 829 a nematodos (40.2%) y 14 a cestodos

(0.7%). La mayor prevalencia (Fig. 1) la registraron los trematodos adultos con un 100% en ambas temporadas de muestreo y se localizaron en la mucosa interna del estómago. Los trematodos en estadio de metacercaria tuvieron una prevalencia del 65% en la primera temporada (verano-otoño) y del 76.6% en la segunda (invierno-primavera) y se encontraron en la base de los radios de las aletas. Los nematodos tuvieron una prevalencia del 93.2 y 93.3% en la temporada 1 y 2 respectivamente. Estos helmintos se encontraron enrollados en la pared externa del intestino y del estómago. Los cestodos tuvieron una prevalencia del 2.9 y 6.7% para la temporada 1 y 2 respectivamente y se encontraron en el intestino medio (Tabla 1). En la primera temporada de muestreo la mayor abundancia fue registrada por los trematodos adultos (6.1) seguida de los nematodos (4.8), metacercarias (1.4) y cestodos (0.08), mientras que para la segunda temporada de muestreo la mayor abundancia fue para los nematodos (11.0), los trematodos adultos (9.7), metacercarias (4.7) y por último los cestodos (0.02) (Fig. 2). La mayor intensidad en la primera temporada estuvo representada por los trematodos adultos (6.1), después por los nematodos (5.2), metacercarias (2.2) y por último los cestodos (2.7). En la segunda temporada de muestreo se observó una modificación en la intensidad de los grupos de parásitos, ya que la mayor intensidad fue obtenida por los nematodos (11.8), seguida de los trematodos adultos (9.7), metacercarias (6.2) y los cestodos (3.0) (Fig.3).

Tabla 1. Registro de la preferencia de cada género de parásito por alojarse en un órgano determinado de *Sardinops sagax*.

Parásito	Órgano infectado
Phylum Platyhelminthes Clase Trematoda Familia Bucephalidae <i>Bucephalus</i> sp. (Baer, 1827)	Aletas
Phylum Platyhelminthes Clase Trematoda Familia Hemiuroidea <i>Parahemiurus merus</i> (Linton, 1910)	Mucus del estómago
Phylum Platyhelminthes Clase Trematoda Familia Hemiuroidea <i>Myosaccium ecaude</i> (Mongomery 1929)	Mucus del estómago
Phylum Nematoda Clase Secernentea Familia Anasakidae <i>Anisakis</i> sp. (Dujardi, 1845)	Pared anterior del intestino y externa del estómago
Phylum Nematoda Clase Secernentea Familia Anisakidae <i>Hysterothylacium</i> sp. (Ward y Magath, 1917)	Pared externa del estómago
Phylum Nematoda Clase Secernentea Familia Tetraphyllidae (Carus, 1863)	Mucus del intestino

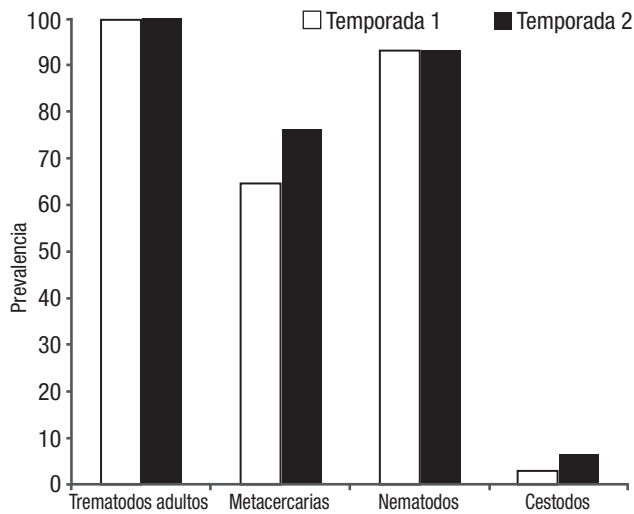


Figura 1. Prevalencia de parásitos durante las dos temporadas del muestreo en Baja California, México. Temporada 1 = invierno - primavera. Temporada 2 = verano - otoño

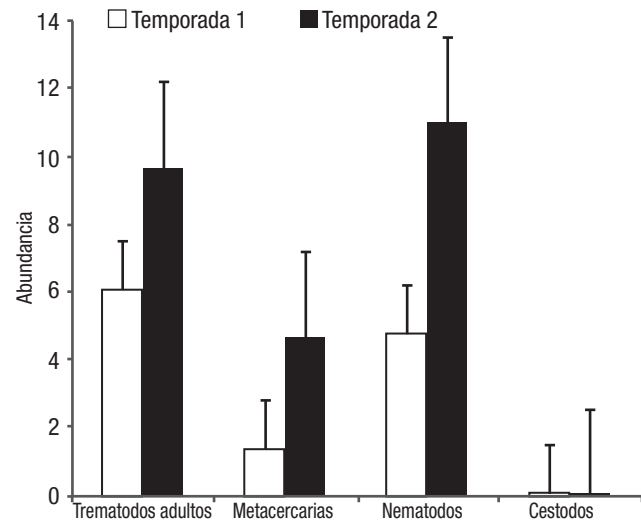


Figura 2. Abundancia de parásitos durante las dos temporadas de muestreo en Baja California, México (±DS). Temporada 1 = invierno - primavera. Temporada 2 = verano - otoño

La diferencia en el número de parásitos registrados en las dos temporadas de muestreo fue estadísticamente significativa ($Z= 8.284$, $p= 0.003$); fue mayor en el segundo periodo de muestreo. La cantidad de nematodos y cestodos no presentó diferencias estadísticamente significativas entre la primera y segunda temporada de muestreo ($Z= 7.056$, $p= 0.084$ y $Z= 0.094$, $p= 0.426$); sin embargo, la cantidad de trematodos y metacercarias sí presentó una diferencia estadísticamente significativa ($Z= 5.48$, $p= 0.03$ y $Z= 13.916$, $p= 0.0003$ respectivamente).

Descripción de parásitos trematodos. Se identificaron dos especies: *Parahemiurus merus* (= *P. noblei* King 1962) y *Myosaccium ecaude*, así como una especie del género *Bucephalus* sp. De estos helmintos, *P. noblei* y *M. ecaude* correspondieron a organismos adultos, mientras que *Bucephalus* sp. se encontró en estadio de metacercaria.

Familia Hemiuroidea (Faust 1929)

***Parahemiurus merus* (Linton, 1910)** (CICESE/P-Ssc2*1) (Fig. 4).

Organismos con forma elongada y cutícula estriada hasta la altura de los testículos y cuerpo subcilíndrico con ecsoma. Se observó una ventosa oral subterminal, con una medida de $75 \pm 10 \mu\text{m}$ por $60 \pm 30 \mu\text{m}$, y una faringe musculosa; esófago corto seguido por la bifurcación de los ciegos intestinales que se extienden hasta la parte posterior del organismo. Acetábulo más grande que la ventosa oral $140 \pm 20 \mu\text{m}$ por $122 \pm 8 \mu\text{m}$ encontrándose muy próximo a la ventosa. Longitud de $620 \pm 120 \mu\text{m}$ de largo por $300 \pm 60 \mu\text{m}$ de ancho, esta medida registrada a nivel del acetábulo. Se aprecian dos testículos ovoides en tándem ubicados ventralmente y en posición más o menos diagonal. El anterior de $66.5 \pm 2 \mu\text{m}$ al igual que el posterior. Presentó una vesícula seminal pretesticular con forma oval. Ovario en la parte posttesticular (tercio medio del cuerpo) y separado de los testículos por el útero, de $52.4 \pm 2 \mu\text{m}$ por $30.9 \pm 2 \mu\text{m}$. Las glándulas vitelogénicas se aprecian como dos masas compactas idénticas postováricas, de $108 \pm 20 \mu\text{m}$ por $103 \pm 10 \mu\text{m}$. Poro genital localizado en la parte media ventral, a nivel de la bifurcación de los ciegos.

***Myosaccium ecaude* (Montgomery, 1957)** (CICESE/P-Ssc2*2) (Fig. 5). Organismos con un cuerpo pequeño, subcilíndrico sin ecsoma y con cutícula estriada, ventosa oral, subterminal, seguida por la faringe y un esófago muy corto de donde se dividen los ciegos intestinales extendiéndose hasta la región posterior del organismo. Acetábulo más grande ($114.28 \mu\text{m}$) que la ventosa oral ($50 \mu\text{m}$), localizado en el primer tercio del cuerpo del organismo. La longitud total promedio de estos organismos fue $935.7 \pm 100 \mu\text{m}$ y $160.8 \pm 10 \mu\text{m}$ de ancho a nivel del acetábulo. Ovario con forma ovoide, ubicado detrás del testículo izquierdo, de $79 \pm 5 \mu\text{m}$ por $73 \pm 2 \mu\text{m}$ y un receptáculo seminal. Se observaron dos glándulas vitelogénicas postováricas, con un largo de $93 \pm 3 \mu\text{m}$ por $60 \pm 3 \mu\text{m}$, útero largo y extendido hasta la región posterior del organismo con un gran número de huevos pequeños. Se lograron observar dos testículos con forma oval ubicados ventralmente sobrepuestos, con una medida de $64 \pm 2 \mu\text{m}$. Se visualizaron músculos robustos en la vesícula prostática.

Familia Bucephalidae (Poche, 1907)

***Bucephalus* sp. (Baer, 1827)** (CICESE/P-Ssc2*3) (Fig.6).

Todos los ejemplares se encontraron enquistados, con una longitud de $534 \pm 418-650 \mu\text{m}$ y $118 \pm 12 \mu\text{m}$ de ancho. Ventosa oral terminal con apéndices digitiformes (tentáculos) curvados, acetábulo poco desarrollado, sin prefaringe ni esófago. Boca en el tercio medio del cuerpo. Faringe localizada en el último tercio del cuerpo como una estructura esférica y muscular, intestino en forma de saco globoso, que se extiende anteriormente hasta alcanzar la faringe. El adulto de esta especie mantiene la presencia de tentáculos en la ventosa anterior y la boca en el tercer medio del cuerpo.

Descripción de parásitos nematodos.

Familia Anisakidae (Skrjabin & Karokhin, 1945)

***Anisakis* sp. (Dujardin, 1845)** (CICESE/P-Ssc1*1) (Fig. 7).

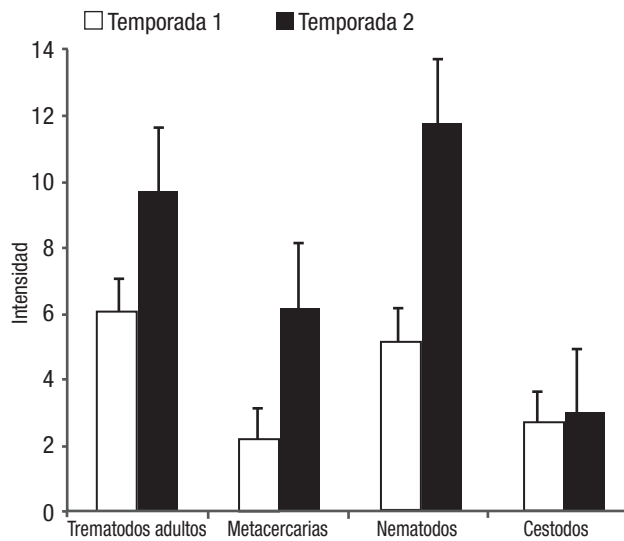


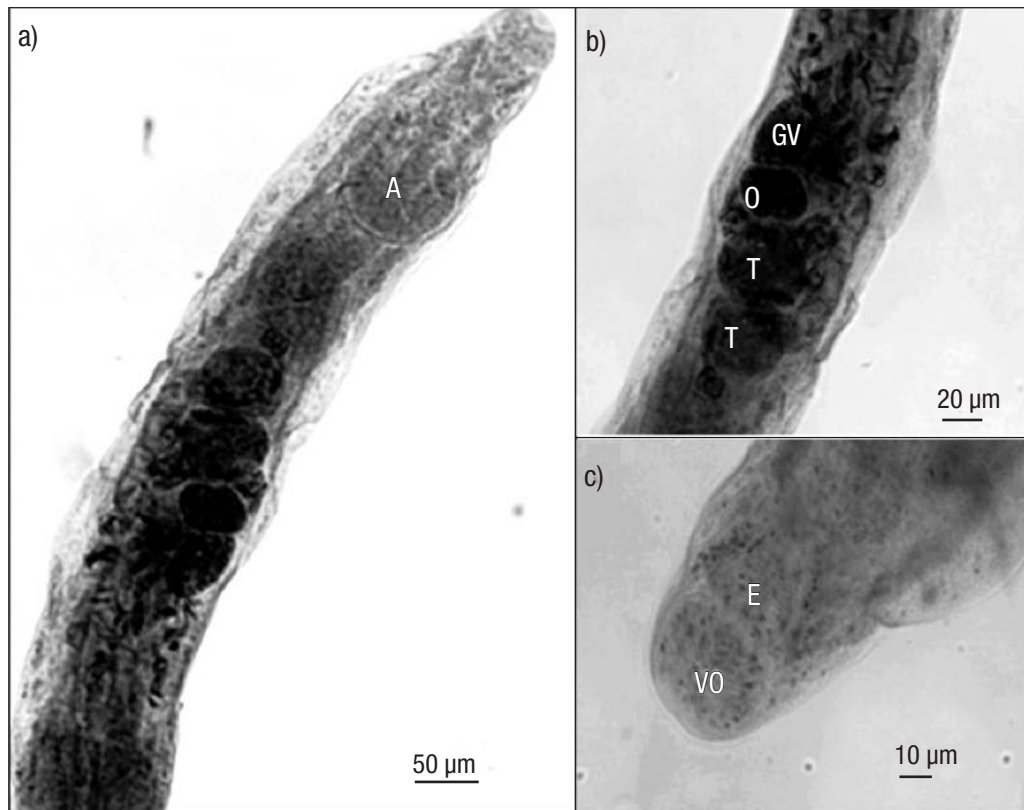
Figura 3. Intensidad media de parásitos helmintos durante las dos temporadas de muestreo en Baja California, México (\pm DS). Temporada 1 = invierno - primavera Temporada 2 = verano - otoño

Los ejemplares encontrados correspondieron a larvas de tercer estadio con coloración blanquecina, cuerpo robusto y fusiforme, estriación transversal más marcada en ambos extremos del cuerpo; boca provista de tres labios poco desarrollados, uno dorsal y dos ventro-laterales que rodean la abertura bucal. Entre los labios ventro-laterales se encontró el diente quitinoso situado anteriormente; anillo nervioso; longitud del esófago al anillo de $300 \pm 100 \mu\text{m}$. El ventrículo alargado, con el plano de unión al intestino oblicuo respecto al eje longitudinal del cuerpo, con una longitud de $1000 \pm 100 \mu\text{m}$. Canal del recto corto, oblicuo al ano y rodeado de tres glándulas rectales. En todo el cuerpo se observaron estriaciones cuticulares en forma de anillos. La longitud total promedio de los ejemplares analizados fue de $1900 \pm 400 \mu\text{m}$.

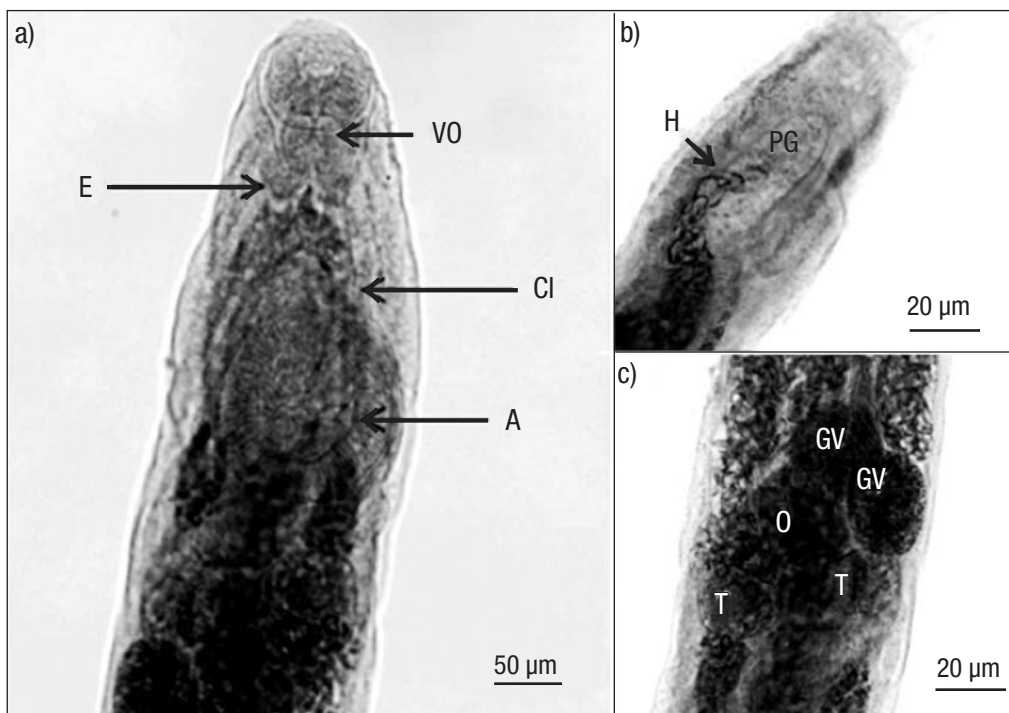
Familia Anisakidae (Skrjabin & Karokhin, 1945)

***Hysterothylacium* sp. (Ward & Magath, 1917)** (CICESE/P-Ssc1*2) (Fig. 8).

Organismos con coloración blanquecina, cuerpo robusto y fusiforme con estriaciones transversales en forma de anillo en la cutícula a lo largo del cuerpo. Longitud total promedio de $1260 \pm 600 \mu\text{m}$, ancho máximo promedio de $0.3 \pm 0.1 \text{ mm}$, longitud promedio del esófago al anillo $400 \pm 100 \mu\text{m}$, longitud del ventrículo $200 \pm 50 \mu\text{m}$ y longitud



Figuras 4a-c. *Parahemiurus merus*. a) Porción anterior: acetábulo (A). b) Vista detallada de glándulas vitelogénicas (GV), ovario (O) y testículos (T). c) Ventosa oral (VO) y esófago (E).



Figuras 5a-c. *Myosaccium ecaude*. a) Porción anterior: ventosa oral (VO), esófago (E), ciegos intestinales (CI) y acetábulo (A). b) Porción media: huevecillos (H) y poro genital (PG). c) Glándulas vitelogénicas (GV), ovario (O) y testículos (T).

de la cola $200 \pm 100 \mu\text{m}$. Porción cefálica ensanchada a nivel de la base de 3 labios bien desarrollados, uno dorsal y dos ventro-laterales, además tres interlabios rodeando la abertura oral. Esófago muscular de aspecto cilíndrico conectado con el ventrículo y éste a su vez unido al intestino y ciego intestinal. Anillo nervioso a la mitad de la longitud del esófago, poro excretor localizado ligeramente por debajo del anillo nervioso. Ciego intestinal corto, extendiéndose anteriormente, sobrepasando ligeramente la longitud del ventrículo. Parte posterior provista de pequeñas proyecciones cuticulares. La longitud total promedio de los ejemplares analizados fue de $1930 \pm 400 \mu\text{m}$ y en el recto se observaron tres glándulas rectales.

Descripción de parásitos céstodos.

Familia Tetraphyllidea (Carus, 1863) (CICESE/P-Ssc3*1) (Fig. 9)

Los ejemplares encontrados correspondieron a larvas con cuerpo alargado, región posterior cónica. Longitud de $1300 \pm 200 \mu\text{m}$ y ancho de $430 \pm 10 \mu\text{m}$. Los organismos encontrados presentaron un escólex esférico provisto con cuatro acetábulos en forma de botrios sésiles laterales con forma ovalada y un escólex apical musculoso. A lo largo del cuerpo se observan dos líneas que muestran los cordones nerviosos.

DISCUSIÓN

La carga parasitaria de *S. sagax* investigada en el presente estudio comparada con la de otras regiones del Pacífico, ya sea de la misma especie o especies cercanas, ayuda a identificar parásitos de cada región, que pueden servir como marcadores biológicos, y también a

comprender mejor las interacciones parásito-hospedero a una mayor escala geográfica. Baldwin *et al.* (2011) identificaron a nivel genético larvas del nematodo del género *Anisakis* parasitando a *S. sagax* que fueron capturadas a lo largo de la Costa Oeste de EUA; encontrando tres diferentes especies. Los nematodos son parásitos típicos de peces marinos (Rello *et al.*, 2008) y también se encontraron presentes en la carga parasitaria de *S. sagax* del Pacífico que fue investigada en el presente estudio; sin embargo, Reed *et al.* (2012) no registraron su presencia en *S. sagax* de Sudáfrica, cuya ausencia podría estar relacionada con las temporadas de muestreo, asociada a su vez con la sucesión de especies de las cuales se alimentan los organismos. Zorica *et al.* (2015) realizaron un estudio de los hábitos alimenticios y la variación de la carga parasitaria en dos clupeidos, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) y *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) en el mar Adriático, descubrieron dentro de la carga parasitaria de ambos organismos al digéneo *P. merus* y al anisakido *Hysterothylacium aduncum* (Rudolphi, 1802), organismos también presentes en *S. sagax*. Los autores argumentaron que esta carga parasitaria varía estacionalmente y se relaciona directamente con los hábitos alimenticios de los clupeidos de su estudio.

En México, Pérez-Ponce de León *et al.* (2000) llevaron a cabo una investigación de la carga parasitaria de los miembros de la familia Clupeidae, como son *Harengula thrissina* (sardina plumita) (Jordan & Gilbert, 1882) y *Opisthonema libertate* (sardina crinuda) (Günther, 1867); en estos peces se registró la presencia del nematodo *Anisakis* sp.

Tanto *M. ecaude* como *P. merus* han sido reportados como parte de la helminto fauna común de *S. sagax* en el Pacífico y no son conside-

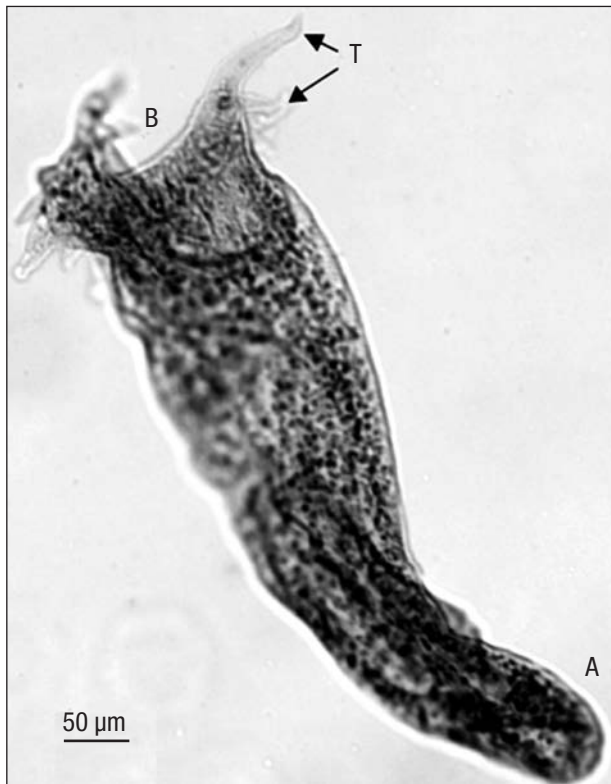
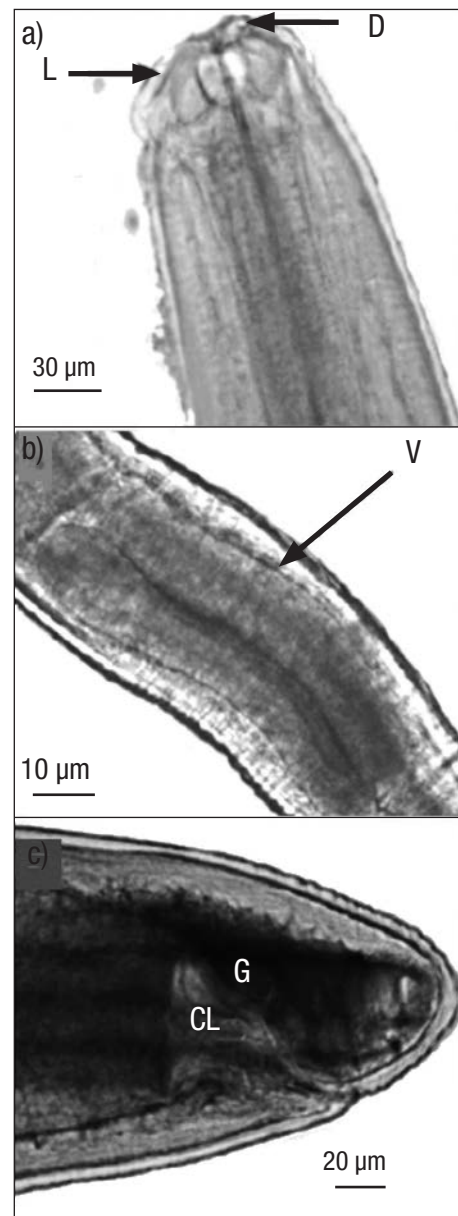


Figura 6. Metacercaria desenquistada de *Bucephalus* sp. en donde se observan los tentáculos (T), la región posterior (B) y la región anterior (A).

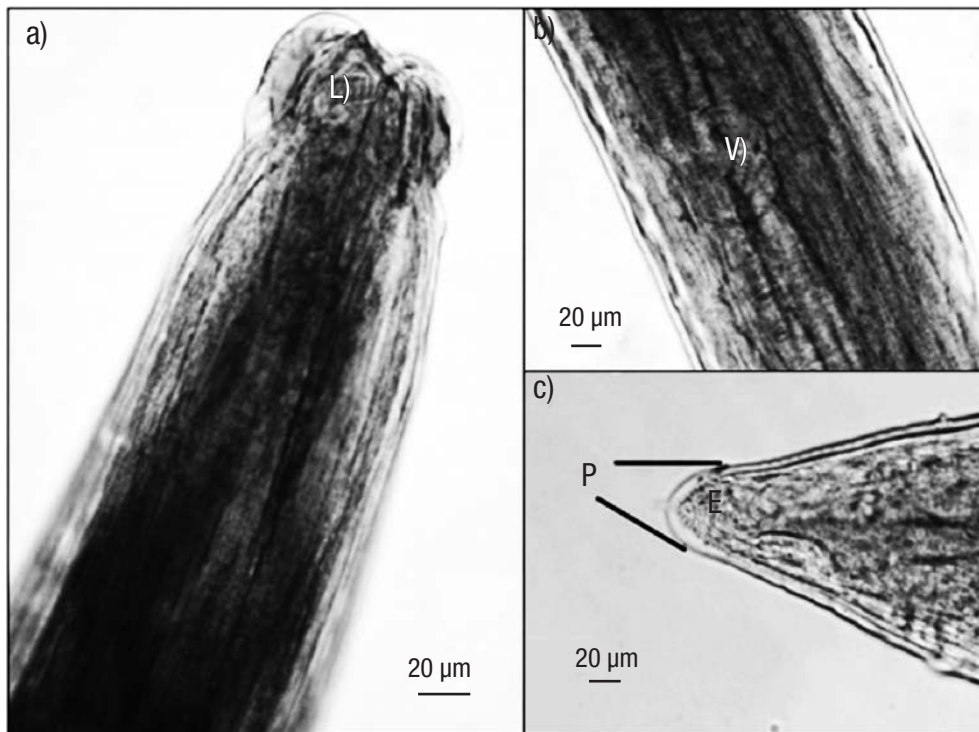
rados agentes causantes de enfermedades importantes (Love & Moser, 1976). El grupo de los hemiuriformes es uno de los más comunes en la parasitofauna de peces marinos, especialmente de organismos de aguas templadas como los clupeidos, carrangidos, salmónidos y enfrailidos (Bray, 1990), sin embargo, su identificación ha sido tema de controversia entre diferentes autores (León-Régagnon *et al.*, 1997). Por ejemplo, en el registro parasitológico de Lovey Moser (1976) para *S. sagax* documentaron a *Parahemiurus noblei*; más tarde, Bray (1990) realizó una revisión detallada del género y clasificó a *P. merus* como sinónimo de *P. noblei*. *Bucephalus* sp. no había sido encontrado en la sardina monterrey y las metacercarias de la familia Bucephalidae sí pueden causar parasitosis de importancia en otras especies. Hoffmann *et al.* (1990) expusieron que las metacercarias de esta familia causaron daño en las branquias, vísceras e hígado de ciprinidos, lo que provocó una epizootia en el río Main (Alemania). Ogawa *et al.* (2004) reportaron la primera parasitosis en ciprinidos de Japón ocasionada por metacercarias de esta familia; su presencia en el hospedero causó hemorragias en las aletas, piel y en los ojos, incluso en algunos casos la muerte. En esta investigación no se observaron hemorragias o alteraciones visibles importantes en las aletas de *S. sagax*, pero el potencial de que este tipo de lesiones aparezcan está relacionado con el estrés al que pueda estar expuesto el hospedero, tal como lo mostraron Hoffmann *et al.* (1990). Por otro lado, el estadio adulto de *Bucephalus* sp. se desarrolla dentro de peces ictiófagos, por lo que el consumo de *S. sagax* parasitada por *Bucephalus* sp. representa una vía de transmisión para el atún en cultivo y cuyos posibles efectos negativos aún se desconocen. Marcogliese (2002) ha mencionado que muchos parásitos de peces marinos utilizan indiscriminadamente hospederos

paraténicos y hospederos definitivos en la red trófica, con el propósito de colonizar un mayor número de hospederos y aumentar sus probabilidades de supervivencia (Lafferty, 2013). En este sentido, es importante subrayar que en condiciones de cultivo, el riesgo de brotes de parasitosis se incrementa por el hacinamiento y estrés que representa el cautiverio (Hoffmann *et al.*, 1990; Johnson *et al.*, 2004)

Durante la segunda temporada de muestreo (invierno-primavera) se observó un incremento en la intensidad y abundancia de los helmintos, lo que puede estar asociado con eventos ecológicos que ocurren estacionalmente, así como con el comportamiento migratorio de la sardina. Marcogliese (1995) también sostuvo que en aguas templadas se



Figuras 7a-c. Características morfológicas propias de *Anisakis* sp. **a)** Región anterior: labios (L), diente quitinoso (D). **b)** Región media: ventrículo (V). **c)** Región posterior: glándulas cloacales (G) y la cloaca (CL).



Figuras 8a-c. Características morfológicas generales de *Hysterothylacium* sp. **a)** Región anterior: labios (L). **b)** Región media: ventrículo (V). **c)** Región posterior (P) en donde se muestran los picos (E).

da un efecto de sobreposición en el aumento del número de huevos de parásitos o estadios larvales, aumento en la población de zooplancton por los florecimientos de microalgas y la presencia de peces pelágicos que migran a las costas para su reproducción, circunstancia que ocasiona que el éxito de parasitismo aumente. Schweigert (2002), sobre las migraciones de la sardina para desovar, subrayó que para los desoves de otoño las sardinas migran mar adentro, mientras que para los desoves que se desarrollan durante la primavera, migran hacia zonas costeras. En este sentido, tal como argumenta Marcogliese (1995), se dan las condiciones ideales para la sobreposición de los factores antes mencionados, que favorecen la proliferación del zooplancton y que representa el primer hospedero intermediario de la mayoría de los parásitos. La sardina, al realizar la migración de primavera, encuentra zonas con un gran número de crustáceos que podrían estar parasitados, lo que aumenta los valores en su carga helmintológica.

Los nematodos encontrados registraron una prevalencia similar durante las dos temporadas de muestreo (93.2% verano-otoño y 93.3% invierno-primavera), que en ambos casos fue menor a la registrada por los trematodos. Tanto *Anisakis* sp.

como *Hysterothylacium* sp. son cosmopolitas, por lo que es común encontrarlos como fauna propia de una gran diversidad de peces (Anderson, 1984; Grabda, 1991; Dick & Choudhury, 1995). Si bien en el registro helmintológico de *S. sagax* reportado por Love & Moser (1976) se encontró a *Anisakis* sp. y *Contraecum* sp., en esta investigación no se localizó ningún ejemplar perteneciente al género *Contraecum*, debido, tal vez, a la ausencia de estos organismos en la zona y las

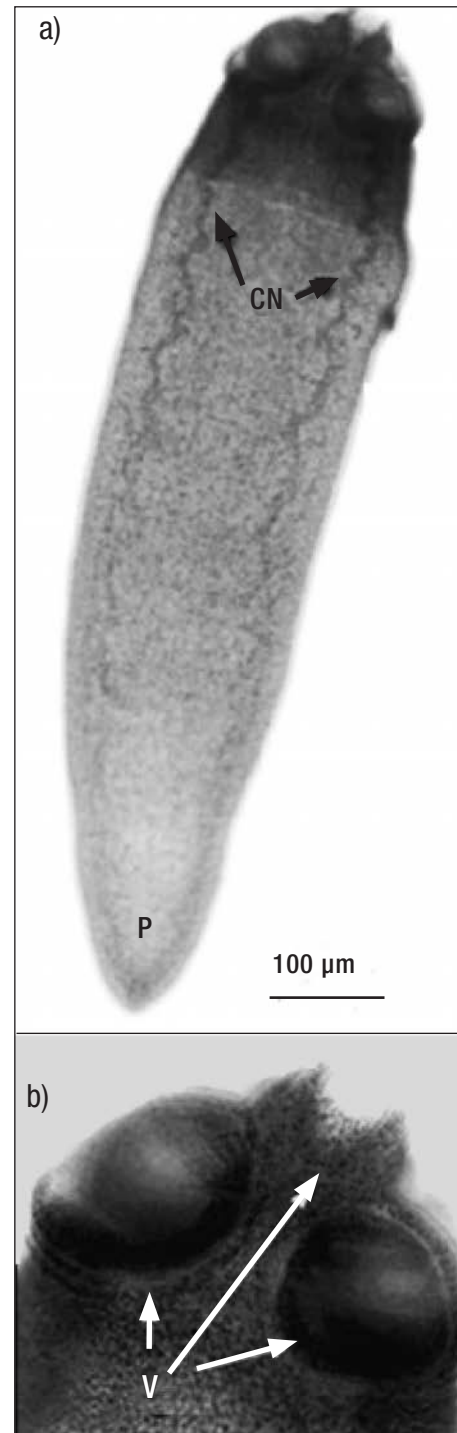
temporadas en las cuales se llevó a cabo el estudio. Por otro lado, un aumento en el tamaño de muestra podría ayudar a detectar parásitos con baja presencia.

Los elevados valores de prevalencia de nematodos encontrados en la sardina monterrey indican que existe un riesgo potencial de contraer *Anisakis* sp. y desarrollar anisakiasis al consumir sardina poco cocinada. Incorvaia (2001) realizó un estudio sobre los parásitos de la merluza (*Merluccius hubbsi* Marini, 1933) y encontró que la de intensidad de *Anisakis simplex* fue de 1.9, con una prevalencia de 83.2% y una abundancia de 1.6. Laffon-Leal *et al.* (2000) infirieron que los peces con una prevalencia de 56% de nematodos, pertenecientes a la familia Anisakinae, representan un alto riesgo de zoonosis al no ser procesados adecuadamente para su venta (remoción de vísceras), así como al ser ingeridos crudos o poco cocinados. Estudios previos realizados en Baja California indican que los nematodos pertenecientes a la familia Anisakiidae son comunes en varias especies de peces ictiófagos. Castillo-Sánchez (1996) estudió a los helmintos presentes en el lenguado de California *Paralichthys californicus* (Ayres, 1859) en tres diferentes zonas, el estero de Punta Banda, la bahía de Todos Santos y la bahía de San Quintín en Baja California, y encontró que los nematodos presentaron el segundo valor más alto de prevalencia (36.7%). Por otro lado, Sánchez-Serrano & Cáceres-Martínez (2011) desarrollaron el primer registro helmintológico del atún aleta azul del norte (*Thunnus orientalis* Temminck & Schlegel, 1844), fueron capturados por la flota atunera de Ensenada, Baja California, y arrojaron un valor de prevalencia (73%) superior al registrado en *P. californicus*. La anisakiasis en países como Japón y España representa un problema

de salud pública, tan sólo en Japón se registran mil casos anuales (Ferre, 2001). Tal como se ha mencionado anteriormente, el consumo de especies parasitadas por este tipo de helminto puede ser riesgoso si no se toman las medidas de manejo y cocción necesarias, en este sentido, es importante hacer pública esta información para consumidores y autoridades sanitarias de la zona.

Por otra parte, los cestodos presentaron valores muy bajos de intensidad (2.7 verano-otoño y 3.0 en invierno-primavera), abundancia (0.08 y 0.02 respectivamente) y prevalencia (2.9% y 6.7% respectivamente) en ambas temporadas de muestreo. Pérez-Ponce de León *et al.* (2000) registró para los cestodos valores altos de intensidad, abundancia y prevalencia, principalmente en peces que migran o habitan en estuarios o lagunas costeras. Arthur & Arai (1980), por otro lado, registraron tres diferentes géneros de cestodos en *Clupeaharengus pallasii* (Valenciennes, 1847); este pez migra hacia los esteros para realizar sus desoves, lo que apoya lo mencionado por Pérez-Ponce de León *et al.* (2000). De acuerdo con esta observación, los bajos valores en los parámetros de prevalencia, intensidad y abundancia de cestodos en la sardina monterrey estarían relacionados con sus hábitos, ya que *S. sagax* es un organismo pelágico que habita en la plataforma continental y raras veces entra a las lagunas costeras en donde pudiera ser parasitada por cestodos. Todos los cestodos fueron miembros de la familia Tetracystidae y se encontraron en el estadio larval de plerocercario (Jensen & Bullard, 2010). Los cestodos adultos de este orden suelen parasitar elasmobranchios. El ciclo de vida de estos organismos es poco conocido y sobre algunas etapas no se tiene ninguna información, pero se sabe que incluye tres hospederos: copépodos, teleósteos (donde podría encontrarse el atún o la sardina) o mamíferos marinos y al final elasmobranchios (Cheng, 1986). Margoliese (1995) aludió que la carga parasitaria de los organismos ésta en función de tres factores: 1) fauna parasitológica propia del lugar, 2) hábitos migratorios del hospedero y 3) temporada de reproducción del hospedero, también, que los organismos migratorios presentaron parásitos propios de los lugares a los que ellos migran, ya sea para su reproducción o su alimentación. A pesar de que los peces no se mantienen por más de 6 meses en los cultivos, este tiempo no representa una limitante en la transmisión de los parásitos, ya que los tiempos de transmisión de hospedero a hospedero (una vez que es ingerido el hospedero parasitado) van desde unas horas hasta dos meses (Williams & Jones 1994).

Por otro lado, se observó que existe una clara preferencia de cada grupo de helmintos por alojarse en un órgano determinado de la sardina (microhábitat). Vidal-Martínez & Kennedy (2000) realizaron un estudio en *Cichlasoma symplum* (Hubbs, 1935) y observaron este mismo efecto, sin embargo, aclararon que la distribución de los parásitos puede cambiar al existir una sobrepoblación en un órgano en particular (aumento en la capacidad de carga), lo que provoca una migración hacia los órganos cercanos. Esch & Fernández (1993) hicieron alusión a que la preferencia por parasitar un órgano determinado del hospedero se relaciona con las necesidades nutricionales, fisiológicas y el ciclo de vida de cada uno de los grupos de parásitos, lo que en este estudio se refleja especialmente en los trematodos adultos, encontrados exclusivamente en la mucosa del estómago. La localización



Figuras 9a-b. Plerocercario de la familia Tetracystidae. **a)** Se aprecia la región anterior (A), posterior (P), cordones nerviosos (CN). **b)** una ampliación del botrio provisto de acetábulos (V).

de los nematodos, en esta investigación, coincide con los resultados de Ferre (2001), quién mencionó que *A. simplex* se encuentra con mayor frecuencia alojado en las paredes externas de órganos, especialmente en estómago, y libres en la cavidad abdominal, lo que se relaciona con el incremento de la capacidad de los nematodos para migrar hacia el músculo del pez y acceder a regiones que pueden brindarle un mayor éxito para llegar a su hospedero final.

El registro helmintológico de *S. sagax* obtenido en este estudio resulta sumamente útil para los consumidores, autoridades sanitarias y productores (maricultura) de la región, de igual importancia para aquellos productores de otras partes del mundo que importan a sus países sardina de esta zona, debido a que permite conocer los niveles de parasitismo de la sardina monterrey, conocer a los organismos que pueden ocasionar daños a las especies en cautiverio y contar con bases para desarrollar buenas prácticas de cultivo, procesamiento y consumo que ayuden a evitar la transmisión de los parásitos de la sardina a los otros peces y al hombre.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el proyecto número 623106 del CICESE. Los autores desean expresar su agradecimiento a la M. en C. Yanet Guerrero Rentería por su ayuda en el procesamiento de muestras y por la escritura del manuscrito.

REFERENCIAS

- ANDERSON, R. C. 1984. The origins of zooparasitic nematodes. *Canadian Journal of Zoology* 62: 317-328. DOI: 10.1139/z84-050.
- ARTHUR, J. R. & H. P. ARAI. 1980. Studies on the parasites of Pacific herring (*Clupea harengus pallasii* Valenciennes): a preliminary evaluation of parasites as indicators of geographical origin for spawning herring. *Canadian Journal of Zoology* 58 (4): 521-527. DOI: 10.1139/z80-072.
- BALDWIN, R. E., M. B. REW, M. L. JOHANSSON, M. A. BANKS & K. C. JACOBSON. 2011. Population structure of three species of *Anisakis* nematodes recovered from Pacific sardines (*Sardinops sagax*) distributed throughout the California Current System. *Journal of Parasitology* 97 (4): 545-554. DOI: 10.1645/GE-2690.1.
- BRAY, R. A. 1990. A review of the genus *Parahemiurus* Vaz y Pereira, 1930 (Digenea: Hemiuridae). *Systematic Parasitology* 15: 1-21. DOI:10.1007/BF00009914.
- BUSH, A. O., K. D. LAFFERTY, J. M. LOTZ & A. W. SHOSTAK. 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. Revisited. *Journal of Parasitology* 83: 575-583. DOI: 10.2307/3284227.
- CASTILLO-SÁNCHEZ, E. 1996. Estructura de la comunidad de helmintos parásitos del *Paralichthys californicus* en el Estero de Punta Banda, Bahía de Todos Santos y Bahía San Quintín, Baja California, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México, 127 p.
- CHAI, J. Y., K. D. MURRELL & A. S. LYMBERY. 2005. Fish-borne parasitic zoonoses: Status and issues. *International Journal of Parasitology* 35 (11-12): 1233-1254. DOI: 10.1016/j.ijpara.2005.07.013.
- CHENG, T. 1986. *General parasitology*. Second edition. Academic Press Inc. Orlando, Fl.
- COMISIÓN NACIONAL DE ACUACULTURA Y PESCA. 2013. *Anuario Estadístico de pesca*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. CD.
- CORDERO, C., V. ROJO, F. MARTÍNEZ, A. SÁNCHEZ, R. HERNÁNDEZ, I. NAVARRETE, B. DIEZ, R. QUIROZ & V. CARVALHO. 1999. *Parasitología Veterinaria*. McGraw Hill Interamericana. México.
- COUCH, J. & J. FOURNIE. 1993. *Pathobiology of marine and estuarine organisms*. Advances in Fisheries Science. CRC. London.
- DICK, I. & A. CHOUDHURY. 1995. *Fish diseases and disorders. Vol 1, Protozoan and Metazoan infection*. Department of Zoology University of Guelph. Canada.
- ESCH, G. W. & J. C. FERNANDEZ. 1993. *A functional biology of parasitism. Ecological and evolutionary implications*. Academic Press. New York.
- FERRE, I. 2001. Anisakiosis y otras zoonosis parasitarias transmitidas por consumo de pescado. *Revista Aqua TIC* 14: 1-21.
- GRABDA, J. 1991. *Marine fish parasitology*. An outline U. C. H. Publishers, New York.
- HOFFMANN, R. W., W. KORTING, T. FISCHER-SCHERL & W. SCHAFER. 1990. An outbreak of bucephalosis in fish of the Main River. *Parasitology* 31: 95-99.
- INCORVAIA, I. S. 2001. *Anisakis simplex* parásito de *Merluccius hubbsi*. Informe técnico interno. INIDEP. Argentina, 12 p.
- JENSEN, K. & S. A. BULLARD. 2010. Characterization of a diversity of tetraphyllidean and rhinebothriidean cestode larval types, with comments on host associations and life-cycles. *International Journal for Parasitology* 40 (8): 889-910. DOI: 10.1016/j.ijpara.2009.11.015.
- JOHNSON, S. C., S. BRAVO, K. NAGASAWA, Z. KABATA, J. S. HWANG, J. S. HO & C. T. SHIH. 2004. A review of the impact of parasitic copepods on marine aquaculture. *Zoological Studies* 43 (2): 229-243.
- LAFFERTY, K. D. 2013. Parasites in marine food webs. *Bulletin of Marine Science* 89 (1): 123-134. DOI: 10.5343/bms.2011.1124.
- LAFFON-LEAL, S. M., V. M. VIDAL-MARTÍNEZ & G. ARJONA-TORRES. 2000. Cebiche a potencial source of human anisakiasis in Mexico? *Journal of Helminthology* 74: 151-154. DOI: 10.1017/S0022149X00000202.
- LEÓN-RÉGAGNON, V., G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN & R. LAMOTHE-ARGUMEDO. 1997. Hemiuriformes de peces marinos de la Bahía de Chamela, México con la descripción de una nueva especie del género *Hysteroleicitha* (Digenea: Hemiuridae: Lecithasterinae). *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoológica* 68 (1): 1-34.
- LOVE, S. & M. MOSER. 1976. *A checklist of parasites of California, Oregon and Washington Marine and Estuarine Fishes*. Technical Report

- Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. National Marine Fisheries Service CA. U.S.A. 576 p.
- MAFF (MINISTRY OF AGRICULTURE, FISHERIES AND FOOD). 1988. *A manual of veterinary parasitological laboratory techniques*. Reference Book 418. Her Majesty's Stationery Office, London, UK. 160 p.
- MARCOGLIESE, D. 1995. The role of zooplankton in the transmission of helminth parasites to fish. *Review in Fish Biology and Fisheries* 5: 336-371.
- MARCOGLIESE, D. 2002. Food webs and the transmission of parasites to marine fish. *Parasitology* 124(7): 83-99. DOI: 10.1017/S003118200200149X.
- MEZA-GUTIÉRREZ, S. 2002. En aumento los ranchos atuneros en Baja California. *Panorama Acuícola Magazine* 7(3): 34-35.
- OGAWA, K., T. NAKATSUGAWA & M. YASUZAKI. 2004. Heavy metacercarial infections of cyprinid fishes in Uji River. *Fisheries Science* 70 (1): 132-140. DOI: 10.1111/j.1444-2906.2003.00781.x.
- PÉREZ-PONCE DE LEÓN, P., L. GARCÍA-PRIETO & C. ROSAS-VILLA. 2000. Helminthofauna de *Opisthonema libertate* y *Harengula thrissina* (Osteichthyes: Clupeidae) de la Bahía de Chamela, Jalisco, México. *Revista de Biología Tropical* 48 (4): 759-763.
- REED, C., K. MACKENZIE & C. D. VAN DER LINGE. 2012. Parasites of South Africa sardines, *Sardinops sagax*, and an assessment of their potential as biological tags. *Bulletin of European Association of Fish Pathologists* 32 (2): 41-48.
- RELLO, F. J., F. J. ADROHER & A. VALERO. 2008. *Hysterothylacium aduncum*, the only anisakid parasite of sardines (*Sardina pilchardus*) from the southern and eastern coasts of Spain. *Parasitology Research* 104 (1): 117-121. DOI: 10.1007/s00436-008-1168-0.
- SÁNCHEZ-SERRANO, S. & J. A. CÁCERES-MARTÍNEZ. 2011. Registro helmintológico en el atún azul del norte (*Thunnus thynnus orientalis*) de la costa del Pacífico mexicano. *Ciencia Pesquera* 19 (1): 5-12.
- SCHWEIGERT, J. F. 2002. Update COSEWIC status report on the Pacific sardine *Sardinops sagax* in Canada. COSEWIC assessment and update status report on the Pacific sardine *Sardinops sagax* in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada, Ottawa, pp. 1-19.
- VIDAL-MARTÍNEZ, V. M. & C. R. KENNEDY. 2000. Potential interactions between the intestinal helminths of the cichlid fish *Cichlasoma synspilum* from southeastern Mexico. *Journal of Parasitology* 86 (4): 691-695. DOI: 10.1645/0022-3395.
- VIDAL-MARTÍNEZ, V. M., L. AGUIRRE-MACEDO, T. SCHOLZ, D. GONZÁLES-SOLÍS & D. MENDOZA-FRANCO. 2001. Atlas of the helminth parasites of cichlid fish of Mexico. Academia, Praha. 165 p.
- WILLIAMS, H. & A. JONES. 1994. *Parasitic worms of fishes*. Taylor and Francis. London. 593 p.
- YAMAGUTI, S. 1959. *Synopsis of cestodes of vertebrates*. Vol 2. Keigaku Publ. Co. Tokyo.
- YAMAGUTI, S. 1970. *Digenetic trematodes of Hawaiian fishes*. Keigaku Publ. Co. Tokyo.
- YAMAGUTI, S. 1971. *Synopsis of digenetic trematodes of vertebrates*. Vol I. Keigaku Publ. Co. Tokyo.
- ZAR, J. H. 1974. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J.
- ZORICA, B., V. Č. KEČ, O. VIDJAK, I. MLADINEO & D. E. BALIĆ. 2015. Feeding habits and helminth parasites of sardine (*S. pilchardus*) and anchovy (*E. encrasicolus*) in the adriatic sea mediterranean. *Mediterranean Marine Science* 17 (1): 216-229. DOI: 10.12681/mms.1467.

Respuesta hidrológica al cambio climático en regiones áridas: caso de estudio en los Comondú, Baja California Sur, México

Hydrologic response to climate change in arid regions: Case study in los Comondú, Baja California Sur, Mexico

Jobst Wurl¹, Cynthia Nayeli Martínez García¹ y Miguel Ángel Imaz Lamadrid²

¹ Laboratorio de Hidrogeología, Área de Conocimiento de Ciencias del Mar y de la Tierra, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur Km 5.5, La Paz, Baja California Sur, 23080. México

² Petróleos Mexicanos (Pemex), Villahermosa, Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 7 Campo Carrizo, Villahermosa, Tabasco C.P. 86000. México
e-mail: jwurl@uabcs.mx

Recibido: 30 de abril de 2015.

Aceptado: 08 de julio de 2016.

Wurl J., C. N. Martínez García y M. Á. Imaz Lamadrid. 2017. Respuesta hidrológica al cambio climático en regiones áridas: caso de estudio en los Comondú, Baja California Sur, México. *Hidrobiológica* 27 (1): 13-22.

RESUMEN

Antecedentes. En la actualidad, el cambio climático es uno de los fenómenos con mayor relevancia dentro del medio científico; dicho proceso se ha registrado como un incremento de las temperaturas a escala global. Para la zona central de Baja California Sur (BCS), México, los modelos climáticos indican, además, un aumento en la frecuencia de precipitaciones extremas. El área de estudio abarca dos poblaciones (San José y San Miguel de Comondú) cuyas zonas urbanas y rurales se encuentran ubicadas en una cañada de aproximadamente 16 km de longitud y hasta 800 m de ancho. **Objetivos.** Realizar un análisis estadístico histórico de la variabilidad climática y modelar la respuesta del arroyo Comondú ante eventos extremos de precipitación. **Métodos.** Se analizó la variabilidad climática de acuerdo con las bases de datos de la estación climatológica de Comondú, operada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). También se determinó el patrón de los escurrimientos en el arroyo Comondú durante episodios de precipitación extrema, similares o cercanos a eventos con tiempo de retorno de 1000 años por medio de los modelos hidrológicos e hidráulicos de los software HEC-1 y HEC-RAS. **Resultados.** Para el caso de los Comondú, se observa una clara tendencia a la alza en los datos de precipitación extrema de 24 horas, lo cual implica que el peligro de inundaciones en las zonas pobladas y de cultivos aumenta considerablemente. La ocurrencia de un evento de 1000 años afectaría cerca de 86,864 m² en la zona urbana de ambos poblados y 201,570 m² en la zona de cultivo. **Conclusiones.** Los resultados de la modelación indican un incremento en área, profundidad y velocidad de la corriente, lo que aumenta el riesgo de inundación en las zonas bajas de los Comondú. Con base en los resultados de la modelación, se pueden promover medidas que permitan salvaguardar a la población y la economía de este lugar.

Palabras clave: Análisis de precipitaciones, cambio climático, inundaciones, modelación hidráulica.

ABSTRACT

Background. Currently, climate change is one of the most relevant phenomena within the scientific environment; this change has been recorded as an increase in temperatures on a global scale. For the central zone of Baja California Sur (BCS), Mexico, climate models also indicate an increase in the frequency of extreme precipitation. The study area covers two towns (San José and San Miguel de Comondú) whose urban and rural areas are located in a ravine of approximately 16 km in length and up to 800 m in width. **Goals.** To carry out a historical, statistical analysis of the climatic variability and model the response of the Comondú stream to extreme precipitation events. **Methods.** Climatic variability was analyzed with databases from the Comondú weather station, operated by the National Meteorological Service (SMN). In addition, the runoff pattern in the Comondú stream was ascertained in the event of extreme precipitation events, similar to or close to events with a return time of 1000 years, using hydrological and hydraulic models of HEC-1 and HEC-RAS software. **Results.** In the case of Los Comondú, BCS, there is a clear upward trend in the 24-hour extreme precipitation data, which implies that the danger of flooding in populated areas and crops increases considerably. The occurrence of a 1000-year event would affect about 86,864 m² of the urban area of both towns and 201,570 m² of the area under cultivation. **Conclusions.** The results of our modeling indicate an increase in area, depth, and speed of the stream, increasing the risk of flooding in the lower areas of Los Comondú, BCS. Based on our modeling's results, measures should be promoted to safeguard the population and the economy of Los Comondú.

Key words: Climate change, floods, hydraulic modeling, rainfall analysis.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el IPCC (2007), el cambio climático se refiere a las alteraciones en el estado del clima, que pueden ser identificadas por cambios en la media o variabilidad de sus propiedades y que persiste por un periodo extenso, típicamente décadas o más. UNFCCC (2007) lo atribuye directa o indirectamente a la actividad humana, la cual altera la composición global de la atmósfera y que es adicional a la variabilidad natural del clima observada en periodos comparables de tiempo. Independientemente de las variables que lo producen, resulta evidente (según datos de IPCC (2007) y UNFCCC (2007)) que en la mayor parte del planeta se está presentando un aumento en las temperaturas. Datos del IPCC (2007) sostienen que las regiones de Norteamérica, Groenlandia, África, Europa y Asia, han presentado (de 1970 a 2004) aumentos de temperatura de 0.2 hasta 3.5 °C. Meehl *et al.* (2007) afirmaron que como resultado del calentamiento global, el tipo, frecuencia e intensidad de eventos extremos como ciclones tropicales, inundaciones, sequías e intensas precipitaciones, aumentarán, aunados a incrementos de temperatura relativamente pequeños.

Para el caso de México, el IMTA (2010) presentó mapas con las precipitaciones esperadas en el contexto del cambio climático a escala regional en los cuales se observan anomalías de hasta -45% en las precipitaciones invernales y de -35 a -40% para las veraniegas hacia el año 2098. Christensen *et al.* (2007) pronosticaron para la península de Baja California disminuciones en la precipitación media anual de 5 a 10%; a su vez, Gay *et al.* (2006) propusieron variaciones de precipitación de entre -3% y -9% para el año 2050. Por su parte, el INE (2012) pronosticó que la precipitación total anual disminuirá hacia el 2020 entre 0 y 15% y para el 2080 entre 5 y 20%, en tanto que la temperatura media anual aumentará entre 2 y 4 °C para el mismo periodo.

Aun cuando los modelos numéricos (modelo global de circulación general de la atmósfera (AGCM, por sus siglas en inglés) en el Módulo de Variabilidad Climática Regional, el modelo norteamericano del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-R30), modelo del Canadian Climate Center (CCC), entre otros, muestran una tendencia hacia escenarios de sequía en general para la península de Baja California, los datos registrados por las estaciones meteorológicas localizadas dentro de la cuenca de los Comondú y la Purísima, obtenidos del SMN (2012b, 2012c) indican una tendencia a la alza en la frecuencia de precipitaciones extremas. Para el caso de la región de los Comondú el riesgo es evidente, toda vez que la población y su zona rural se encuentran ubicados en el lecho y terrazas del arroyo con el mismo nombre, flanqueado por elevaciones topográficas hasta de 200 m por arriba de las zonas bajas, motivo por el cual es imprescindible conocer la respuesta del arroyo ante eventos extremos de precipitación con el fin de promover medidas que permitan salvaguardar a la población y la economía del lugar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La región de los Comondú se encuentra conformada por dos poblaciones principales: San José y San Miguel de Comondú, cuyas zonas urbanas y rurales se encuentran ubicadas en una cañada de aproximadamente 16 km de longitud y 800 m de ancho. Los habitantes de ambas poblaciones se dedican a la ganadería y agricultura principalmente. La región se localiza 135 km al norte de Ciudad Cons-

titución, por la carretera Ciudad Insurgentes, BCS Desde la ciudad de Loreto se puede acceder a los Comondú a través de una brecha que los conecta con el poblado de San Javier (Fig. 1). La región de los Comondú se encuentra ubicada dentro de la cuenca Mezquital-Comondú, con 5001.11 km² de área y cuyo principal afluente es el arroyo Comondú. INEGI (1996) propuso un coeficiente de escurrimiento para el área de estudio de 0 a 5% en las zonas bajas y 5 a 10% en las zonas serranas.

La sierra La Giganta está constituida principalmente por rocas extrusivas y epiclásticas del Mioceno pertenecientes a la formación Comondú (Heim *et al.*, 1922); presenta rocas volcánicas de composición andesítica y tobas riolíticas (Hausback, 1984) con algunas alternancias de estratos epiclásticos (Aranda-Gómez & Pérez Venzor, 1988). Hacia el norte de los Comondú se manifiestan una serie de aparatos volcánicos que originaron derrames de composición basáltica (SGM, 2000) y fueron fechados por Sawlan y Smith (1984) en 3.59 +/- 0.12 ma que cubren discordantemente a la formación Comondú. Hacia el noreste de los Comondú se pueden apreciar claramente algunos de dichos eventos volcánicos, producidos por un derrame basáltico que bloqueó las antiguas corrientes que bajaban de la sierra La Giganta, dando origen a un total de once lagunas temporales, localmente llamadas llanos. Hacia el oeste, las rocas de la citada formación tienden a estar cubiertas por secuencias de sedimentos poco consolidados a consolidados de edades que van del Pleistoceno al Holoceno. Los sedimentos no consolidados corresponden a depósitos aluviales y eólicos (INEGI, 1996).

Clima. De acuerdo con la clasificación climática desarrollada por Köppen (1936), en el área predominan dos tipos de clima: en la cuenca, un clima muy árido y semicálido tipo BWh(x'), con una temperatura media anual entre 18 y 20 °C. La temperatura del mes más frío es menor a 18 °C; mientras que en las zonas bajas cerca de la desembocadura, predomina un clima muy árido y cálido tipo BW(h')(x'), con una temperatura media anual de 22.6 °C. La temperatura media mensual varía de 17.6 °C en enero a 28.6 °C en agosto (García & CONABIO, 1998; SMN, 2013b).

Las lluvias en el estado de Baja California Sur ocurren principalmente en verano debido al efecto de ciclones tropicales y en menor grado en invierno. Según CONAGUA (2015), la proporción entre las lluvias veraniegas e invernales es de 70 y 30%, respectivamente. En la estación climatológica "Comondú" se registran en promedio 170.7 mm de precipitación al año, 1466.1 mm de evaporación potencial anual y 3.7 días con neblinas (SMN, 2013b). El mes con mayor precipitación es septiembre con 45.05 mm en promedio y la menor precipitación corresponde a junio con sólo 0.18 mm (SMN, 2013b). En la Figura 2 se presenta el valor máximo anual de la precipitación ocurrida en 24 horas (SMN, 2012a). En

la década 2000-2010 la precipitación diaria máxima observada alcanzó casi 240 mm, mientras que en las siete décadas anteriores ningún registro llegó a 90 mm.

Vegetación riparia. La vegetación riparia en el arroyo Comondú corresponde a dos asociaciones nativas y a cultivos: en el palmar domina *Washingtonia robusta* H. Wendland (palma real), acompañada por especies como *Vallesia glabra* (Cav.) Link (otatave); *Acacia farnesiana* (Linnaeus) Willdenow; *Ambrosia ambrosioides* (Cav.) W.W. Payne y *Cercidium praecox* (Ruiz & Pav.) Harms (palo brea) (Jiménez & Salinas, 2007). La segunda asociación nativa se integra por dos gramíneas ar-

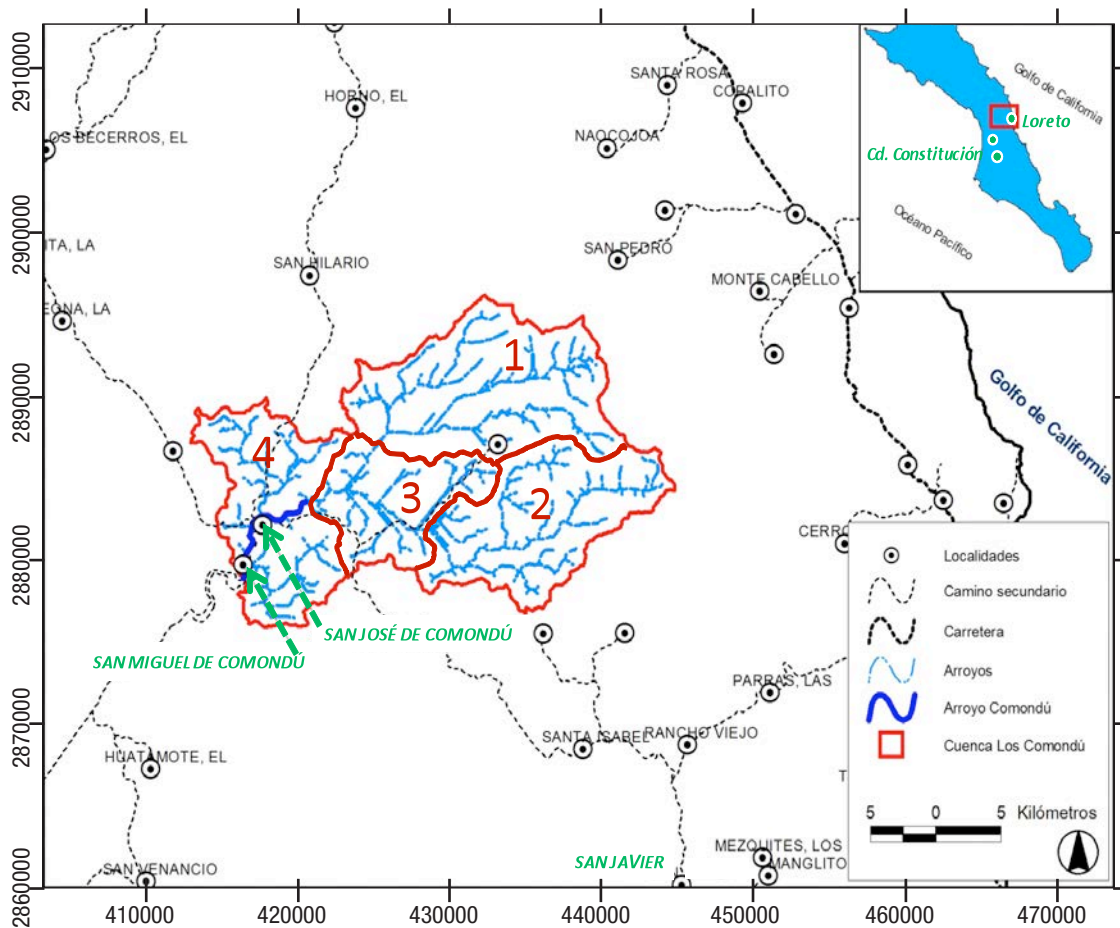


Figura 1. Localización del área de estudio (entre San José y San Miguel de Comondú, BCS., México) y del sistema de drenaje superficial.

bustivas denominadas comúnmente carrizos (*Phragmites communis* Trin. y *Arundo donax* Linneo) que se establecen en la orilla del cuerpo de agua y que se acompañan por otras hierbas acuáticas, principalmente de la familia de las ciperáceas y otras gramíneas (Jiménez & Salinas, 2007).

Además existen áreas de cultivo donde dominan el dátil (*Phoenix dactylifera* Linneo), el mango (*Mangifera indica*, Linneo) y diversos cítricos (*Citrus* spp.) que representan especies perennes de la herencia de los cultivos introducidos por misioneros jesuitas (1697-1768) (Ortega Santos, 2015). Routson (2012) presentó un listado (levantado en enero del 2010) del área cultivada total de 65.6 ha, donde reconoció a 19 especies introducidas por la misión San José de Comondú de un total de 42 especies de cultivos perennes, pertenecientes a diecinueve familias. Sólo en pocos lugares de la península se conservó la vegetación introducida por los misioneros; las inundaciones pueden provocar su desaparición del oasis.

La vegetación circundante del oasis corresponde al matorral sarcocaulé; entre los elementos relevantes de su elenco florístico se puede mencionar a *Olneya tesota* A. Gray 1855 (Fabaceae) y *Amoreuxia palmatifida* Moc. et Sessé ex DC., Prodr. 2: 638–639. 1825. (Cochlos-

permaceae), por ser especies incluidas en la NOM-059, así como *Cylindropuntia alcahes* var. *gigantensis* F. A. C. Weber 1895 (Cactaceae) (Jiménez & Salinas, 2007).

Para la realización de los cálculos requeridos para el análisis de las respuestas del sistema hidrológico al cambio climático, el trabajo se realizó en tres etapas:

1. Cálculo de la precipitación por medio del programa estadístico AX (Ajuste de Función de Probabilidad) para distintos periodos de retorno (Jiménez Espinosa *et al.*, 1997).
2. Cálculo de los volúmenes y caudales que arriban aguas arriba del oasis con el modelo hidrológico HEC-1, lo cual simula los procesos de precipitación-escorrentía superficial de los sistemas de cuencas dendríticas (USACE, 1990).
3. Determinación de las zonas de inundación con el modelo hidráulico HEC-RAS, modelo unidimensional empleado para cálculos hidráulicos y perfiles de agua superficial (USACE, 2010).

Análisis numérico. Para el análisis de la precipitación se tomó en consideración la estación climatológica “Comondú” (3008), localizada dentro

del poblado de San José de Comondú y operada por el Servicio Meteorológico Nacional. Según la base de datos de SMN (2012a), la estación climatológica se encuentra a una altura de 300 m sobre el nivel del mar. Los registros del clima iniciaron en el año 1938 y han permitido contar con información de variables relevantes para analizar los procesos ambientales en la zona. La forma más común de representar el carácter probabilístico de las precipitaciones es en términos de un periodo de retorno (recurrencia), que se interpreta como el lapso que en promedio transcurre entre la ocurrencia de fenómenos de cierta intensidad. Para dicho efecto, se realizó un análisis estadístico de la estación meteorológica Comondú, con la finalidad de definir las lluvias máximas esperadas en diferentes periodos de retorno para determinar los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 20, 50, 100, 500 y 1000 años.

El análisis estadístico se realizó utilizando el Software AX en su versión 1.05, elaborado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (Jiménez Espinosa, *et al.*, 1997). Dicho programa ajusta distintas funciones de probabilidad a muestras de datos y calcula el error estándar de cada una de las mismas respecto a las de la muestra de estudio. A partir de las condiciones climáticas de la región, se definió el método Doble Gumbel como el más adecuado para su aplicación al modelo, porque considera la precipitación como una mezcla constituida por precipitaciones convectivas y de origen ciclónico (Yáñez-Bautista, 2012). Una vez identificados los tiempos de retorno se utilizó el modelo HEC-1 para calcular los escurrimientos en respuesta a la precipitación sobre la cuenca hidrológica, que el modelo representa como un sistema de elementos hidrológicos interconectados. Los elementos incluyen subcuencas, uniones o confluencia de cauces, reservorios, fuentes y derivaciones, para los cuales se asignan atributos y parámetros. HEC-1 es un programa numérico de modelación de cuencas que contiene varios métodos, con los cuales se simulan escurrimientos superficiales y flujos en sistemas río-reservorios. El modelo hidrológico aunado a la estimación del posible daño por inundación provee las bases para la evaluación de proyectos de control de inundaciones (Feldman & Goldman, 1981). El resultado del proceso de modelación es el cálculo de hidrogramas hipotéticos de escurrimiento para una localidad específica. Para calcular el tiempo de retraso (el

intervalo de tiempo entre el centro de masa de la lluvia en exceso y el máximo flujo resultante), se utilizó el método Tulsa Rural (USACE, 1990), el cual se expresa con la siguiente fórmula:

$$T_{LAG} = Ct * \left[\frac{L * Lca}{\sqrt{S}} \right]^m$$

Dónde:

T_{LAG} = Tiempo de retraso (horas).

Ct = Coeficiente adimensional (varía entre 1.8 y 2.2, dependiendo del gradiente del terreno).

L = Longitud de la cuenca (millas).

Lca = Longitud al centroide (millas).

M = Coeficiente de poder, en este caso 0.3 (ver Taylor & Schwarz, 1952).

S = Pendiente de la línea de flujo máximo (pies / millas).

Los análisis hidrológico e hidráulico fueron realizados por medio de los programas HEC-1 y HEC-RAS (USACE, 1990, 2010). El modelo digital de elevaciones (MDE) fue generado por medio de datos topográficos en ASTER GDEM con el fin de definir zonas de inundación con escenarios de lluvias extremas. ASTER es un instrumento satelital de imágenes construido por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) y operado por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de los EE. UU. Las imágenes son recopiladas en 14 bandas espectrales a través de tres telescopios separados y sistemas de sensores. ASTER GDEM es producido mediante el procesamiento automático de las 1.5 millones de imágenes disponibles en la base de datos ASTER, incluyendo la correlación estereográfica para producir escenas individuales denominadas ASTER GDEM Masking de nubes con el fin de remover los pixeles que éstas representan, y así facilitar la remoción de interferencias y la corrección de valores incompletos (NASA, 2009). El modelo digital de elevaciones (MDE) generado con base al ASTER GDEM tiene una resolución nominal de 30 m en planimetría y brinda resultados satisfactorios para la modelación hidrodinámica (Werner, 2001; Wang, 2012).

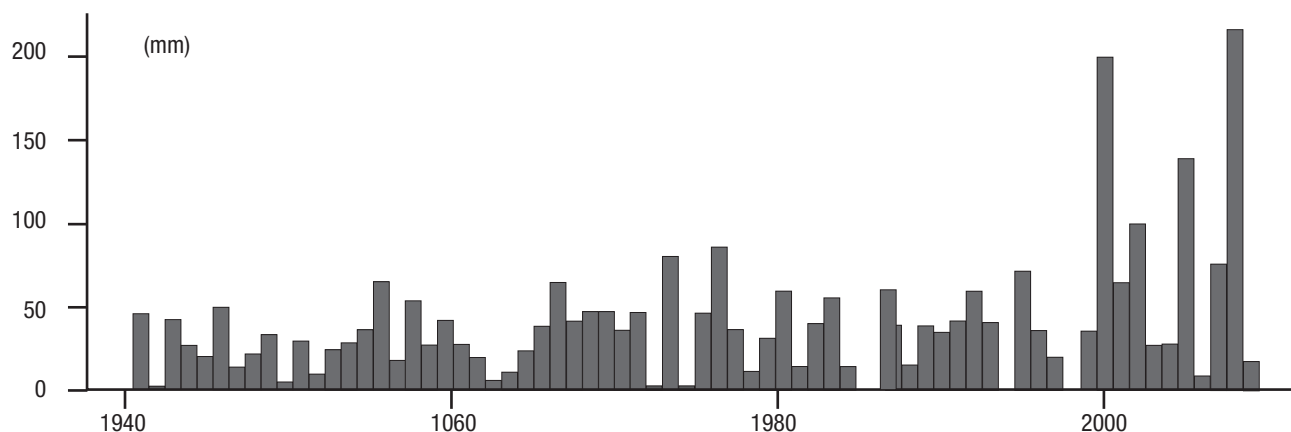
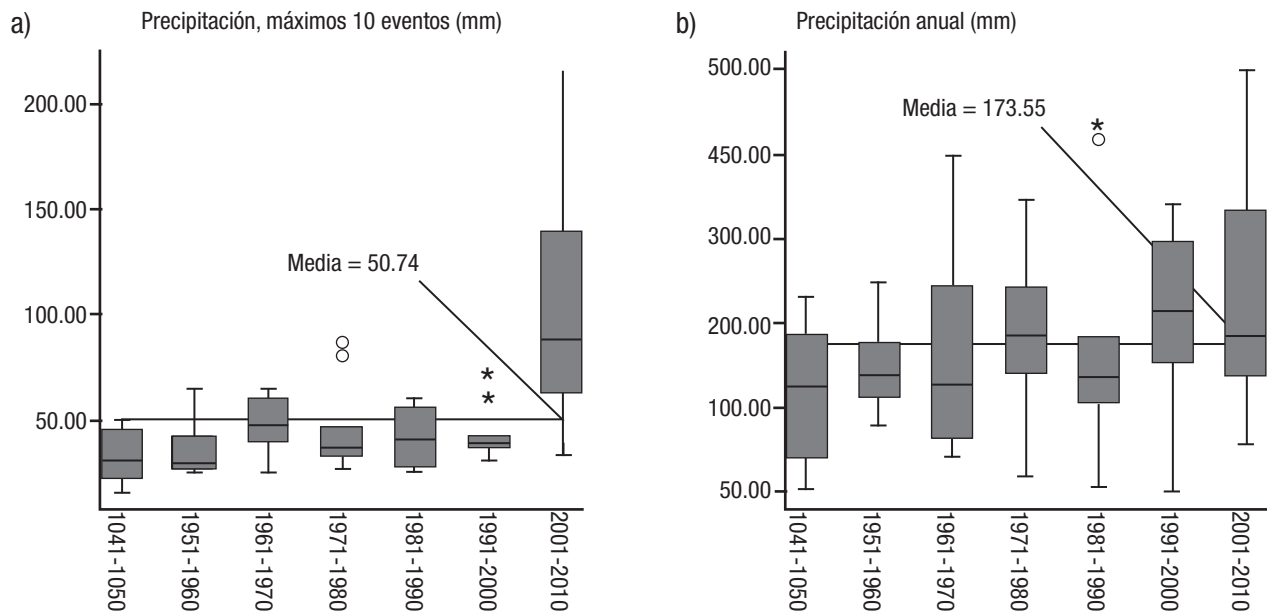


Figura 2. Promedio diario y máximo de precipitación en 24 horas por década-mes (registrado en la estación meteorológica 3008 Comondú, BCS., México); datos tomados de SMN (2012a).



Figuras 3a-b. a) Diez precipitaciones máximas (en 24 horas) por década representada en un diagrama de caja (box plot). b) Precipitación total anual, representada en un diagrama de caja (box plot).

Se utilizó el programa de parametrización topográfica TOPAZ (Garbrecht & Martz, 1997) para la delimitación de las cuencas hidrográficas, el cálculo de los parámetros morfométricos y la definición de redes de drenaje. TOPAZ es una herramienta de análisis que provee procesamiento y evaluación de DEM en formato raster para identificar rasgos topográficos (Martz, 2002). Se generó asimismo la planta topográfica refinada para el área del arroyo, sobre la cual se definieron secciones perpendiculares a la línea de flujo del arroyo, rasgo indispensable para la modelación hidráulica. La integración de los datos generados se realizó mediante el modelo hidráulico HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), un software integrado que permite realizar simulaciones hidráulicas unidimensionales para flujos de corrientes permanentes y variables (USACE, 2010). Mediante dicho software se puede modelar el comportamiento de un escurrimiento en respuesta

a la topografía, puentes, bordos y presas. El modelo HEC-RAS usa como base la Fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * Rh^{0.666} * \sqrt{S} * A$$

Donde:

Q = Gasto real máximo, m³/s.

S = Pendiente.

Rh = Radio Hidráulico (Área/Perímetro mojado), m.

A = Área (sección transversal), m².

n = Coeficiente de rugosidad Manning, en este estudio se utilizó n = 0.033.

Tabla 1. Parámetros morfométricos de la Cuenca Mesquital-Comondú, Baja California Sur, México y de sus subcuencas.

	Área (km²)	Pendiente	Longitud ^{*)} (km)	Factor forma	Sinuosidad	Elevación media (m.s.n.m.)
Subcuenca 1	120.3	0.26	16.577	2.28	1.08	626.4
Subcuenca 2	59.6	0.13	11.851	2.36	1.19	522.3
Subcuenca 3	108.7	0.30	16819.7	2.60	1.32	716.4
Subcuencas 1, 2, 3 entrada al arroyo Comondú	288.6	0.25	45.2	2.42	1.19	638.8
Subcuenca 4	88.4	0.13	11.3	1.45	1.42	488
Subcuencas 1, 2, 3, 4 después del arroyo Comondú	377.0	0.22	56.5	2.19	1.25	603.4
Toda la cuenca Comondú	853.2	0.15	135.5	3.17	1.58	513.9

^{*)} Longitud del cauce principal (km)

Tabla 2. Datos resultantes del análisis climático (estacion meteorológica 3008 Comondú (BCS, México) y modelación hidráulica entre San José y San Miguel de Comondú.

Tiempo de retorno (años)	Precipitación (mm)	Escurrencimiento (m^3/s)	Escurrencimiento (millones de m^3)	Área inundada (km^2)	Aumento del área de inundación (%)
10	92.15	382.7	9.981	0.930	10.1
20	116.18	607.2	15.837	1.031	22.0
50	147.22	930.1	24.259	1.093	29.3
100	170.29	1186.8	30.954	1.132	34.0
500	223.26	1811.4	47.247	1.206	42.7
1000	245.12	2221.3	57.233	1.244	47.2

Para la delimitación de áreas inundables se realizaron los siguientes pasos: para la preparación geométrica del modelo se empleó la extensión GEO-RAS, creando una red triangular (TIN) mediante curvas de nivel a 1 m de equidistancia. Se definió el cauce principal, la dirección de flujo, secciones transversales cada 50 m para el cauce principal, los bordos y límites del arroyo. Una vez construidas las geometrías se ingresaron los escurrencimientos generados por el modelo HEC-1, el cual se ejecutó en modalidad supercrítica. Con la información obtenida se definieron las zonas de inundación para cada tiempo de retorno. Los mapas resultantes se presentan en la Figura 6.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los parámetros morfométricos, obtenidos por medio del programa TOPAZ para la cuenca Comondú y las subcuencas 1, 2, 3 y 4 (Fig. 1). Al inicio del arroyo Comondú se observa (subcuencas 1,2,3) una pendiente media del cauce principal de 25%, lo cual indica un relieve escarpado (con excepción de la subcuenca 2) que propicia altas velocidades del caudal en caso de tormentas al ingresar al arroyo Comondú (subcuenca 4).

En la Figura 3a se presenta en un diagrama de caja (*boxplot*) las diez precipitaciones máximas (en 24 horas) por década y en la Figura 3b

la precipitación diaria máxima, analizada por décadas. Según los datos del SMN (2012c), la precipitación máxima diaria refleja un aumento en la intensidad de lluvias observadas en la última década (2001-2010), en comparación con las precipitaciones de las seis décadas anteriores.

Las lluvias más intensas ocurren en el verano, entre los meses de agosto y octubre, corroborando la proporción entre lluvias veraniegas e invernales definida por CNA (2002). Aunque la temporada de huracanes empieza para la región en mayo y termina en noviembre, las lluvias más intensas ocurren entre agosto y octubre (57%), mientras que las invernales entre diciembre y enero (38%). De acuerdo con el SMN (2013a), las tres lluvias más intensas de la última década ocurrieron en los años 2006, 2001 y 2009 siempre en septiembre y fueron de 140, 200 y 217 mm (Fig. 2). De los cálculos de tiempos de retorno, utilizando las bases de datos de precipitaciones diarias de SMN (2012b), se obtuvieron los valores que se muestran en la Tabla 2.

Comparados el análisis estadístico y el cálculo de tiempo de retorno, resulta evidente que los eventos extremos de precipitación (en 24 horas) sugieren una tendencia al alza que los acerca a los tiempos de retorno de 1000 años. Para el caso de la estación meteorológica Comondú, la precipitaciones de 200 y 217 mm, registrados en 2001 y 2009, estuvieron a sólo 45 y 28 mm por debajo del evento calculado para 1000 años. De seguir las tendencias pronosticadas, los datos es-

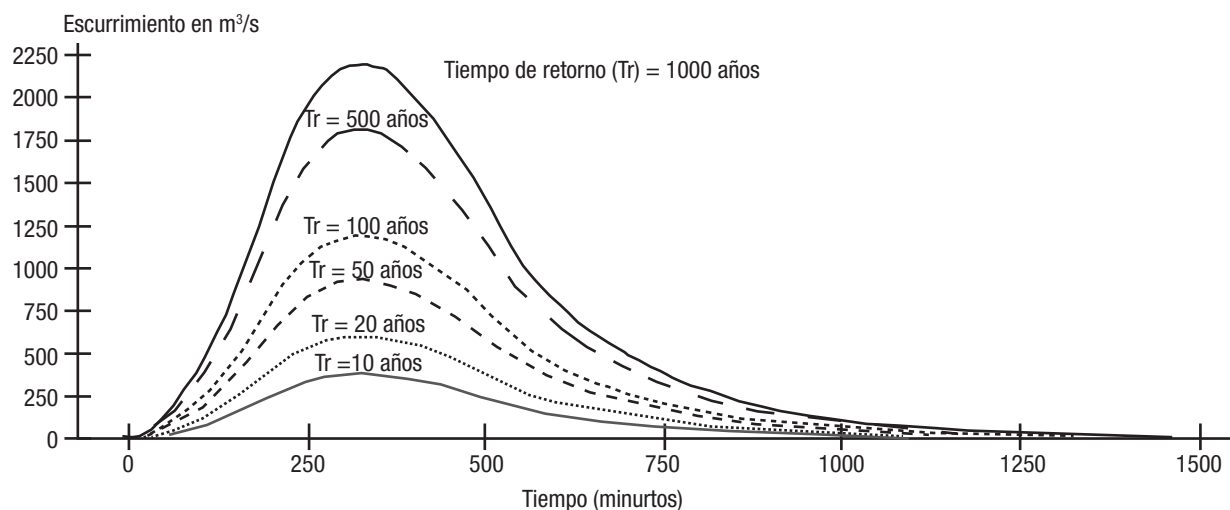
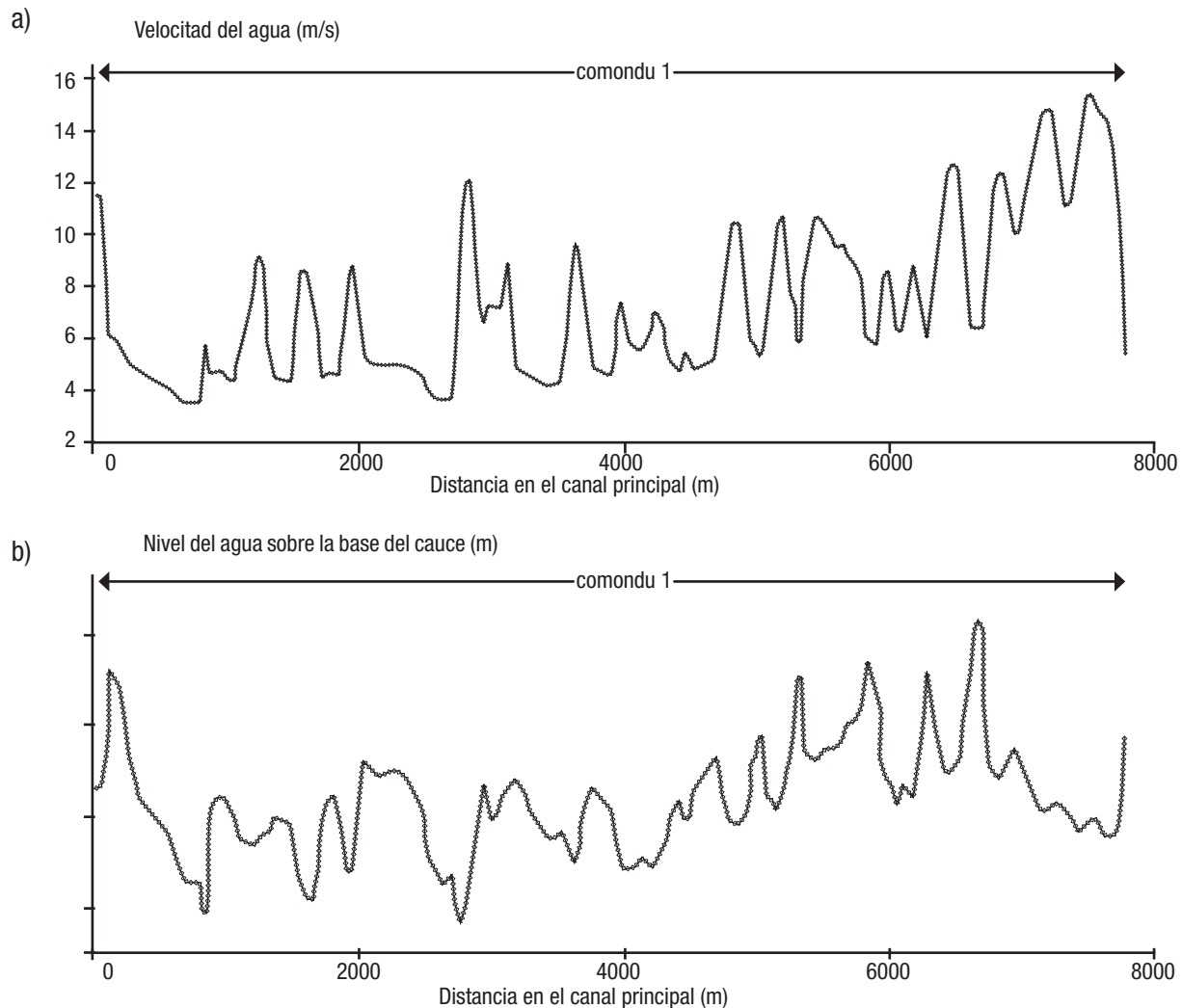


Figura 4. Hidrogramas resultantes de la modelación hidrológica a distintos tiempos de retorno (arroyo Comondú, aguas arriba de San José de Comondú, BCS., México).



Figuras 5a-b. a) Velocidad del agua (en m/s) alcanzada por el escurrimiento de 1000 años a lo largo del trayecto modelado (entre los manantiales de San José de Comondú y San Miguel de Comondú, BCS., México). b) Profundidad hidráulica alcanzada por el escurrimiento de 1000 años a lo largo del trayecto modelado (entre los manantiales de San José de Comondú y San Miguel de Comondú).

tudiados indicarían que en un periodo de tiempo relativamente corto, se pudiera presentar una mayor frecuencia de eventos similares o inclusive por encima del evento de 1000 años. Lo antes expuesto implica que un incremento importante de los caudales conllevaría mayor riesgo de las zonas de inundación, las cuales en el caso de la región de los Comondú se encuentran ocupadas por zonas urbanas y rurales. Los caudales resultantes del análisis hidrológico, calculados a partir de los tiempos de retorno con el modelo hidrológico, se muestran en la Tabla 2, por su parte, la Figura 4 muestra el hidrograma obtenido para cada uno de estos caudales.

Debido a la fisiografía característica del área de estudio, en la cual el arroyo se encuentra flanqueado por fuertes elevaciones topográficas, el impacto de un aumento del caudal en el arroyo se reflejaría con mayor intensidad en la magnitud del flujo superficial, velocidad y altura, que en un aumento del área de inundación (ver Tabla 2). Los caudales resultantes de los eventos simulados muestran un importante aumento

de los niveles en el drenaje de la cuenca. A partir del cálculo para un evento de 1000 años, las zonas más estrechas del cauce del arroyo Comondú alcanzarían velocidades de hasta 15 m s⁻¹ (Fig. 5a) y niveles hasta de 4.2 m sobre el lecho del arroyo (Fig. 5b).

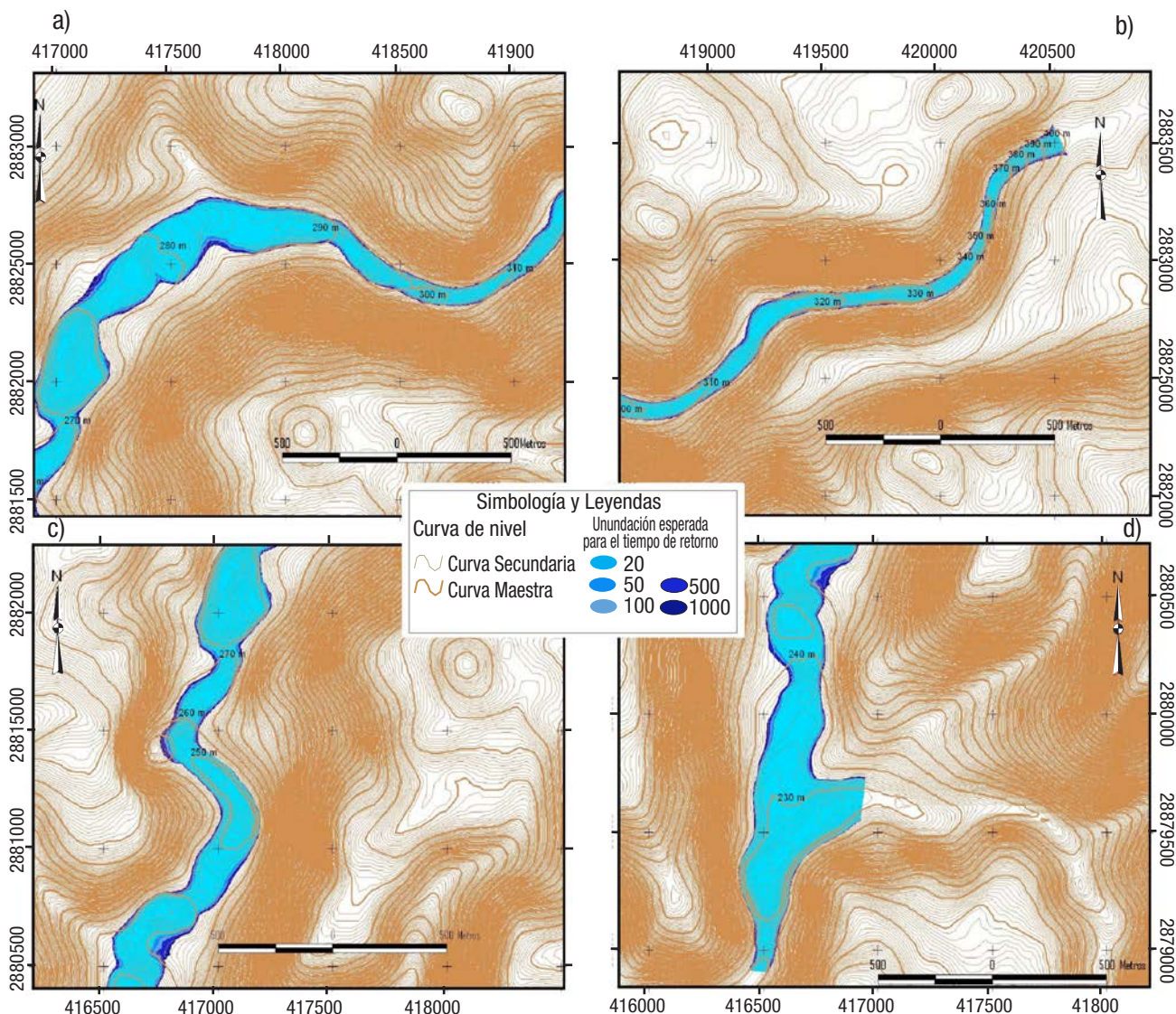
La Figura 6 muestra los efectos en el arroyo Comondú en un mapa ante diferentes eventos de precipitación, donde se puede apreciar que la respuesta del arroyo es de un incremento en el área de inundación. Al tomar como referencia un área de inundación de 0.845 km², lo cual corresponde a una lluvia máxima en 24 horas para un tiempo de retorno de 2 años (40 mm de lluvia), se aumentaría la zona afectada hasta 10.1% respecto al tiempo de retorno de 10 años, de 34.0% para 100 años, 42.7% para 500 años y 47.2% para 1000 años. La ocurrencia de un evento de 1000 años generaría importantes afectaciones en las poblaciones de los Comondú; según el mapa de la cañada del oasis propuesto por Tenza *et al.* (2013) se afectarían cerca de 86,864 m² en la zona urbana y 201,570 m² en la zona de cultivo.

DISCUSIÓN

El cambio climático, ya sea como un resultante de actividades antropogénicas o como parte de un ciclo natural, es un fenómeno real y medido que está ocurriendo a nivel global. Diversos modelos se han realizado con el fin de cuantificar por regiones los efectos del cambio climático. Para el caso de la región de estudio, los pronósticos elaborados por Christensen *et al.* (2007), Gay *et al.* (2006) e INE (2012), indican una tendencia a la sequía y disminución de la precipitación anual. Sin embargo, en los Comondú el promedio anual de precipitación presenta la tendencia a una ligera alza, lo que contrasta con el pronóstico de la precipitación por los modelos AGCM, GFDL-R30, CCCM (ver Introducción). En este contexto, los datos del SMN (2012c) reflejan un aumento significativo en la intensidad de lluvias extremas observadas en la última década (2001-2010), con respecto a las precipitaciones observadas en las seis décadas anteriores (Fig. 3). Este tipo de inconsistencias, al parecer, obedecen al nivel de detalle de los modelos, por lo cual se

requieren análisis y modelaciones hidráulicas a nivel local, con el fin de conocer a detalle la forma en la que el cambio climático se manifiesta en determinadas poblaciones y/o regiones.

Para el caso de los Comondú, se observa una clara tendencia a la alza en los datos de precipitación extrema de 24 horas, que se acercan al evento de los 1000 años, lo cual implica que el peligro de inundaciones en las zonas pobladas y de cultivos aumenta considerablemente. La falta de mediciones actuales del escurrimiento en el estado de Baja California Sur dificulta un análisis preciso de los efectos del cambio climático. Por lo anterior, es de suma importancia medir los escurrimientos y continuar realizando modelos climáticos e hidráulicos para poder cuantificar los efectos locales que se pudieran esperar ante el fenómeno extremo de escurrimiento y así tomar las medidas adecuadas en lo científico, técnico, social y económico para proteger y salvaguardar a las poblaciones de esta región, con base en la incidencia, magnitud y precipitaciones de los ciclones.



Figuras 6a-d. Áreas de inundación según las seis escenarios en la región de Los Comondú, Baja California Sur, México. a) Zona entre los manantiales y San José de Comondú. b) Área de San Jose de Comondú. c) Área entre San José de Comondú y San Miguel de Comondú. d) Área de San Miguel de Comondú.

REFERENCIAS

- ANONYMOUS. 2009. *Global DEM Validation; Summary Report*. In cooperación with NGA and other collaborators. METI (Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan), NASA (United States National Aeronautics and Space Administration) & USGS (U.S. Geological Survey). 28 p. Disponible en línea en: https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/aster/docs/ASTER_GDEM_Validation_Summary_Report.pdf (consultado el 11/09/2013).
- ARANDA-GÓMEZ, J. & J. A. PÉREZ-VENZOR. 1988. Estudio geológico de Punta Coyotes, Baja California Sur: Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista del Instituto de Geología* 7: 1-21.
- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2015. Actualización de la disponibilidad de agua en el acuífero Santo Domingo estado de Baja California Sur. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, México, 29 p. Disponible en línea en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102796/DR_0306.pdf. (consultado el 24 de marzo del 2016).
- CHRISTENSEN, J. H., B. HEWITSON, A. BUSUIOC, A. CHEN, X. GAO, I. HELD, R. JONES, R. K. KOLLI, W.-T. KWON, R. LAPRISE, V. MAGAÑA RUEDA, L. MEARNES, C. G. MENÉNDEZ, J. RÄISÄNEN, A. RINKE, A. SARR & P. WHETTON. 2007. Regional Climate Projections. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 849-926
- FELDMAN, A. D., P. B. ELY & D. M. GOLDMAN. 1981. *The new HEC-1 Flood Hydrograph Package*. U.S Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, California. 34 p.
- GAY, C., C. CONDE, H. EAKIN, R. SEILER, M. VINOUCUR & M. WEHBE. 2006. *Vulnerability and Adaptation to Climate Change: The Case of Farmers in Mexico and Argentina*. Reporte Final del proyecto: Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), LA-29. International START Secretariat. Washington, DC. EEUU. 173 p. Disponible en línea en: http://www.start.org/Projects/AIACC_Project/Final%20Reports/Final%20Reports/FinalRept_AIACC_LA29.pdf (consultado el 24 de marzo del 2016).
- GARBRECHT, J. & L. W. MARTZ. 1997. TOPAZ Version 1.20: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization - Overview. Rep.#GRL 97-2, Grazinglands Research Laboratory, USDA, Agricultural Research Service, El Reno, Oklahoma, 21 p.
- GARCÍA, E. & CONABIO (Comisión Nacional de Biodiversidad). 1998. Mapa de Climas; clasificación de Koppen, modificado por García. Escala 1:1,000,000. México.
- HAUSBACK, B. P. 1984. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, México. *Geology of the Baja California Peninsula. Pacific Section SEPM*, Tulsa, United States 39: 219-236.
- HEIM, A. 1922. Notes on the Tertiary of southern Lower California. *Geologic Magazine* 59: 529-547.
- IMTA (INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA). 2010. *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México, ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México, Volumen III*. 164 p. Disponible en línea en: https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/atlas-2016/files/assets/common/downloads/publication.pdf. (consultado el 24 de marzo del 2016).
- IVANOVA A. Y A. E. GÁMEZ (Eds.). 2012. *Plan estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur*. Disponible en línea en: http://spyde.bcs.gob.mx/cgds/files/proyectos/PEACC/foros/PLAN_ESTATAL_DE_ACCION_ANTE_EL_CAMBIO_CLIMATICO-BCS_documento_para_consulta_publica.pdf. (consultado el 24 de marzo del 2016).
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). 1996. *Estudio geohidrológico del estado de Baja California Sur*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía del estado de Baja California Sur. México. 179 p.
- JIMÉNEZ, F. E. J. & D. SALINAS. 2007. *Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR)*. Versión 2006-2008. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en línea en: ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/104.pdf (consultado el 24 de marzo del 2016).
- JIMÉNEZ ESPINOSA, M., R. DOMÍNGUEZ MORA & M. CRUZ. 1997. *Manual de operación de los programas AX.exe y Carachid.exe (para hidrología)*. Centro Nacional de Protección de Desastres, Área de Riesgos Hidrométricos, 32 p.
- Köppen, W. 1936. *Das geographische System der Klimate*. Bornträger Verlag, Berlin. 44 p.
- MARTZ, L. W. 2002. *SLURP-TOPAZ Overview and Applications*. Background Material for MAGS Model Training Workshop, 4-5 September 2002, York University, Toronto, Canada, 51 p.
- MEEHL, G. A., T. F. STOCKER, W. D. COLLINS, P. FRIEDLINGSTEIN, A. T. GAYE, J. M. GREGORY, A. KITOH, R. KNUTTI, J. M. MURPHY, A. NODA, S. C. B. RAPER, I. G. WATTERSON, A. J. WEAVER & Z. -C. ZHAO. 2007. *Global Climate Projections*. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (Eds.). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom pp. 747-846.
- ORTEGA SANTOS, A. 2015. Diálogo de saberes ambientales entre Europa-América. Agroecosistemas oasianos en Baja California Sur. *XVIII-XX, Asclepio* 67 (1): 76. DOI: 10.3989/asclepio.2015.02
- PACHAURI, R. K AND REISINGER, A. (Eds.). 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.
- ROUTSON, R. 2012. Conservation of agro-biodiversity in Baja California Oases. A Dissertation Submitted to the Faculty of the School of Geography and Development. Thesis for Degree of Doctor in Philosophy. The University of Arizona, Arizona, USA (2012), 417 p. Disponible en línea en: <http://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/228179> (consultado el 24 de marzo de 2016).

- SAWLAN, M. G. & J. G. SMITH. 1984. Petrologic characteristics, age and tectonic setting of Neogene volcanic rocks in northern Baja California Sur, México. *Geology of the Baja California Peninsula. Pacific Section SEPM*, Tulsa, United States (39): 237-252.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). 2000. *Carta Geológico-Minera 1:250000* Clave G12-7-8, Villa Constitución, Baja California Sur, México. Disponible en línea en: http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/22_G12-7-8_GM.pdf (consultado el 5 de agosto de 2015).
- SMN (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL). 2012a. *Estadística descriptiva de la estación meteorológica 3008 Comondú*. Disponible en línea en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Estadistica/3008.pdf> (consultado el 5 de agosto de 2013).
- SMN (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL). 2012b. *Base de datos de precipitaciones, evaporación y temperaturas diarias de la estación meteorológica 3029 La Purísima*. Disponible en línea en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/3028.txt> (consultado el 5 de agosto de 2013).
- SMN (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL). 2012c. *Base de datos de precipitaciones, evaporación y temperaturas diarias de la estación meteorológica 3008 Comondú*. Disponible en línea en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/3008.txt> (consultado el 5 de agosto de 2013).
- SMN (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL). 2013a. *Normales climatológicas de la estación meteorológica 3008 Comondú*. Disponible en línea en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL03008.TXT> (consultado el 3 de agosto de 2013).
- SMN (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL). 2013b. *Base de datos climatológicos mensuales de la estación meteorológica 3008 Comondú*. Disponible en línea en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Mensuales/bcs/00003008.TXT> (consultado el 5 de agosto de 2013).
- TAYLOR, A. B. & H. E. SCHWARZ. 1952. Unit-Hydrograph Lag and Peak Flow Related to Basin Characteristics. *Transactions, American Geophysical Union* 33 (2): 235-246.
- TENZA, A., A. BRECEDA, M. CARIÑO, J. MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ & A. GIMÉNEZ. 2013. *Claves de sustentabilidad de agroecosistemas tradicionales basados en regadíos y ganadería extensiva en oasis de Baja California* (México). DOI: 10.13140/RG.2.1.1789.1920.
- UNFCCC (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE). 2007. *Impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries*. United Nations Climate Change Secretariat, Bonn, Germany. 68 p.
- USACE (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS). 1990. *HEC-1. Flood Hydrograph Package. User's Manual. Hydrologic*. Engineering Center, Davis, California, U.S.A. 24 p.
- USACE (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS). 2010. *User's manual for HEC-RAS Versión 4.1*. Hydrologic Engineering Center, Davis, California, U.S.A. 790 p. Disponible en línea en: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf. (consultado el 5 de agosto de 2013).
- WANG, W., X. YANG & T. YAO. 2012. Evaluation of ASTER GDEM and SRTM, and their Suitability in Hydraulic Modeling of a Glacial Lake Outburst Flood in Southeast Tibet. *Hydrological Processes* 26: 213-225. DOI: 10.1002/hyp.8127
- WERNER, M. G. F. 2001. Impact of Grid Size in GIS Based Flood Extent Mapping using a 1D Flow Model. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 26: 517-522. DOI: 10.1016/S1464-1909(01)00043-0
- YAÑEZ-BAUTISTA, S. 2012. Análisis de la precipitación y escurrimiento en cinco cuencas de la región hidrológica XI Grijalva-Villahermosa, contrastando métodos tradicionales con el modelo japonés de alta resolución. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN. México. 104 p. Disponible en línea en: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/7179> (consultado el 5 de agosto de 2013).

Species composition and assemblage structure of microfouling diatoms growing on fiberglass plates off the coast of Yucatán, Mexico

Composición de especies y estructura de asociaciones de diatomeas incrustantes sobre fibra de vidrio en costas de Yucatán, México

Francisco Omar López-Fuerte^{1,2}, David A. Siqueiros-Beltrones³, Lucien Veleva⁴ and Dora A. Huerta-Quintanilla⁵

¹Laboratorio de Sistemas Arrecifales, Depto. Académico de Economía, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur, Km. 5.5 s/n, La Paz, Baja California Sur, 23080. México

²Colección de Microalgas, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Avenida Instituto Politécnico Nacional 195 s/n, Col. Playa Palo de Sta. Rita, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

³Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Plancton y Ecología Marina, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). Avenida Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

⁴Instituto Politécnico Nacional, Laboratorio de Físicoquímica, Departamento de Física Aplicada, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Unidad Mérida (CINVESTAV) Km. 6 Antigua carretera a Progreso, Cordemex, s/n, Col. Loma Bonita Xcumpich, Mérida, Yucatán, 97310, México

⁵Instituto Politécnico Nacional, Laboratorio Nacional para el análisis de Nano y Biomateriales, CINVESTAV e-mail: dsiquei@gmail.com

Recibido: 21 de septiembre de 2015. **Aceptado:** 15 de septiembre de 2016.

López-Fuerte F. O., D. A. Siqueiros-Beltrones, L. Veleva and D. A. Huerta-Quintanilla. 2017. Species composition and assemblage structure of microfouling diatoms growing on fiberglass plates off the coast of Yucatán, Mexico. *Hidrobiológica* 27 (1): 23-37.

ABSTRACT

Background. It is generally accepted that exopolymer films secreted by diatoms promote the onset of macrofouling on surfaces of materials used in marine environments. However, few studies provide precise information at species level regarding the microfouling process. The use of anti-fouling paints on different surfaces to create a toxic environment may aid in precluding development of the initial diatom microfilm leading to macrofouling. **Goals.** To describe the species composition and the structure of fouling diatoms. **Methods.** We analyzed assemblages growing on fiberglass plates, coated and uncoated with antifouling paint, fixed on PVC stands submerged at a 10-m depth. Because diatoms are opportunistic, fast growing microalgae that proliferate on many substrates, our hypothesis was that diatom assemblages growing on fiberglass surfaces, coated or uncoated with antifouling paint, would not differ in their structure. **Results.** Floristic analysis yielded 170 diatom taxa and similar assemblages with high values of diversity occurring on both surfaces. **Conclusions.** In keeping with our hypothesis, both colonized fiberglass surfaces compare to living substrata that favor the growth of diatom associations that exhibit high species diversity. This information will be useful in environmental studies, such as pollution abatement, and for the design and maintenance of fishing boats and industrial equipment prone to biofouling.

Key words: Bacillariophyceae, colonization, Coscinodiscophyceae, fiberglass substrate, fouling diatoms, Fragilariophyceae.

RESUMEN

Antecedentes. Las películas de exopolímeros secretadas por diatomeas promueven el establecimiento de organismos macroincrustantes en superficies de materiales utilizados en ambientes marinos. No obstante, pocos estudios proveen información taxonómica precisa a nivel especie relativa al proceso de microincrustación. La aplicación de pinturas antiincrustantes sobre distintas superficies para crear condiciones tóxicas podrían coadyuvar en impedir el desarrollo de la micropelícula inicial de diatomeas que conlleva a la macroincrustación. **Objetivos.** Describir la composición de especies y la estructura de asociaciones de diatomeas incrustantes. **Métodos.** Se analizaron asociaciones desarrolladas sobre placas de fibra de vidrio, cubiertas con pintura antiincrustante y sin pintura, sujetas a postes de PVC sumergidos a 10 m de profundidad. Dado que las diatomeas son microalgas oportunistas de rápido crecimiento que proliferan sobre múltiples sustratos, nuestra hipótesis fue que las asociaciones de diatomeas que colonizarían las placas de fibra de vidrio con o sin recubrimiento antiincrustante no diferirían en estructura o composición de especies. **Resultados.** El análisis florístico redituó 170 taxa de diatomeas y asociaciones similares con valores altos de diversidad. **Conclusiones.** En acuerdo con nuestra hipótesis, ambas superficies son comparables a sustratos vivos que favorecen el crecimiento de asociaciones de diatomeas con alta riqueza de especies. Esta información será útil en estudios ambientales sobre contaminación, y en el diseño y mantenimiento de botes de pesca, así como de equipo industrial marino susceptible a colonización por microalgas.

Palabras clave: Bacillariophyceae, colonización, Coscinodiscophyceae, diatomeas incrustantes, fibra de vidrio, Fragilariophyceae,

INTRODUCTION

Surfaces of materials used in marine environments rapidly become coated by a conditioning biofilm, also referred to as microfouling, which is highly variable in time and heterogeneous in its composition (Patil & Anil, 2008). These biofilms consist mainly of attached bacteria and diatoms, with all components enmeshed in a matrix of extracellular polymers secreted during the construction of biofilms (Cooksey *et al.*, 1980). Microfouling modifies the substrate surface chemistry and strongly influences the subsequent colonization by macrofouling organisms. Moreover, it is generally accepted that exopolymer films secreted by diatoms promote the onset of macrofouling by conditioning the original substrate for the settlement of invertebrate larvae (Characklis & Cooksey, 1983; Qian *et al.*, 2003; Patil & Anil, 2005a).

Benthic diatoms usually have been identified as major microfoulers of artificial substrata placed in the marine environment, although the source may be the water column itself or nearby surfaces that may function as islets (Fernandes *et al.*, 1999). However, many diatom species, which turn out to be abundant in artificial substrata, are not considered typically from rocky or other hard substrata but are epipelagic forms (Siqueiros-Beltrones, 2002).

The structure and composition of the microfouling community exhibits wide temporal and regional variations that are also influenced by the substratum (Cooksey *et al.*, 1984; Patil & Anil, 2005b). These changes in community structure are influenced by various biotic and abiotic factors and play an important role in the temporal dynamics of microfouling and macrofouling. Eventually, any diatom assemblage (regardless of the substratum) may reach a climax; then the film may degenerate and clumps of the more abundant taxa detach and drift away, becoming potential colonizers of any available surface, thus disrupting the classical colonizing sequence from pioneer (prostrated) forms to erect climax forms (Siqueiros-Beltrones, 2002). Hence, it is important to understand the species composition of diatoms during biofilm formation. Such information will be useful in environmental studies, such as pollution abatement and the design and operation of industrial equipment which are prone to biofouling.

Fouling diatoms. Extensive qualitative studies on the fouling diatom are important in order to gain understanding about autoecological processes and behavior of certain taxa under changing environmental conditions. Few studies provide precise taxonomic information at a species level in the development of microfouling processes. Of the hundreds of existing diatom genera, only a few have been documented as constant components of the microfouling, such as *Amphora*, *Licmophora*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Cocconeis*, and *Achnanthes*. The most commonly reported species include *Halamphora coffeiformis* (C. Agardh) Levkov, *Achnanthes longipes* C. Agardh, *Craspedostauros australis* E. J. Cox, *Toxarium undulatum* J. W. Bailey, and *Navicula perminuta* Grunow (Molino & Wetherbee, 2008).

Studies reveal that diatoms have specific preferences among artificial substrata (Mittavkar & Anil, 2000), e.g., higher diatom recruitment has been observed on fiberglass (hydrophobic) than on glass (hydrophilic) surfaces (Patil & Anil, 2005a), although heavy fouling was incidentally documented on silicon treads used to fix aluminum foil collectors (Siqueiros-Beltrones, 2002).

Glass fiber reinforced polymer (GFRP) is one of the structural composite materials widely used in engineering applications in seawater for

building and repairing boats, offshore structures in the oil industry, and many others. It is composed of two phases: the plastic one is termed the matrix, which is continuous and surrounds the fiber reinforcement embedded and dispersed into a matrix that holds it together (Loewenstein, 1973; Gupta & Kothari, 1997).

Most of these early applications have been driven by the need to overcome the corrosion problem experienced with steel and aluminum alloys. Another reason for using GFRP has been to reduce weight, particularly the topside weight of ships. Over 95% of all composite marine craft are built with GFRP because of its low cost and excellent degradation (corrosion) resistance in seawater (Loewenstein, 1973). GFRP is usually almost free of defects, with high fiberglass content for maximum stiffness, strength, and fatigue resistance.

However, it has been recognized for several decades now that the use of anti-fouling paints on different surfaces to create a toxic environment may aid in precluding development of the initial microfilm leading to macrofouling (Robinson *et al.*, 1985), but the effectiveness of anti-fouling paints may vary. Thus, because diatoms are opportunistic fast-growing microalgae that proliferate on almost any substrate, given adequate conditions of humidity and nutrients, the concomitant hypothesis for this study posits that diatom assemblages growing on fiberglass surfaces coated with antifouling paint will not differ in their structure from assemblages growing on uncoated surfaces. To our knowledge, this is the first study on fouling diatoms growing on fiberglass surfaces, a common material used in fishing boats in the Caribbean Sea, whose duration is significantly diminished by fouling processes.

MATERIALS AND METHODS

Exposure of samples and their characterization. Biofilms grew for 2, 4, and 18 months on 30 (100x40x2 mm) glass-fiber-reinforced polymer plates (GFRP), with only one side coated with antifouling acrylic paint (as commercially sold for boat construction) immersed in Caribbean seawater. The polymer plates were fixed on PVC stands submerged at a 10-m depth, 10 km off the Telchac marine station of CINVESTAV-Mérida, located in Yucatán, Mexico between 21°7' N and 89°25' W. The microfouling assays began in March 2011. After different periods of exposure, triplicate samples of each material were removed from the sea for observation to determine the type of biofouling adhered to the material surfaces. At the end of the essays in August 2012, the rest of the samples was removed for assessment. Likewise, next to the stands a sediment sample was collected with a spatula (using the top of a box of Petri as a mold); this was kept in the same Petri dish in ice and in darkness.

Seawater chemistry. Physical and chemical data were measured in the laboratory a day after each sampling. Seawater is a very aggressive medium for materials and can cause severe damage in a very short time. Usually seawater contains ions (in decreasing quantities) of Cl⁻, Na⁺, SO₄²⁻, Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, HCO₃⁻, Br⁻, B³⁺, Sr²⁺, F⁻, and dissolved gases, such as O₂ and CO₂. Thus, seawater at 10-m depth was analyzed for total salinity, dissolved oxygen, temperature specific sea nutrients, ammonium, silicates, phosphates, nitrites, and nitrates.

Diatom flora. Three plates were recovered after two months and processed 24 hours after being removed from the stands. Plates obtained after four and 18 months were stored for 4 weeks to separate the diatoms. The two-month microalgae film that was detached from

both sides of the fiberglass plates (coated and uncoated) and those that were separated from the sediments were preserved in ethanol (96%). Microalgae detached from plates submerged four and 18 months were treated as a compound sample, without differentiating coated from uncoated surfaces, and were used solely for floristic purposes. Part of the samples was observed under the microscope to ensure the existence of live diatoms.

In order to clean the diatom frustules by removing all organic matter, the samples were oxidized following the technique by Siqueiros-Beltrones and Voltolina (2000) in which a mild exothermic reaction is carried out mixing a portion of the sample with commercial ethanol (96%) and nitric acid at a 1:3:5 ratio. The oxidized material was then rinsed with tap water until a pH >6 was reached. Afterwards, six permanent preparations were mounted using Pleurax and Zrax (IR 1.7). Cleaned material was also mounted on stubs and covered with a film of graphite spray (Aerodag® G, PELCO®) for observation in a scanning electron microscope (Jeol JSM-7600F). Diatom identification was done at 400X and 1000X under a Zeiss compound microscope equipped with phase contrast, following the works of Schmidt *et al.* (1874-1959), Peragallo and Peragallo (1897-1908), Navarro (1982), Foged (1984), Witkowski *et al.* (2000), Siqueiros-Beltrones (2002), and López-Fuerte *et al.* (2010). The floristic list was constructed according to Round *et al.* (1990) and updated in www.algaebase.org (Guiry & Guiry, 2014).

Assemblage structure. To determine the relative abundances of the diatom taxa, a sample size of 150 individuals (frustules) per slide was chosen. Numerical analyses were done twice, examining one slide from each plate and one from the sediments.

Species diversity of the diatom assemblages was estimated based on information theory (\log_2) only on the plates submerged for two months, inasmuch as the four- and 18-month samples were not differentiated by surface (coated and uncoated), but rather as a compound sample, and thus were used for species composition analysis of the assemblages and similarity measurement by date. Values of diversity based on information theory were computed using Shannon's H' and Pielou's evenness (J'). Simpson's diversity index ($1-\lambda$) and dominance (λ) were also estimated (Brower & Zar, 1984) to better interpret our estimates of diversity by considering criteria that weight rare and common species differently (Siqueiros-Beltrones, 1990).

To measure similarity among diatom assemblages, samples were compared on the basis of presence/absence of species using Jaccard index, considering also their relative abundances using Bray Curtis Index (Magurran, 1988). These were fed into Program Primer V.5 based on an agglomerative classification module with flexible algorithm (Clarke & Gorley, 2001).

RESULTS

Seawater chemistry. The seawater had total salinity of 37.48, a pH of 7.69, dissolved oxygen 1.1 ppm, and a temperature of 21°C, at a depth of 10 m. Specific nutrients were (expressed in $\mu\text{M L}^{-1}$): 1.75 ammonium, 2.61 silicates, 0.28 phosphates, 0.04 nitrites, and 1.84 nitrates.

Diatom flora. In general, the diatoms recruited on the fiberglass plates during the study were abundant and diverse (Figures 1, 2, 3). Taxonomic observations yielded 170 diatom taxa including species, varieties, and forms within 61 collected genera of diatoms from the fiberglass

plates and sediments (Table 1). During the quantitative analysis, a total of 1,117 valves were counted. The Bacillariophyceae were the most diverse class with 129 taxa, the Coscinodiscophyceae yielded 22, and the Fragilariophyceae 19. As in other similar studies, diatom assemblages were dominated by several pennate species (Cassé & Swain, 2006; Molino *et al.*, 2009; Zargiel *et al.*, 2011; Sweat & Johnson, 2013). Out of the 60 identified genera, the one with most species were *Amphora* and *Nitzschia* with 13 and *Diploneis* and *Mastogloia* with 11. Meanwhile, 35 genera were represented by a single species, mostly uncommon. Sixty-nine taxa were recorded only once during the quantitative phase, while 35 taxa were recorded only from the two-month submerged plates, nine from the four-month plates, four from the 18-month submerged plates, and 28 were recorded exclusively from sediments. Thus 83% of the recorded taxa in the sediments were present in the fiberglass plates. Only four taxa occurred in the three periods: *Amphora turgida* Gregory, *Mastogloia crucicula* (Grunow) Cleve, *Rhopalodia musculus* (Kützing) O. Müller, and *Grammatophora serpentina* (Ralfs) Ehrenberg.

Overall, the estimated diversity for three of the four plates submerged for the two-month period was high; these values indicate that, besides the high species richness, there was also a somewhat homogeneous distribution of individuals among species with no single taxon being clearly dominant (Table 1). This is reflected in high-mean estimates of diversity using two indices (H' and $1-\lambda$). Diversity differences between the values of the coated and uncoated side (Table 2) were minimal (higher for the assemblage from the coated side). However, said differences do not support rejection of the proposed hypothesis, i.e., structure is similar and thus diatom assemblages develop likewise on both surfaces.

Conspicuous diatom taxa, such as *Cocconeis thalassiana* Romero *et al.* López-Fuerte, *Delphineis surirella* (Ehrenberg) G. W. Andrews, *Mastogloia corsicana* Grunow, *M. crucicula* (Grunow) Cleve, and *Rhopalodia musculus* (Kützing) O. Müller showed a noticeable affinity to the fiberglass plates, either coated or uncoated, both in terms of frequency and abundance. Similarity measurements using Jaccard's index segregated three associations of diatoms on the fiberglass plates (Fig. 4). However, the samples from the 4- and 18-month plates showed only a 31% similarity because they had only five species in common, suggesting two distinct assemblages. In contrast, between diatom assemblages from plates submerged 2 months and from the sediments, there was 69% similarity, since they share 89 species and were clearly segregated from the other two (Fig. 4).

Based on quantitative data, however, the Bray Curtis similarity index shows no group segregation, either between plates or according to the side of the plate (coated and uncoated). In this case, the similarity values between the three plates were very high (>95%), even between coated and uncoated surfaces of the number two and three plates (Fig. 5).

On the basis of qualitative similarity (Jaccard's index), the apparent group formation could be deceiving (Fig. 6). However, because this type of similarity measurement tends to yield much lower values than the qualitative approach, in our experience said differences do not evidence distinct groups; accordingly, the values are relatively high and segregation is due to heterogeneous distribution of taxa. Therefore, the overall similarity analysis indicates that no effect exists due to the use of antifouling paint in terms of deterring taxa typical of a diatom film taxocenosis, either qualitatively or quantitatively, thus supporting the *Ho*.

Table 1. Overall floristic list of diatoms observed growing on submerged fiberglass plates during 2 months (FG2), 4 months (FG4), and 18 months (FG18), and in sediments (SED), 10 km off the coast of Telchac, Yucatán, Mexico. Recorded only from sediments (▲).

Taxon	FG 2	FG 4	FG 18	SED
Bacillariophyceae Haeckel				
Coccinodiscophycidae Round <i>et</i> R. M. Crawford				
Coccinodiscales Round <i>et</i> R. M. Crawford				
Coccinodiscaceae Kützing				
<i>Coccinodiscus</i> Ehrenberg				
1. <i>Coccinodiscus nitidus</i> W. Gregory	+			+
2. <i>C. oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+			+
Heliopeltaceae H. L. Smith				
<i>Actinoptychus</i> Ehrenberg				
3. <i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+			+
Lithodesmiales Round <i>et</i> R. M. Crawford				
Lithodesmiaceae Round				
<i>Tropidoneis</i> Cleve				
4. <i>Tropidoneis pusilla</i> (Gregory) Cleve	+			
Melosirophycidae E. J. Cox				
Melosirales R. M. Crawford				
Hyalodiscaceae R. M. Crawford				
<i>Hyalodiscus</i> Ehrenberg				
5. <i>Hyalodiscus laevis</i> Ehrenberg	+			
<i>Podosira</i> Ehrenberg				
6. <i>Podosira stelligera</i> (Bailey) A. Mann	+		+	+
Paraliaceae R. M. Crawford				
<i>Paralia</i> Heiberg				
7. <i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	+		+	+
8. <i>P. sulcata</i> var. <i>coronata</i> (Ehrenberg) Andrews	+			+
9. <i>P. fenestrata</i> Sawai <i>et</i> Nagumo	+			
Fragilariophyceae Round <i>et</i> R. M. Crawford				
Climacospheniales Round				
Climacospheniaceae Round				
<i>Climacosphenia</i> Ehrenberg				
10. <i>Climacosphenia moniligera</i> Ehrenberg	+			
Fragilariales P. C. Silva				
Fragilariaceae Greville				
<i>Martyana</i> Round				
11. <i>Martyana martyi</i> (Héribaud-Joseph) Round	+			
<i>Podocystis</i> J. W. Bailey				
12. <i>Podocystis adriatica</i> (Kützing) Ralfs				▲
Licmophorales Round <i>et</i> R. M. Crawford				
Licmophoraceae Kützing				
<i>Licmophora</i> C. Agardh				
13. <i>Licmophora paradoxa</i> (Lyngbye) C. Agardh	+			
14. <i>L. remulus</i> Grunow	+			
Ulnariaceae E. J. Cox				
<i>Hyalosynedra</i> D. M. Williams <i>et</i> F. E. Round				
15. <i>Hyalosynedra laevigata</i> (Grunow) D. M. Williams <i>et</i> Round	+		+	+
<i>Opephora</i> Petit				
16. <i>Opephora burchardtia</i> A. Witkowski, D. Metzeltin <i>et</i> H. Lange-Bertalot				▲
17. <i>O. pacifica</i> (Grunow) Petit				▲
<i>Synedra</i> Ehrenberg				

Table 1 (continuation).

Taxon	FG 2	FG 4	FG 18	SED
18. <i>Synedra</i> sp.		+	+	
Plagiogrammales E. J. Cox				
Plagiogrammaceae De Toni				
<i>Dimeregramma</i> Ralfs				
19. <i>Dimeregramma minor</i> (Gregory) Ralfs	+			+
<i>Plagiogramma</i> Greville				
20. <i>Plagiogramma pulchellum</i> Greville	+			+
21. <i>P. pulchellum</i> var. <i>pygmaeum</i> (Greville) H. Peragallo <i>et</i> M. Peragallo	+			+
22. <i>P. rhombicum</i> Hustedt	+			+
23. <i>P. wallichianum</i> Greville	+		+	+
Rhabdonematales Round <i>et</i> R. M. Crawford				
Grammatophoraceae Lobban <i>et</i> Ashworth				
<i>Grammatophora</i> Ehrenberg				
24. <i>Grammatophora hamulifera</i> Kützing	+			+
25. <i>G. marina</i> (Lyngbye) Kützing	+			
26. <i>G. oceanica</i> Ehrenberg	+			+
27. <i>G. serpentina</i> (Ralfs) Ehrenberg	+	+	+	+
28. <i>G. undulata</i> Ehrenberg	+			
Rhabdonemataceae Round <i>et</i> R. M. Crawford				
<i>Rhabdonema</i> Kützing				
29. <i>Rhabdonema adriaticum</i> Kützing	+			+
Rhaphoneidales Round				
Psammodiscaceae Round <i>et</i> D. G. Mann				
<i>Psammodiscus</i> Round <i>et</i> D. G. Mann				
30. <i>Psammodiscus calceatus</i> T. Watanabe, T. Nagumo <i>et</i> J. Tanaka				▲
Rhaphoneidaceae Forti				
<i>Delphineis</i> G. W. Andrews				
31. <i>Delphineis livingstonii</i> Prasad	+			
32. <i>D. minutissima</i> (Hustedt) Simonsen				▲
33. <i>D. surirella</i> (Ehrenberg) G. W. Andrews	+			+
34. <i>D. surirella</i> var. <i>australis</i> (P. Petit) P. M. Tsarenko	+			+
35. <i>D. surirelloides</i> (Simonsen) G. W. Andrews				▲
Anaulales Round <i>et</i> R. M. Crawford				
Anaulaceae (F. Schütt) Lemmerm				
<i>Eunotogramma</i> J. F. Weisse				
36. <i>Eunotogramma laeve</i> Grunow	+			
Biddulphiales Krieger				
Biddulphiaceae Kützing				
<i>Biddulphia</i> S. F. Gray				
37. <i>Biddulphia biddulphiana</i> (J. E. Smith) Boyer	+			
38. <i>B. spinosa</i> (J. W. Bailey) Boyer	+			
<i>Terpsinoë</i> Ehrenberg				
39. <i>Terpsinoë americana</i> (Bailey) Grunow	+			
Triceratiales Round <i>et</i> R. M. Crawford				
Triceratiaceae (Schuett) Lemmermann				
<i>Auliscus</i> Ehrenberg				
40. <i>Auliscus sculptus</i> (W. Smith) Brightwell	+			+
<i>Auricula</i> Castracane				
41. <i>Auricula intermedia</i> (Lewis) Cleve	+			+
<i>Odontella</i> C. Agardh				

Table 1 (continuation).

Taxon	FG 2	FG 4	FG 18	SED
42. <i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) C. Agardh	+			
<i>Triceratium</i> Ehrenberg				
43. <i>Triceratium balearicum</i> Cleve <i>et</i> Grunow	+			+
44. <i>T. favus</i> Ehrenberg	+			+
45. <i>T. pentacrinus</i> (Ehrenberg) Wallich	+			+
46. <i>T. reticulum</i> Ehrenberg	+			
Cymatosirales Round <i>et</i> R. M. Crawford				
Cymatosiraceae Hasle, Stosch <i>et</i> Syvertsen				
<i>Cymatosira</i> Grunow				
47. <i>Cymatosira lorenziana</i> Grunow	+			+
<i>Plagiogrammopsis</i> Hasle, Stosch <i>et</i> Syvertsen				
48. <i>Plagiogrammopsis vanheurckii</i> (Grunow) Hasle, von Stosch <i>et</i> Syvertsen	+			
Thalassiosirales Glezer <i>et</i> Makarova				
Thalassiosiraceae M. Lebour				
<i>Ehrenbergiulva</i> Witkowski, Lange-Bert. <i>et</i> Metzeltin				
49. <i>Ehrenbergiulva granulosa</i> (Grunow) Witkowski, Lange-Bertalot <i>et</i> Metzeltin	+			+
<i>Shionodiscus</i> A. J. Alverson, S. H. Kang <i>et</i> E. C. Theriot				
50. <i>Shionodiscus oestrupii</i> (Ostenfeld) A. J. Alverson, S. H. Kang <i>et</i> E. C. Theriot	+			+
<i>Thalassiosira</i> Cleve				
51. <i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	+			+
Bacillariophycidae D. G. Mann				
Achnanthes Silva				
Achnantheaceae Kützing				
<i>Achnanthes</i> Bory de Saint Vincent				
52. <i>Achnanthes citronella</i> (A. Mann) Hustedt	+			
53. <i>A. curvirostrum</i> J. Brun				▲
<i>Amphicocconeis</i> M. De Stefano <i>et</i> D. Marino				
54. <i>Amphicocconeis discoloides</i> (Hustedt) Stefano <i>et</i> Marino	+			+
Cocconeidaceae Kützing				
<i>Cocconeis</i> Ehrenberg				
55. <i>Cocconeis britannica</i> Naegeli	+		+	+
56. <i>C. discrepans</i> A. W. F. Schmidt	+			+
57. <i>C. guttata</i> Hustedt <i>et</i> Aleem				▲
58. <i>C. hoffmannii</i> Simonsen				▲
59. <i>C. krammeri</i> Lange-Bertalot <i>et</i> Metzeltin	+			+
60. <i>C. peltoides</i> Hustedt	+			+
61. <i>C. pseudomarginata</i> Gregory	+	+		
62. <i>C. scutellum</i> Ehrenberg	+			+
63. <i>Cocconeis</i> sp.		+		
64. <i>C. thalassiana</i> Romero <i>et</i> López-Fuerte	+			+
Bacillariales Hendey				
Bacillariaceae Ehrenberg				
<i>Denticula</i> Kützing				
65. <i>Denticula kuetzingii</i> Grunow		+		▲
<i>Nitzschia</i> Hassall				
66. <i>Nitzschia amabilis</i> Suzuki	+			
67. <i>N. angularis</i> var. <i>affinis</i> (Grunow) Grunow	+			
68. <i>N. bicapitata</i> Cleve	+			+
69. <i>N. cf. distans</i> W. Gregory	+	+		
70. <i>N. dissipata</i> (Kützing) Grunow	+		+	+
71. <i>N. longissima</i> (Brébisson) Ralfs				▲

Table 1 (continuation).

Taxon	FG 2	FG 4	FG 18	SED
72. <i>N. martiana</i> (C. Agardh) Van Heurck	+		+	
73. <i>N. panduriformis</i> var. <i>continua</i> Grunow	+			
74. <i>N. persuadens</i> Cholnoky	+			
75. <i>N. punctata</i> var. <i>coarctata</i> (Grunow) Hustedt	+			▲
76. <i>N. sigma</i> (Kützing) W. Smith	+			+
77. <i>N. sigma</i> var. <i>sigmatella</i> Grunow				▲
78. <i>N. socialis</i> Gregory	+			+
<i>Tryblionella</i> W. Smith				
79. <i>Tryblionella coarctata</i> (Grunow) D. G. Mann	+			
Cymbellales D. G. Mann				
Anomoeoneidaceae D. G. Mann				
<i>Staurophora</i> Mereschkowsky				
80. <i>Staurophora salina</i> (W. Smith) Mereschkowsky				▲
Gomphonemataceae Kützing				
<i>Gomphoneis</i> Cleve				
81. <i>Gomphoneis clevei</i> (Fricke) Gil	+	+		
Dictyoneidales D. G. Mann				
Dictyoneidaceae D. G. Mann				
<i>Dictyoneis</i> Cleve				
82. <i>Dictyoneis marginata</i> Cleve f. <i>elongata</i>	+			
Eupodiscales V. A. Nikolajev <i>et</i> Harwood				
Eupodiscaceae Kützing				
<i>Eupodiscus</i> J. W. Bailey				
83. <i>Eupodiscus radiatus</i> Bailey				
Lyrellales D. G. Mann				
Lyrellaceae D. G. Mann				
<i>Lyrella</i> Karayeva				
84. <i>Lyrella approximatoides</i> (Hustedt) D. G. Mann	+			
85. <i>L. barbara</i> (Heiden) D. G. Mann	+			+
86. <i>L. clavata</i> (Gregory) D. G. Mann	+			+
87. <i>L. clavata</i> var. <i>subconstricta</i> (Hustedt) Moreno	+			+
88. <i>L. diffluens</i> (A. Schmidt) D. G. Mann	+			+
89. <i>L. exsul</i> (A. Schmidt) D. G. Mann	+			
90. <i>L. irrorata</i> (Greville) D. G. Mann	+			
91. <i>L. lyra</i> (Ehrenberg) Karajeva	+			+
92. <i>L. praetexta</i> (Ehrenberg) D. G. Mann	+			+
<i>Petroneis</i> Stickle <i>et</i> D. G. Mann				
93. <i>Petroneis marina</i> (Ralfs) D. G. Mann	+			+
94. <i>P. plagiostoma</i> (Grunow) D. G. Mann	+			+
Mastogloiales D. G. Mann				
Mastogloiaceae Mereschkowsky				
<i>Mastogloia</i> Thwaites				
95. <i>Mastogloia binotata</i> (Grunow) Cleve	+			+
96. <i>M. cf. rigida</i> Hustedt	+		+	
97. <i>M. corsicana</i> Grunow	+		+	+
98. <i>M. crucicula</i> (Grunow) Cleve	+	+	+	+
99. <i>M. crucicula</i> var. <i>alternans</i> Zanon	+			+
100. <i>M. cuneata</i> (Meister) R. Simonsen	+			+
101. <i>M. fimbriata</i> (T. Brightwell) Grunow	+		+	
102. <i>M. gibbosa</i> Brun				▲
103. <i>M. ovulum</i> Hustedt	+			

Table 1 (continuation).

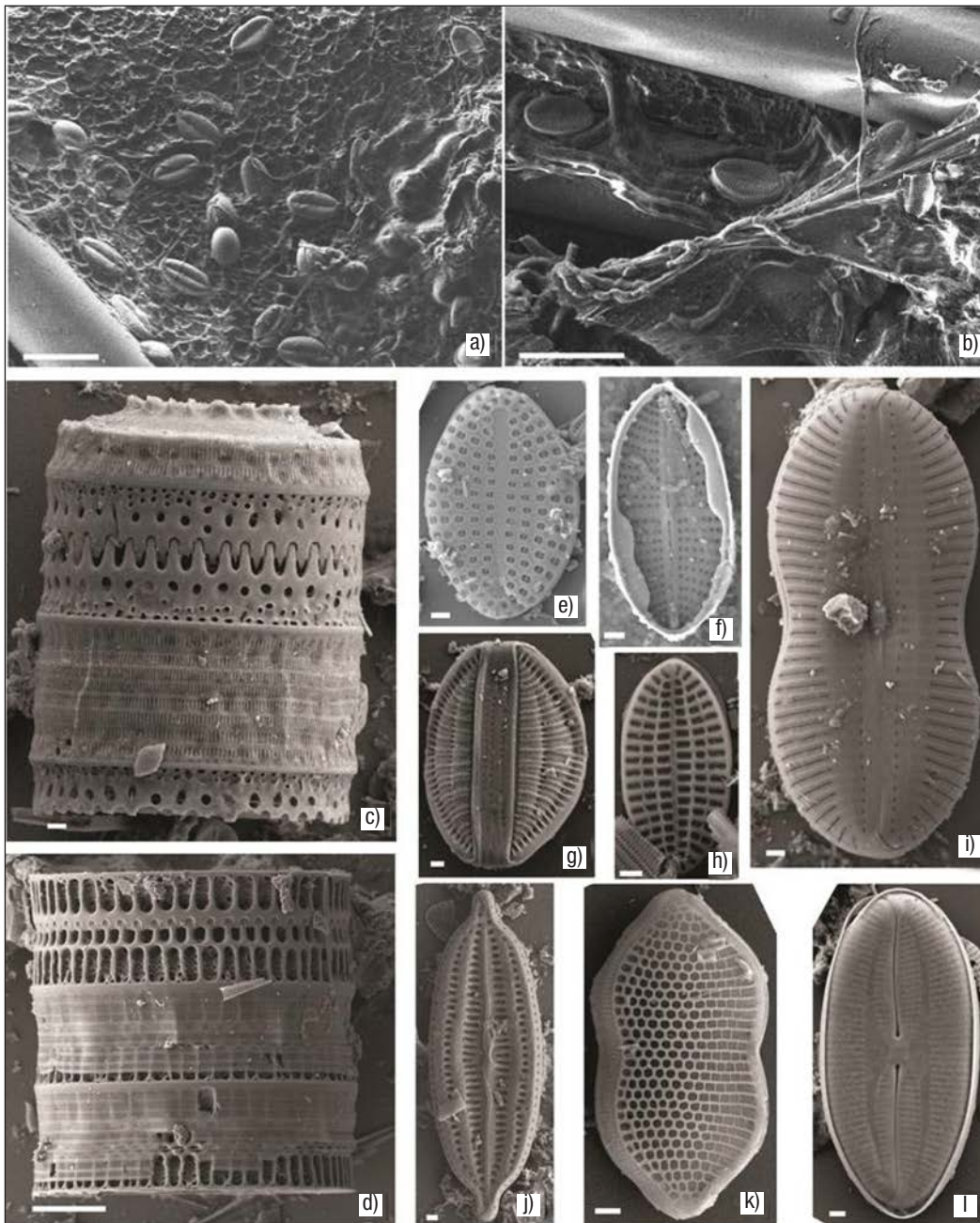
Taxon	FG 2	FG 4	FG 18	SED
104. <i>M. pseudolatecostata</i> T. A. Yohn <i>et</i> R. A. Gibson	+			+
105. <i>M. splendida</i> (Gregory) Peragallo	+			+
Naviculales Bessey				
Amphipleuraceae Grunow				
<i>Halamphora</i> (Cleve) Levkov				
106. <i>Halamphora coffeaeformis</i> (C. Agardh) Levkov	+			+
107. <i>H. cymbifera</i> (Gregory) Levkov	+			+
108. <i>H. luciae</i> (Cholnoky) Levkov	+			
109. <i>H. turgida</i> (Gregory) Levkov	+	+	+	+
Diadesmidaceae D. G. Mann				
<i>Diploneis</i> Ehrenberg				
110. <i>Diploneis bombooides</i> (A. W. F. Schmidt) Cleve	+			+
111. <i>D. chersonensis</i> (Grunow) Cleve	+		+	
112. <i>D. crabro</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+			+
113. <i>D. crabro</i> var. <i>dirhombus</i> (A. Schmidt) Cleve	+			+
114. <i>D. litoralis</i> (Donkin) Cleve	+		+	
115. <i>D. litoralis</i> var. <i>clathrata</i> (Østrup) Cleve	+			+
116. <i>D. notabilis</i> (Greville) Cleve				▲
117. <i>D. papula</i> (A. W. F. Schmidt) Cleve var. <i>papula</i>	+			+
118. <i>D. papula</i> var. <i>constricta</i> Hustedt	+			
119. <i>D. suborbicularis</i> (W. Gregory) Cleve	+			+
120. <i>D. vacillans</i> (A. Schmidt) Cleve	+			+
<i>Caloneis</i> Cleve				
121. <i>Caloneis fossilis</i> Cleve-Euler	+			+
122. <i>C. liber</i> (W. Smith) Cleve				▲
123. <i>C. linearis</i> (Grunow) Boyer				▲
124. <i>C. robusta</i> (Grunow) Cleve				▲
125. <i>Caloneis</i> sp.			+	
<i>Haslea</i> Simonsen				
126. <i>Haslea</i> sp.			+	
Naviculaceae Kützing				
<i>Navicula</i> Bory				
127. <i>Navicula</i> (<i>Lyrella</i>) <i>clavata</i> var. <i>distenta</i> (Kuntz) Hustedt	+			+
128. <i>N. arenaria</i> Donkin	+			+
129. <i>N. cancellata</i> Donkin				▲
130. <i>N. clavata</i> var. <i>indica</i> (Greville) Cleve	+			
131. <i>N. digito-radiata</i> (Gregory) Ralfs				▲
132. <i>N. directa</i> (W. Smith) Ralfs	+			+
133. <i>N. duerrenbergiana</i> Hustedt	+			
134. <i>N. lusoria</i> Giffen	+			+
135. <i>N. longa</i> (Gregory) Ralfs	+		+	+
<i>Trachyneis</i> Cleve				
136. <i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) Cleve	+			
Pinnulariaceae D. G. Mann				
<i>Oestrupia</i> Heiden				
137. <i>Oestrupia zanardiniana</i> (Grunow) Schrader	+			+
Plagiotropidaceae D. G. Mann				
<i>Plagiotropis</i> Pfitzer				
138. <i>Plagiotropis delicatula</i> (Greville) T. B. B. Paddock				▲
139. <i>P. pusilla</i> (Greville) Kuntze	+			+
Pleurosigmataceae Mereschkowsky				
<i>Pleurosigma</i> W. Smith				

Table 1 (continuation).

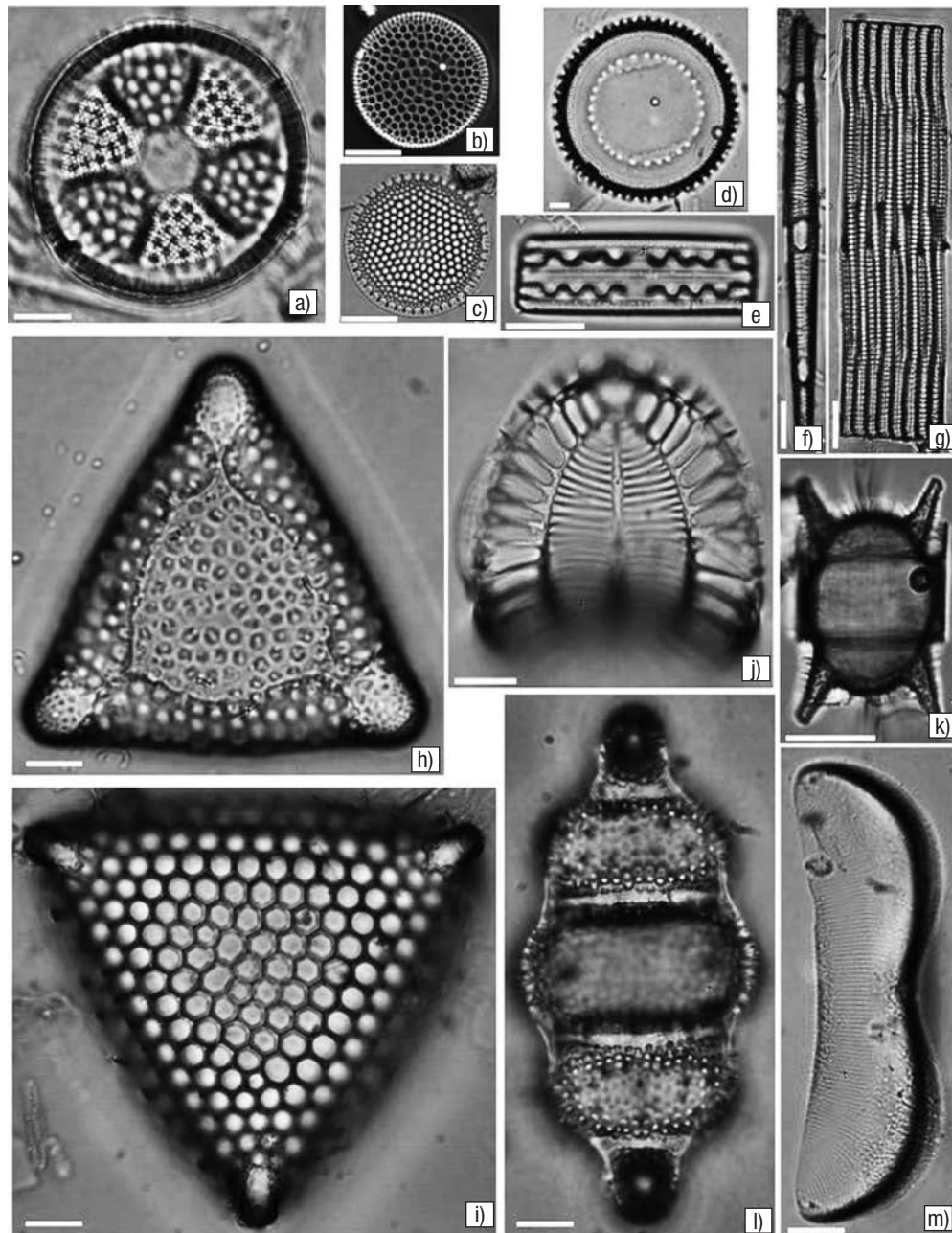
Taxon	FG 2	FG 4	FG 18	SED
140. <i>Pleurosigma formosum</i> W. Smith	+			+
141. <i>P. inflatum</i> Shadbolt				▲
Scoliotropidaceae Mereschowsky				
<i>Biremis</i> D. G. Mann <i>et</i> Cox				
142. <i>Biremis ambigua</i> (Cleve) D. G. Mann	+			+
Sellaphoraceae Mereschowsky				
<i>Fallacia</i> Stickle <i>et</i> D. G. Mann				
143. <i>Fallacia forcipata</i> (Greville.) Stickle <i>et</i> Mann	+			
144. <i>F. nummularia</i> (Greville) D. G. Mann				▲
145. <i>F. vittata</i> (Cleve) D. G. Mann				▲
Rhopalodiales D. G. Mann				
Rhopalodiaceae (Karsten) Topachevs'kyj <i>et</i> Oksiyuk				
<i>Epithemia</i> Kützing				
146. <i>Epithemia intermedia</i> Fricke	+	+		
<i>Rhopalodia</i> O. Müller				
147. <i>Rhopalodia acuminata</i> Krammer	+			+
148. <i>R. gibberula</i> var. <i>producta</i> (Grunow) Cleve-Euler		+		
149. <i>R. musculus</i> (Kützing) O. Müller	+	+	+	+
150. <i>R. pacifica</i> Krammer	+			
Surirellales D. G. Mann				
Entomoneidaceae Reimer				
<i>Entomoneis</i> Ehrenberg				
151. <i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Reimer	+			+
Surirellaceae Kützing				
<i>Campylodiscus</i> Ehrenberg				
152. <i>Campylodiscus samoensis</i> Grunow	+			
<i>Psammodictyon</i> D. G. Mann				
153. <i>Psammodictyon panduriforme</i> (W. Gregory) D. G. Mann	+			+
154. <i>P. panduriforme</i> var. <i>minor</i> (W. Gregory) E. Y. Haworth <i>et</i> M. G. Kelly	+			+
<i>Surirella</i> Turpin				
155. <i>Surirella fastuosa</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+			+
156. <i>S. fastuosa</i> var. <i>cuneata</i> O. Witt	+			+
157. <i>S. fluminensis</i> Grunow	+			
158. <i>S. hybrida</i> var. <i>contracta</i> H. Peragallo <i>et</i> M. Peragallo				▲
Thalassiophysales D. G. Mann				
Catenulaceae Mereschowsky				
<i>Amphora</i> Ehrenberg				
159. <i>Amphora abludens</i> R. Simonsen	+			+
160. <i>A. arenicola</i> Grunow				▲
161. <i>A. bigibba</i> var. <i>interrupta</i> (Grunow) Cleve				▲
162. <i>A. cingulata</i> Cleve	+			+
163. <i>A. graeffeana</i> Hendey				▲
164. <i>A. immarginata</i> Nagumo				▲
165. <i>A. kolbei</i> Aleem	+			
166. <i>A. marina</i> W. Smith	+			+
167. <i>A. ocellata</i> Donkin	+			
168. <i>A. ostrearia</i> var. <i>vitrea</i> Cleve	+			
169. <i>A. proteus</i> Gregory	+		+	+
170. <i>A. proteus</i> var. <i>contigua</i> Cleve	+			+

Table 2. Diversity values describing the structure of the diatom assemblages found growing on fiberglass plates (FG PLATES) off the coast of Yucatán, Mexico. C = coated, NC = Uncoated. S = Species richness; H' = Shannon's species diversity; J' = Equitativity; $1 - \lambda$ = Simpson's diversity; λ = Dominance.

FG PLATES	S	N	J'	H'	λ	$1 - \lambda$
1C	54	153	0.85	4.90	0.05	0.95
1NC	45	151	0.81	4.42	0.08	0.92
2C	44	159	0.84	4.60	0.06	0.94
2NC	38	152	0.81	4.27	0.09	0.91
3C	41	154	0.82	4.38	0.08	0.92
3NC	31	151	0.80	3.96	0.10	0.90



Figures 1a-l. **a-b)** *Cocconeis* sp. **c)** *Paralia sulcata*. **d)** *Paralia fenestrata*. **e)** *Delphineis surirella*. **f)** *Mastogloia crucicula* var. *alternans*. **g)** *Rhopalodia musculus*. **h)** *Cocconeis discrepans*. **i)** *Diploneis bomboides*. **j)** *Mastogloia corsicana*. **k)** *Psammodyctyon panduriforme* var. *minor*. **l)** *Fallacia forcipata*. Escala: Figs. a-b, d = 10 μ m; Figs. c, e-l = 1 μ m.



Figures 2a-m. **a)** *Actinopterychus senarius*. **b)** *Coscinodiscus nitidus*. **c)** *Shionodiscus oestrupii*. **d)** *Paralia sulcata* var. *coronata*. **e)** *Grammatophora serpentina*. **f-g)** *Rhabdonema adriaticum*. **h)** *Triceratium reticulum*. **i)** *T. favus*. **j)** *Campylodiscus samoensis*. **k)** *Odontella aurita*. **l)** *Terpsinoë americana*. **m)** *Auricula intermedia*. Escala = 10 μ m.

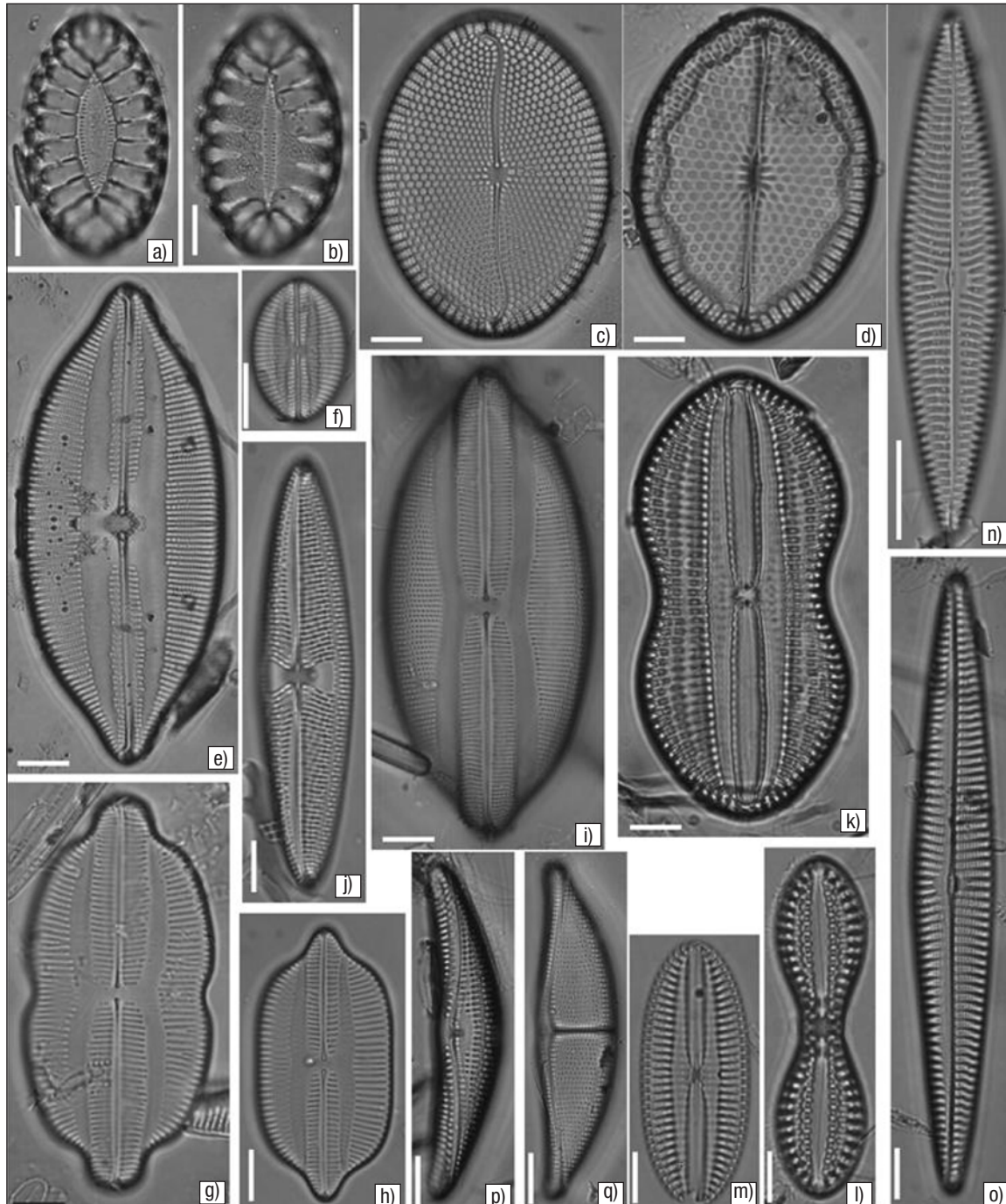
DISCUSSION

Our results reveal that the fouling populations were heterogenous and included epipsammic, epiphytic, and epipellic (tychoplankton) species with different affinities (marine, brackish, and even freshwater). The species composition and structure (diversity, dominance, and equitability) of the diatom assemblage growing on the surface coated with antifouling paint was very similar to that of the uncoated surface, regardless of the time the plate had been submerged. Even though the

computed diversity values were high, they do fall within the range-estimated values for this type of taxocoenosis (Siqueiros-Beltrones, 2005). They do, however, suggest that the colonized substrata (coated and uncoated) may be compared to those that favor the growth of diatoms such as macroalgae and seagrasses, which harbor abundant epiphytic forms. Although the number of taxa per plate appeared to be the main component of the high diversity values estimated, the distribution of individuals among the taxa was also uniform, deriving in high values of equitability.

Many of the species found in this study belong to genera from estuarine environments that occur commonly as biofouling (Molino & Wetherbee, 2008), including *Amphora*, *Nitzschia*, *Diploneis*, *Mastogloia*, and *Navicula*. As in similar studies (Characklis & Cooksey, 1983; Cooksey *et al.*, 1984), the assemblage in the biofilm was dominated by pennate diatoms, irrespective of the nature of the substratum and

the exposure period. Anil *et al.* (2006) observed that pennate diatoms such as *Amphora*, *Navicula*, and *Nitzschia* species often dominate the fouling assemblage as well as epibiotic populations, since they are able to attach to substrates. Our observations partly agree with *Amphora*, *Nitzschia*, *Mastogloia*, and *Diploneis* being the dominant taxa; the latter two taxa are very common in sediments.



Figures 3a-q. **a)** *Surirella fastuosa*. **b)** *S. fastuosa* var. *cuneata*. **c)** *Mastogloia splendida*. **d)** *M. fimbriata*. **e)** *Lyrella approximata*. **f)** *L. barbara*. **g)** *Navicula* (*Lyrella*) *clavata* var. *distenta*. **h)** *Navicula* (*Lyrella*) *caribaea*. **i)** *Lyrella lyra*. **j)** *Trachyneis aspera*. **k)** *Diploneis bomboides*. **l)** *D. crabro* var. *dirhombus*. **m)** *D. papula* var. *papula*. **n)** *Navicula arenaria* var. *arenaria*. **o)** *N. longa*. **p)** *Amphora proteus*. **q)** *A. ostrearia* var. *vitrea*. Escala = 10 μ m.

The examination of the sediment adjacent to the structure holding the fiberglass plates rendered an accurate reference of the origin of the diatoms found on the plates, because many of the diatom taxa have been recorded from sediments (83 %). These observations indicate that the dominance of certain species in the biofilm can be attributed to their dominance in the adjacent sediments, resulting in a higher substratum-encountering probability. Benthic diatoms that are frequently re-suspended by hydrodynamic or biotic processes may, after a while, colonize a different available substrate (Breznak *et al.*, 1985). Once attached, the growth and assemblage structure is further dependent upon the physicochemical and biological nature of both the ambient water and the substrate surface. Studies reveal that diatoms have specific substrate preferences (Mitbavkar & Anil, 2000), and higher diatom recruitment has been observed on fiberglass (hydrophobic) than on a hydrophilic surface such as glass (Patil & Anil, 2005a). Due to its physical characteristics, the fiberglass plates allow initially for the settlement of small forms (<20 µm) of diatoms (Figures 1a-b), which in turn make the substrate favorable for large forms (Figures 1c-l). Also, the presence of sand on both sides of the plates may be a factor because diatoms from the sediments (epipellic and epipsammic) may migrate from the sediments (Round *et al.*, 1990) to the available space in the plates, finding it suitable for growth and colonizing it, as observed in this experiment. Heavy diatom growth has been known to occur as thick films in certain artificial substrata such as PVC surfaces and silicon, where up to 178 taxa have been recorded for colonization periods of three weeks (Siqueiros-Beltrones, 2002).

The assemblage structure was similar to that recorded for many studies on benthic diatoms, i.e., few abundant species, many common species, and many more rare species, but once either in the qualitative or quantitative analysis. The number of identified taxa in this investigation is similar to diatom assemblages from natural substrata, e.g., López-Fuerte *et al.* (2013), in which 106 taxa were recorded living as epiphytes of *Thalassia testudinum* K. D. Koenig in Yalahau lagoon, Quintana Roo, Mexico. On the other hand, in comparison with other studies that used artificial substrata, the number of diatom taxa recorded here is much higher, e.g., Fernandes *et al.* (1999) and Patil & Anil (2005b) reported 60 and 51 taxa, respectively, growing on glass slides.

The marked difference in the number of taxa recovered from the fiberglass plates from one period of submergence to another, i.e., 135 taxa in the two-month plates vs. 11 and 21 taxa for the four- and eighteen-month plates, may be explained by the fact that when diatom films reach a certain degree of growth, lumps then begin to detach from the films and so provide colonizing material for other substrata (Siqueiros-Beltrones, 2002). Thus, much of the diatom flora from the late phases of succession would be lacking in the plates submerged for longer periods.

Because exopolymer films secreted by diatoms promote the onset of macrofouling by conditioning the original substrate for invertebrate larvae, it is necessary to acquire a precise knowledge of the microfouling species from the initial phases of microfouling in order to better understand the ecological processes that may be helpful for controlling fouling events. Likewise, the development of anti-fouling paints should focus on avoiding the settlement and growth of diatoms, thus delaying the onset of macrofouling that generally depends on the modulation of the substrate by pioneer microfouling diatoms.

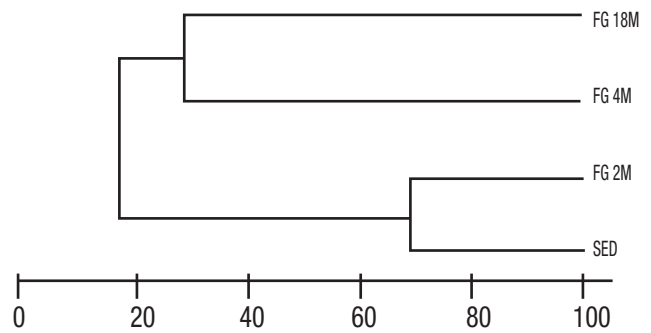


Figure 4. Similarity of diatom assemblages grown on fiberglass (FG) plates and sediments (SED), based on Jaccard's similarity index. M = Months.

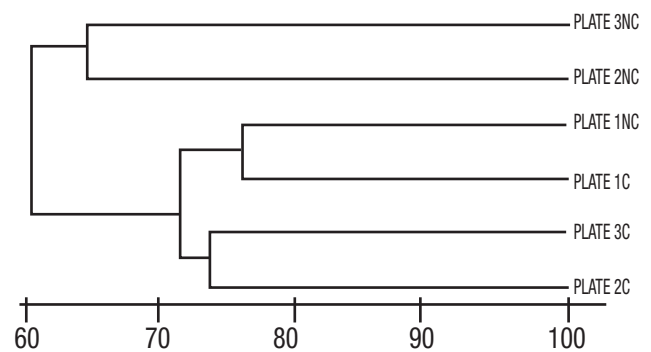


Figure 5. Similarity (Bray Curtis) of diatom assemblages grown only on fiberglass plates, with no group segregation. C = coated, NC = uncoated, surfaces.

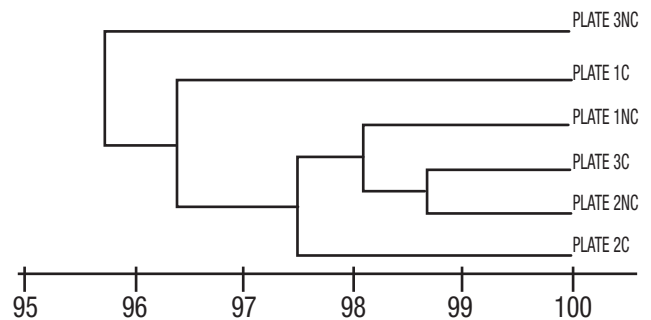


Figure 6. Similarity of diatom assemblages grown only on fiberglass plates, based on Jaccard's index with group segregation. C = coated, NC = uncoated, surfaces.

Overall, the above results suggest a greater ability of benthic diatoms to colonize fiberglass surfaces, which is probably explained by a higher degree of contact between the cells and the surface. Moreover, as observed in natural substrata, the structure of diatom assemblages showed variations that may be attributed to how long the plates were submerged. In order to sustain this, intermediate submersion times should be implemented in order to allow other successional phases to be detected.

Because the microfouling diatom assemblages may provide suitable conditions for the onset of macrofouling, we suggest further research be undertaken in order to better understand their successional processes, which may aid in developing an efficient strategy for preventing or delaying the settlement of macrofouling organisms.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by the Mexican Council of Science and Technology (CONACYT) under Grant 179110. SEM micrographs were obtained at the Laboratory of Microscopy, CINVESTAV, Unidad Mérida, Mexico. FOLF currently holds a postdoctoral research grant from CONACYT. DASB is COFAA and EDI fellow at the IPN. We acknowledge reviews by the appointed referees and editors.

REFERENCES

- ANIL, A. S., M. MITBAVKAR S. D'SILVA, P. HEGDE, S. D' COSTA, D. MEHER & D. BANERJEE. 2007. Effect of ageing on survival of benthic diatom propagules. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 343 (1): 37-43. DOI: ORG/10.1016/J.JEMBE.2006.11.006
- BREZNAK, J. A., K. E. COOKSEY, F. E. ECKARDT, W. FILIPZ, M. FLETCHER, R. J. GIBBONS, H. GUDE, W. A. HAMILTON, T. HATTORI, H. G. HOPPE, A. G. MATTHYSSE, D. C. SAVAGE & M. SHILO. 1985. Activity on surfaces. In: Marshall, K. C. (Ed.) *Microbial Adhesion and Aggregation*. Springer, Berlin. pp. 203-221.
- CASSÉ, F. & G. W. SWAIN. 2006. The development of microfouling on four commercial coatings under static and dynamic immersion. *International Biodeterioration & Biodegradation* 57:179-185. DOI: 10.1080/08927014.2011.609616
- CHARACKLIS, W. G. & K. E. COOKSEY. 1983. Biofilm and microbial fouling. *Advances in Applied Microbiology* 29: 93-148.
- CLARKE, K. R. & R. N. GORLEY. 2001. *PRIMER v5: user manual/tutorial*. Primer-E. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory.
- COOKSEY, B., K. E. COOKSEY, C. A. MILLER & J. H. PAUL. 1980. Attachment of diatoms to surfaces: field and laboratory experiments. In: Berkley, R. C. W., J. M. Lynch, J. Melling, P. R. Rutter & Vincent E. (Eds.). *Proceedings of the microbial adhesion to surfaces symposium*. Ellis-Horwood, Chichester (UK), pp. 526-528.
- COOKSEY B., K. E. COOKSEY, C. A. MILLER, J. H. PAUL, R. W. RUBIN & D. WEBSTER. 1984. The attachment of microfouling diatoms. In: Costlow J. D. & Tipper, R. C. (Eds.). *Marine biodeterioration: an interdisciplinary study*. US Naval Institute. Annapolis, MD, pp. 167-171.
- FERNANDES, L. F., F. P. BRANDINI, K. S. GUTZEIT, A. L. FONSECA & F. M. PELLIZZARI. 1999. Benthic diatoms growing on glass slides in the Paranagua Bay, southern Brazil: Taxonomic structure and seasonal variation. *Revista do Horto Botanico* 28: 53-100.
- FOGED N. 1984. *Freshwater and littoral diatoms from Cuba*. Bibliotheca Diatomologica, Band 5. J. Cramer. Vaduz. 243 p.
- GUIRY, M. D. & G. M. GUIRY. 2014. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; (accessed: 19 May 2014).
- GUPTA, V. B. & V. K. KOTHARI. 1997. *Manufactured Fibre Technology*. Chapman and Hall. pp. 544-546.
- LOEWENSTEIN, K. L. 1973. *The Manufacturing Technology of Continuous Glass Fibers*. New York: Elsevier Scientific. pp. 2-94.
- LÓPEZ-FUERTE, F. O., D. A. SIQUEIROS-BELTRONES & J. N. NAVARRO. 2010. *Benthic diatoms associated with mangrove environments in the Northwest region of México*. CONABIO-UABCS-CICIMAR-IPN. 206 p.
- MAGURRAN, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 192 p.
- MITBAVKAR, S. & A. C. ANIL. 2000. Diatom colonization on stainless steel panels in estuarine waters of Goa, west coast of India. *Indian Journal of Marine Sciences* 29: 273-276.
- MOLINO, P. J. & R. WETHERBEE. 2008. The biology of biofouling diatoms and their role in the development of microbial slimes. *Biofouling* 24: 365-379. DOI: 10.1080/08927010802254583
- MOLINO, P. J., E. CAMPBELL & R. WETHERBEE. 2009. Development of the initial diatom microfouling layer on antifouling and fouling-release surfaces in temperate and tropical Australia. *Biofouling* 25: 685-694. DOI: 10.1080/08927010903089912
- NAVARRO, J. N. 1982. *Marine diatoms associated with mangrove prop roots in the Indian River, Florida, USA*. Bibliotheca Phycologica, Band 61. Vaduz: Lubretch & Cramer Ltd. 151 p.
- PATIL, J. S. & A. C. ANIL. 2008. Temporal variation of diatom benthic propagules in a monsoon-influenced tropical estuary. *Continental Shelf Research* 28 (17): 2404-2416.
- PATIL, J. S. & A. C. ANIL. 2005a. Influence of diatom exopolymers and biofilms on metamorphosis in the barnacle *Balanus amphitrite*. *Marine Ecology Progress Series* 301 (23): 1-45.
- PATIL, J. S. & A. C. ANIL. 2005b. Biofilm diatom community structure: influence of temporal and substratum variability. *Biofouling* 21: 189-206. DOI: 10.1080/08927010500256757
- PERAGALLO, H. & M. PERAGALLO. (1897-1908) *Diatomées marines de France et des Districts Maritimes Voisins*. Grez-sur-Loing, France: M.J. Témperre. 580 p.
- QIAN, P. Y., V. THIYAGARAJAN, S. C. K. LAU & S. C. K. CHEUNG. 2003. Relationship between bacterial community profile in biofilm and attachment of the acorn barnacle *Balanus amphitrite*. *Aquatic Microbial Ecology* 33: 225-37.
- ROBINSON, M. G., B. D. HALL & D. VOLTOLINA. 1985. Slime films on anti-fouling paints; short-term indicators of long-term effectiveness. *Journal of Coatings Technology* 57 (725): 35-41.

- ROUND, F. E., R. M. CRAWFORD & D. G. MANN. 1990. *The diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press, New York. 747 p.
- SCHMIDT, A. M. SCHMIDT, F. FRICKE, H. HEIDEN, O. MÜLLER, F. HUSTEDT. 1874-1959. *Atlas der diatomaceenkunde*. Reiland, Leipzig: Berlin Akademie-Verlag. 460 pls.
- SIQUEIROS-BELTRONES D.A. 2002. *Diatomeas bentónicas de la Península de Baja California; diversidad y potencial ecológico*. La Paz, México: IPN-CICIMAR-UABCS. 246 p.
- SIQUEIROS-BELTRONES, D. A. & D. VOLTOLINA. 2000. Grazing selectivity of red abalone *Haliotis rufescens* postlarvae on benthic diatom films under culture conditions. *World Aquaculture* 31 (2): 239-246. DOI: 10.1111/J.1749-7345.2000.TB00359.X
- SWEAT, L. H. & K. B. JOHNSON. 2013. The effects of fine-scale substratum roughness on diatom community structure in estuarine biofilms. *Biofouling* 29: 879-890. DOI: ORG/10.1080/08927014.2013.811492
- ZARGIEL, K. A., J. S. COOGAN & G. W. SWAIN. 2011. Diatom community structure on commercially available ship hull coatings. *Biofouling* 27: 955-965. DOI: ORG/10.1080/08927014.2011.618268
- WITKOWSKI, A, H. LANGE-BERTALOT & D. METZELTIN. 2000. Diatom flora of marine coasts I. *In*: Lange-Bertalot, H. (Ed.). Annotated diatom micrographs. Königstein, Germany: A. R. G. Gantner Verlag K. G., *Iconographia Diatomologica 7. Diversity-Taxonomy-Identification*. Koeltz Scientific Books. 925 p.

Helminth parasites in feces of Antillean manatees *Trichechus manatus manatus* (Sirenia: Trichechidae) in Mexico: Gulf of Mexico and Caribbean

Helminthos parásitos en heces de manatí Antillano *Trichechus manatus manatus* (Sirenia: Trichechidae) en México: Golfo de México y Caribe

Arturo Hernández-Olascoaga¹, León David Olivera-Gómez¹ and Benjamín Morales-Vela²

¹ División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km. 0.5 carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco, 86039. México

² El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. Avenida Centenario Km. 5.5, Chetumal, Quintana Roo, 77040. México
e-mail: leon_olivera@yahoo.com.mx

Recibido: 23 de marzo de 2016.

Aceptado: 23 de octubre de 2016.

Hernández-Olascoaga A., L. D. Olivera-Gómez and B. Morales-Vela. 2017. Helminth parasites in feces of Antillean manatees *Trichechus manatus manatus* (Sirenia: Trichechidae) in Mexico: Gulf of Mexico and Caribbean. *Hidrobiológica* 27 (1): 39-44.

ABSTRACT

Background. Low helminth diversity has been reported in West Indian manatees (*Trichechus manatus*). Most studies were conducted on the Florida sub species *T. m. latirostris* in subtropical environments, therefore limited information is available for the tropical Antillean subspecies *T. m. manatus*. In Mexico, there are apparently two population units of *T. m. manatus*. **Goals.** The objective of this study was to survey the presence and prevalence of helminth parasite eggs in the feces of *T. m. manatus* from the Gulf of Mexico (GM) and Caribbean coasts (CAR) of Mexico. **Methods.** We used 31 fecal samples collected from GM (n = 22) and CAR (n = 9), from 2005 to 2008. Feces were fixed and preserved in 70% ethanol until analysis. Both floatation and sedimentation techniques were used. Helminth eggs were identified using specialized literature and graphic catalogs. **Results.** We found parasite eggs in 61.2% of feces; all samples from CAR had helminths. We documented eggs from five helminths: three digenetic (*Chiorchis fabaceus*, *C. groschafti*, and *Pulmonicola cochleotrema*) and two Nematoda (*Heterocheilus tunicatus* and *Ascarididae* gen. sp.). Two species were found exclusively from GM, one exclusively from CAR, and two species were common to both locales. **Conclusions.** Diversity was consistently low in the samples. Four of the species found are common to Florida and Caribbean islands and one is a new registry for this host. Future examination of manatee carcasses could confirm the presence of adult helminth species for new registries for this host.

Key words: Helminth eggs, parasites, sirenians, tropical México.

RESUMEN

Antecedentes. En el manatí del Caribe (*Trichechus manatus*) se reporta baja diversidad de helmintos y la mayoría de los estudios se han realizado en la subespecie de Florida (*T. m. latirostris*) en ambientes subtropicales, por lo que existe poca información para la subespecie Antillana (*T. m. manatus*). En México, al parecer existen dos unidades poblacionales de manatí Antillano. **Objetivos.** El objetivo de este estudio fue determinar la presencia y prevalencia de huevos de helmintos parásitos en heces de *T. m. manatus* del Golfo de México (GM) y la costa del Caribe Mexicano (CAR). **Métodos.** Se utilizaron muestras de heces de 31 manatíes, tanto de GM (n = 22) como del CAR (n = 9), de 2005 a 2008. Las heces se fijaron y preservaron en alcohol etílico al 70% hasta su análisis. Las técnicas utilizadas fueron de flotación y sedimentación. Los huevos de helmintos se identificaron apoyándose en literatura especializada y catálogos gráficos. **Resultados.** En el 61.2% de las heces analizadas se encontraron parásitos, todas las muestras de CAR contenían parásitos. Se registraron huevos de cinco especies de helmintos: tres digéneos (*Chiorchis fabaceus*, *C. groschafti* y *Pulmonicola cochleotrema*) y dos nemátodos (*Heterocheilus tunicatus* y *Ascarididae* gen. sp.). Dos especies fueron exclusivas para GM, una para CAR y dos fueron comunes para ambas áreas. **Conclusiones.** La diversidad fue consistentemente baja en las muestras. Cuatro especies fueron comunes con Florida y las islas del Caribe y una es nuevo registro para este hospedero. Futuros estudios parasitológicos en cadáveres frescos confirmarán la existencia de helmintos adultos para los nuevos registros en este hospedero.

Palabras clave: Huevos de helmintos, parásitos, sirenios, trópico de México.

INTRODUCTION

The main objective of studying parasites of wild mammals is to determine their effect on the health and ecology of populations (Samuel *et al.*, 2001). In manatees (Sirenia: Trichechidae), however, studies of parasites are relatively scarce (Marsh *et al.*, 2012). The Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*, Harlan 1824), in subtropical latitudes, has been the most studied (Bando *et al.*, 2014), because many dead manatees are recovered and available for examination. Some studies have been conducted on Antillean manatees (*Trichechus m. manatus*, Linnaeus 1758) in Cuba (Coy-Otero, 1989), Puerto Rico (Mignucci-Giannoni *et al.*, 1999a,b), and the Dominican Republic (Colón-Llavina *et al.*, 2009). Only six species of helminth parasites have been reported in *T. m. manatus*: five digenetic and one Nematoda (Marsh *et al.*, 2012). Searching for eggs in feces is a viable and non-invasive technique to describe helminth diversity in manatees (Bando *et al.*, 2014).

The species *Trichechus m. manatus* is listed as endangered, both internationally (Self-Sullivan & Mignucci-Giannoni, 2008) and in Mexico (SEMARNAT, 2010). The largest manatee population in Mexico inhabits the southern region of the Gulf of Mexico, within the states of Tabasco, northern Chiapas, southern Campeche (Colmenero & Hoz, 1986), and the Caribbean coast of Quintana Roo (Morales-Vela & Olivera-Gómez, 1997; Morales-Vela *et al.*, 2000). Recently, Nourisson *et al.* (2011) demonstrated genetic evidence of discreteness between these two populations in Mexico. In this study, we examined the presence and prevalence of helminth eggs in the feces of *T. m. manatus* in Mexico, from populations of the Gulf of Mexico (inland population, inhabiting freshwater systems) and the Caribbean (inhabiting mostly brackish and marine water).

MATERIALS AND METHODS

From 2005 to 2008, we collected fecal samples from 31 *T. m. manatus* in different localities in the Southern Gulf of Mexico (GM) and Caribbean coasts (CAR) in Mexico (Fig. 1). We analyzed 22 samples from 10 localities in the state of Tabasco in GM and 9 samples from two localities of the state of Quintana Roo in CAR (Table 1, Fig. 1). Within GM, samples came from two river basins, Grijalva (GV) and Usumacinta (USU) and within CAR, samples came from two coastal bays, Bahía de Chetumal (BCH) and Bahía de Ascensión (BA). All CAR samples and nine from GM were taken from manatees captured for health-assessment projects, immediately after the individual excreted during handling. For the other samples, one was taken from a rescued animal, four came from necropsies, four were from animals in captivity, and four samples were from fresh feces found floating on waterways. Fecal samples collected in dead stranded animals were taken from the latest newly formed stools with a greenish consistency, directly from the large intestine. Collected feces were placed in sterile containers with a capacity of 100 ml, with a tight lid and fixed and stored in 70% ethylic alcohol until analyses.

A qualitative flotation technique (saline saturated solution) was used to isolate eggs from stool samples. This technique involves a solution with a higher density than the eggs in the sample. We used 2 to 5 g of homogenized stool sample and mixed it with 20 ml of saline saturated solution in a stirring device and filtered same through a mesh to a test tube until forming a convex meniscus. We then gently placed a coverslip on top of the test tube. After 20 min we carefully lifted off the coverslip from the tube and placed it on a microscope slide to observe it. We also used the sedimentation (formalin-ether) technique where the

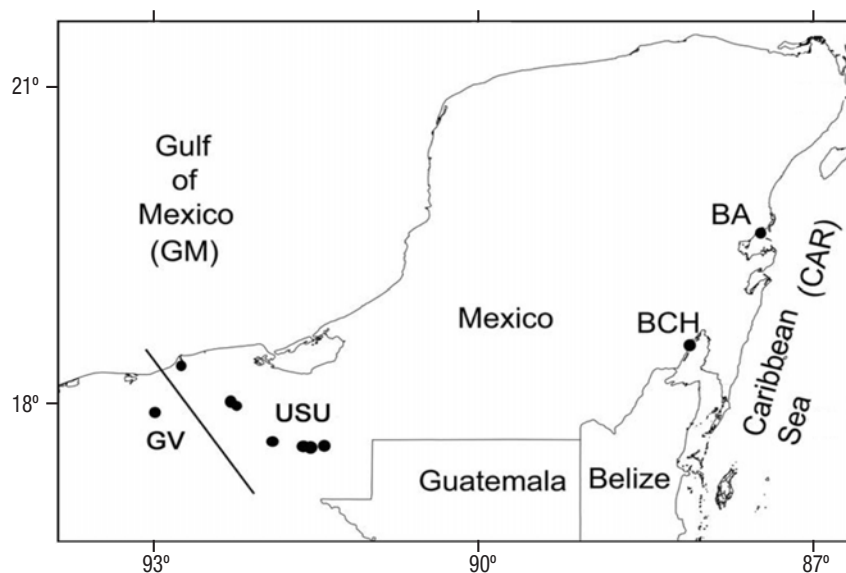


Figure 1. Study area at Southeastern Mexico. Points are sampling localities within the Gulf of Mexico (GM) and Caribbean coasts (CAR). Subregions of GM are the Usumacinta River Basin (USU) and Grijalva River Basin (GV). Subregions of CAR are Bahía de Chetumal (BCH) and Bahía de Ascensión (BA).

eggs are not distorted but rather deposited by gravity at the bottom of the container. We used 2 to 5 g of stool sample in 10 ml of 10% formalin, filtered through a mesh. We added 6 ml of the suspension in 3 ml of ether in a centrifuge tube and mixed at 3000 rpm for 3 m. Then we decanted the final solution and an aliquot was taken with a Pasteur pipette and placed on a microscope slide to observe it (Lamothe-Argumedo, 1997; Cruz-Reyes & Camargo-Camargo, 2001; Foreyt, 2001).

Eggs were identified under a microscope, using specialized literature and graphic catalogs (Travassos *et al.*, 1969; Dailey *et al.*, 1988; Coy-Otero, 1989; Foreyt, 2001; Bando *et al.*, 2014) and measured to μm with a ruled ocular. Microphotographs of representatives were taken with a digital camera. Empiric prevalence was calculated following the concepts of Bush *et al.* (1997), i.e., the number of hosts infected with one or more species of parasites divided by the number of hosts examined. Qualitative similitude within the sampling region was estimated by cluster analysis, using the UPGMA algorithm and Jaccard's index (Moreno, 2001), with MVSP software 3.22 (Kovach Computing Services, Kovach, 2010).

RESULTS

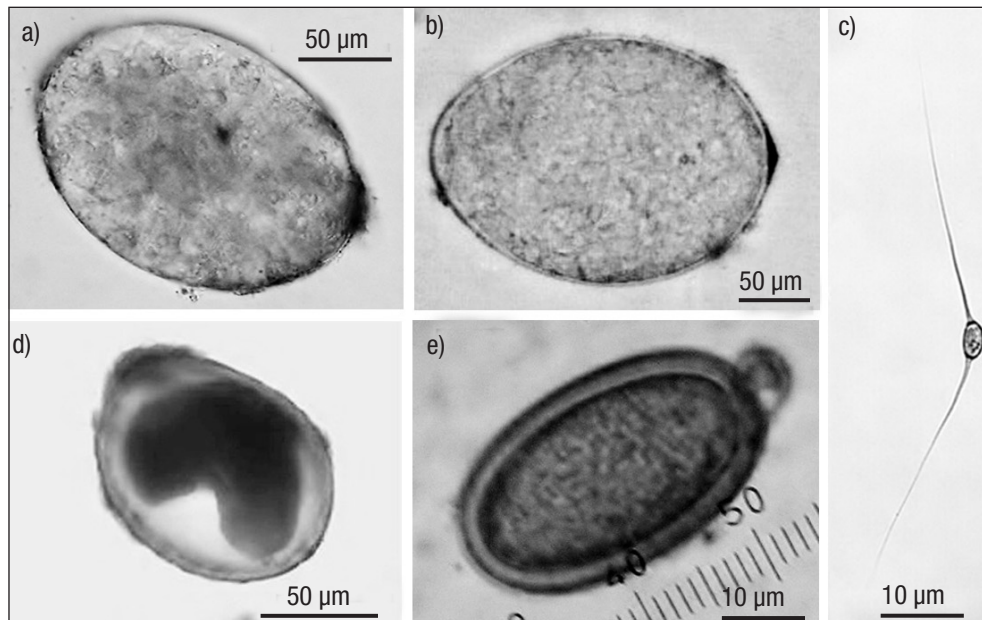
Five species of helminths were identified, three digenetic and two nematode. Digenea: *Chiorchis fabaceus* (Diesing, 1938) Fiscoider, 1901 ($n=12$, Fig. 2A), a large ovoid, almost elliptical, egg, 169.0×101.3 ($148-180 \times 90-120$), a thin membrane covering the egg, operculated side, barrel shaped with symmetrical walls. *Chiorchis groschaffi* Otero, 1989 ($n=18$, Fig. 2B) a smaller egg, 97.5×69.5 ($80-108 \times 60-71$), same characteristics of *C. fabaceus*. *Pulmonicola cochleotrema*

(Travassos&Vogelsang, 1931) Batron& Blair, 2005, ($n = 23$, Fig. 2C) very small eggs, ovoid, thin covered, 18.6×10.2 ($17-22 \times 10-12$), with a filament extended on each pole, the operculum is located on the base of the filament of the wider pole.

Nematodes, *Heterocheilus tunicatus* Diesing, 1839 ($n = 24$, Fig. 2D) a reddish egg, slightly ovoid with a thick, rough wall, 160.4×149.1 ($150-170 \times 140-160$), content does not fill the full eggshell. Ascarididae gen. sp. Baird, 1853 ($n = 1$, Fig. 2E) an ovoid egg, compressed on both poles, 50×30 , thick and smooth reddish wall.

From the 31 individuals samples, 19 (61.2%) were infected by at least one helminth. Ten animals from GM (45.4%) and the whole CAR sample (100%) were infected. Four helminth species were found in GM samples and three from CAR. Among the species found, in the CAR sample, *C. groschaffi* had the highest prevalence (66.6%), followed by *H. tunicatus* (44.4%) and *P. cochleotrema* (33.3%) (Fig. 3). In GM sample, *P. cochleotrema* had the highest prevalence (22.7%) followed by *C. fabaceus* (18.1%) and *H. tunicatus* (13.6%) (Fig. 3). Parasites in the individual samples varied from 0 to two species (mean = 0.83 species/sample). Seven samples had two species (22.5%), twelve samples had one species (38.7%), and twelve samples were free (38.7%) of parasites.

In terms of similarity, the generated cluster separated GM and CAR regions at an index ca. 0.30 (Fig. 4). Subregions in CAR (BA and BCH) were more similar than those in GM (GV and USU) (Fig. 4). Three species were shared by both populations, two were found only in GM samples, and one species only in CAR samples (Fig. 3). The species with higher prevalence differed among populations.



Figures 2a-e. Helminth eggs found in feces of *Trichechus manatus manatus*: **a)** *Chiorchis fabaceus* ($169.0 \times 101.3 \mu\text{m}$). **b)** *Chiorchis groschaffi* ($97.5 \times 69.5 \mu\text{m}$). **c)** *Pulmonicola cochleotrema* ($18.6 \times 10.2 \mu\text{m}$). **d)** *Heterocheilus tunicatus* ($160.4 \times 149.1 \mu\text{m}$). **e)** Ascarididae gen. sp. ($50 \times 30 \mu\text{m}$).

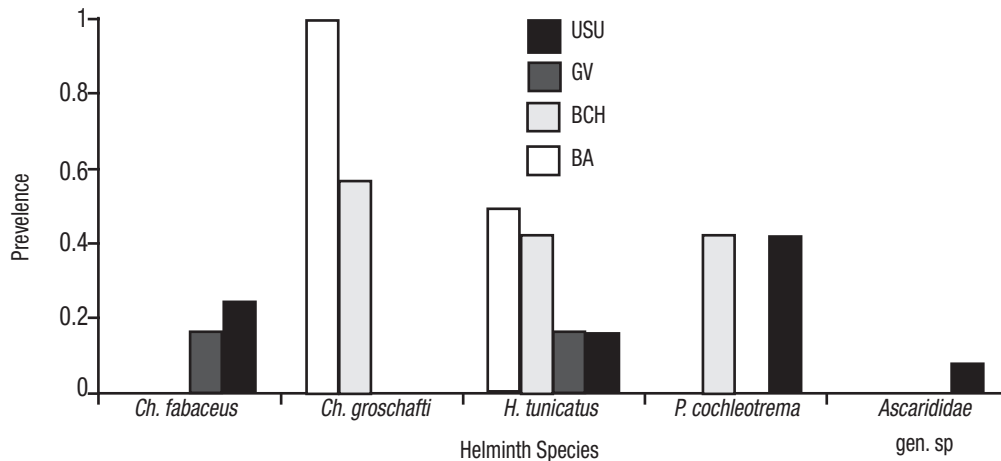


Figure 3. Prevalences of five species of helminth eggs found in feces of *Trichechus manatus manatus* in México on subregions of the Gulf of Mexico (Usumacinta River basin (USU), Grijalva River basin (GV), Caribbean Coasts (Bahia de Chetumal (BCH) and Bahia de Ascension (BA).

DISCUSSION

Helminth parasite diversity in *T. m. manatus* is consistently low. There are reports of only six species in the literature (Marsh *et al.*, 2012). This could be a result of small samples, limited research, and a focus on feces or content of the digestive track, but also due to the habits of the species, whose distribution tends toward freshwater environments, while its herbivorous diet is mainly fibrous plants. As a comparison, 22 species of helminths are reported for the dugong *Dugong dugon* (Müller, 1776) (Sirenia: Dugongidae) (Beck & Forrester, 1988), which is a marine species. Four of the species found in this study, *C. fabaceus*, *C. groschafti*, *P. cochleotrema*, and *H. tunicatus* were reported as adult parasites of dead manatees in Florida (Beck & Forrester, 1988), Cuba (Coy-Otero, 1989), Puerto Rico (Mignucci-Giannoni *et al.*, 1999a), the Dominican Republic (Mignucci-Giannoni *et al.*, 1999b), Brazil (Carvalho *et al.*, 2009), and Mexico (González-Solís & Vidal-Martínez, 2004).

Bando *et al.* (2014) described eggs from six helminth species in *T. m. latirostris*: *H. tunicatus*; *C. fabaceus*; *C. groschafti*; *P. cochleotrema*;

Moniligerum blairi Dailey, Vogelbein & Forrester, 1988, and *Nudacotyle undicola* Dailey, Vogelbein & Forrester, 1988. The eggs we analyzed coincided with descriptions and measurements taken by Bando *et al.* (2014) for *C. fabaceus* 169x110 (160.4-178.2 x 98-118.8), *C. groschafti* 98x70 (93.5-104.5 x 49.5-74.8), *P. cochleotrema* 22.4x10.5 (20.9-24.2 x 8.8-11), and *H. tunicatus* 154x155 (124.7-190.1 x 127.7-193.1).

Members of the Paramphistomidae family are often found in *T. m. manatus*, *C.fabaceus*, and *C. groschafti* in Florida, Cuba, Puerto Rico, the Dominican Republic, and the east coast of the Yucatan Peninsula. *C. fabaceus* had been reported in the three species of the Trichechiidae family: *T. manatus*, *T. inunguis* (Natterer, 1883), and *T. senegalensis* (Link, 1795) (Marsh *et al.*, 2012). Individuals of *Chiorchis* sp. inhabit the digestive tract, mainly in the colon and cecum. Their life cycle has not yet been studied, but it is thought that manatees ingest them by consuming small snails with cercarias (digenea larvae) that are on the aquatic plants they feed on (Raga *et al.*, 2009).

Digenea *P. cochleotrema* from the Opisthotrematidae family is described from nostrils, trachea, and bronchi of manatees (Marsh *et al.*, 2012). This species is registered from *T. m. latirostris* in Florida (Beck & Forrester, 1988) and from *T. m. manatus* in México, Puerto Rico, the Dominican Republic, and Brazil (Mignucci-Giannoni *et al.*, 1990b; González-Solís & Vidal-Martínez, 2004; Colon-Llavina *et al.*, 2009; Carvalho *et al.*, 2009)

The ascarid nematode *H. tunicatus* belongs to the Heterocheilidae subfamily, which is common in aquatic reptiles (especially in crocodiles) and in sirenian mammals (Anderson, 2000). These adult helminths have been recorded from Florida (Beck & Forrester 1988), Puerto Rico (Mignucci-Giannoni *et al.*, 1999a), the Dominican Republic (Mignucci-Giannoni *et al.*, 1999b), and the eastern Yucatan Peninsula (González-Solís & Vidal-Martínez, 2004), in great numbers throughout the digestive tract, mainly in the stomach. Sanvicente (2005) reported eggs of *H. tunicatus* in feces found along the Caribbean coasts of Mexico (Quintana Roo) and from the Gulf of Mexico (Tabasco and Campeche). Jueco (1977) previously suggested that manatees feed on the intermediate hosts when consuming vegetation.

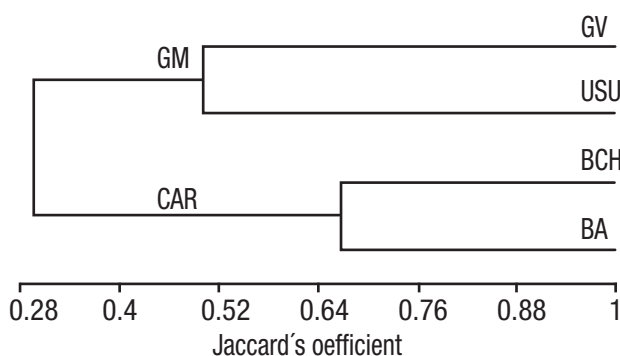


Figure 4. Similarity of subregions of the Gulf of Mexico (GM) and Caribbean coasts (CAR) of Mexico, based on the egg prevalences of five species of parasite helminth in feces of *Trichechus manatus manatus*. The method used was UPGMA.

Eggs of the parasites that we attribute solely to the Ascarididae gen. sp. family have an unknown origin. In the Gulf of Mexico localities, domestic animals like cows, horses, dogs, and cats are often found along the waterways and lakes; many lakes and freshwater systems are lentic (low energy) and receive wastes from urban and rural communities, which could favor some species of parasites.

Necropsies of manatees from the Caribbean coast of Mexico, where manatees inhabit coastal environments, often found greater numbers of nematodes and digenea in the digestive tract. However, in the Gulf of Mexico, where manatees are found almost exclusively within freshwater, the parasite load is low and just one adult species had been registered, the *C. fabaceus* (Hernández-Olascoaga & Olivera-Gómez, pers. com.) digenea.

Other reported species of digenea, *Nudacotyleundicola* and *Moniliger umblairi* or coccidea, *Eimeria manatus* Upton, Odell, Bossart & Walsh, 1989 and *E. nodulosa* Upton, Odell, Bossart & Walsh, 1989 (Beck & Forrester, 1988; Upton *et al.*, 1989) were not observed as eggs or as other forms in our study. The sample size could influence the diversity found, since more samples were analyzed for the GM population. However, this study supports evidence that manatee helminth fauna is not diverse (Raga *et al.*, 2009) compared to other aquatic mammals like cetacean or pinnipeds (Foreyt, 2001; Raga *et al.*, 2009).

The differences of helminth fauna between the two regions are in keeping with the genetic information of the limited movements of individuals between the regions (Nourisson *et al.*, 2011) and indicate that different ecological pressures act upon the populations. These differences also support the idea that both populations should be managed separately. Despite their low diversity, future studies on local helminth differences that used larger sample numbers could generate information on their habitat.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Serapio López Jiménez, José Domínguez-Alpizar, David González-Solís, and Cruz Ulin-Izquierdo for their comments and suggestions regarding this analysis. We also wish to thank Leticia García-Magaña for her comments and granting us access to the parasitology laboratory at the Academic Division of Biological Sciences at the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. We also give our thanks to Mauro Sanvicente-López for his bibliographic support. Samples were collected with support from the following projects: SEMARNAT-2004-C01-385, PROMEP/103.5/04/2582, and SEMARNAT/CONACYT 2002-C01-1128 (Quintana Roo). The following federal permits were used: SEMARNAT/DGVS703144, 04513, 03670/06 and 03675/07.

REFERENCES

- ANDERSON, R. C. 2000. *Nematode parasites of vertebrates: Their Development and Transmission*, 2nd. Ed. CABI Publishing, 635 p.
- BANDO, M., I. V. LARKIN, S. D. WRIGHT & E. C. GREINER. 2014. Diagnostic stages of the parasites of the Florida manatee, *Trichechus manatus latirostris*. *Journal of Parasitology* 100 (1): 133-138. DOI: 10.1645/13-206.1
- BECK, C. A. & D. J. FORRESTER. 1988. Helminths of the Florida manatee, *Trichechus manatus latirostris*, with a discussion and summary of the parasites of sirenians. *Journal of Parasitology* 74: 628-637.
- BUSH, A. O., K. D. LAFFERTY, J. M. LOTZ & A. W. SHOSTAK. 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis *et al.* revisited. *Journal of Parasitology* 83 (4): 575-583.
- CARVALHO, V. L., A. D. OLIVEIRA DE MEIRELLES, M. R. M. ALVES, D. C. COLARES, M. C. V. MORAES & C. M. B. LEAL. 2009. Occurrence of *Pulmonicola cochleotrema* (syn. *Cochleotrema cochleotrema*) (Digenea: Opisthotrematidae) in Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 7 (1-2): 47-52. DOI: 10.5597/lajam00132
- 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.
- COLON-LLAVINA, M. M., A. A. MIGNUCCI-GIANNONI, S. MATTIUCCI, M. PAOLETTI, G. NASCETTI & E. E. WILLIAMS. 2009. Additional records of metazoan parasites from Caribbean marine mammals, including genetically identified anisakid nematodes. *Parasitology Research* 105: 1239-1252. DOI: 10.1007/s00436-009-1544-4
- COY-OTERO, A. 1989. Una nueva especie de trematodo del género *Chiorchis* (Diplodiscidae), un parásito del manatí *Trichechus manatus* (Sirenia) de Cuba. *Poeyana* 378: 1-4.
- CRUZ-REYES, A. & B. CAMARGO-CAMARGO. 2001. *Glosario de términos en Parasitología y Ciencias Afines*. Instituto de Biología, UNAM. México. 347 p.
- DAILEY, M. D., W. VOGELBEIN & D. J. FORRESTER. 1988. *Moniliger umblairi* n. g., n. sp. and *Nudacotyle undicola* n. sp. (Trematoda: Digenea) from the West Indian Manatee, *Trichechus manatus*. *Systematic Parasitology* 11: 159-163
- FOREYT, J. W. 2001. *Veterinary Parasitology: Reference Manual*, Fifth edition. Iowa State Press. 230 p.
- GONZÁLEZ-SOLÍS, D. & V. M. VIDAL-MARTÍNEZ. 2004. Helminths parasites of manatíes y cetáceos varados en la costa de la península de Yucatán, México. *Memorias del XVI Congreso Nacional de Parasitología*. Tlaxcala, México del 11 al 16 de octubre.
- JUECO, N. L. 1977. The trematode *Paradujardinia halicoris* in the sea cow in Phillipines. *Journal of Biology* 6: 257-262.
- KOVACH, W. L. 2010. *MVSP - A MultiVariate Statistical Package for Windows*, ver. 3.2. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K.
- LAMOTHE-ARGUMEDO, R. A. 1997. *Manual de técnicas para preparar y estudiar los parásitos de animales silvestres*. AGT Editor. México. 43 p.
- MARSH, H., T. J. O'SHEA & J. E. REYNOLDS III. 2011. *Ecology and Conservation of the Sirenia: Dugongs and Manatees*. Cambridge University Press. 521 p.
- MIGNUCCI-GIANNONI, A. A., C. A. BECK, R. A. MONTOYA-OSPINA & E. H. WILLIAMS JR. 1999a. Parasites and commensals of the West Indian manatee from Puerto Rico. *Journal of the Helminthological Society of Washington* 66 (1): 67-69.

- MIGNUCCI-GIANNONI, A. A., E. H. WILLIAMS JR., G. M. TOYOS-GONZÁLEZ, J. PÉREZ-PADILLA, M. A., RODRÍGUEZ-LÓPEZ, M. B. VEGA-GUERRA & M. VENTURA-GONZÁLEZ. 1999b. Helminths from a stranded manatee in the Dominican Republic. *Veterinary Parasitology* 81: 69-71.
- MORALES-VELA, B. & L. D. OLIVERA-GÓMEZ. 1997. Distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en la costa norte y centro-norte del estado de Quintana Roo, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 68 (1): 153-164.
- MORALES-VELA, B., L. D. OLIVERA-GÓMEZ, J. E. REYNOLDS III & G. B. RATHBUN. 2000. Distribution and habitat use by manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Belize and Chetumal Bay, Mexico. *Biological Conservation* 95: 67-75. DOI: 10.1016/S0006-3207(00)00009-4
- MORALES-VELA, B., J. A. PADILLA-SALDIVAR & M. SANVICENTE-LÓPEZ. 2002. Mortandad de manatíes en la Bahía de Chetumal y riesgos actuales. In: Rosado-May, F.J., R. Romero-May & A. de Jesús-Navarrete (Eds.). *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia*. Universidad de Quintana Roo. Chetumal, Q. Roo, México. pp. 67-72.
- MORENO, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M & T - Manuales y Tesis SEA, vol.1 Zaragoza. 84 p.
- NOURISSON, C., B. MORALES-VELA, J. A. PADILLA-SALDIVAR, K. P. TUCKER, A. M. CLARK, L. D. OLIVERA-GÓMEZ, R. BONDE & P. MCGUIRE. 2011. Evidence of two genetic clusters of manatees with low genetic diversity in Mexico and implications for their conservation. *Genetica* 139: 833-842. DOI: 10.1007/s10709-011-9583-z
- RAGA, J. A., M. FERNÁNDEZ, J. A. BALBUENA & F. J. AZNAR. 2009. Parasites. In: W. F. Perrin, B. Wursig & J. G. M. Thewissen (Eds.) *Encyclopedia of Marine Mammals*. 2nd ed. Academic Press, pp. 821-829.
- SAMUEL, W. M., M. J. PYBUS & A. A. KOCAN. 2001. *Parasitic Diseases of Wild Mammals*. Second Edition. Iowa State University Press. 570 p.
- SANVICENTE, M. L. 2005. Diagnóstico de agentes parasitarios en el manatí del Caribe (*Trichechus manatus*) en la región del sureste de México. Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural. El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México. 51 p.
- 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: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22105A9359161.en>. (Downloaded January 20, 2016).
- SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 2010. NOM-059 Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 30 de diciembre de 2010.
- TRAVASSOS, J. F., T. FREITAS & A. KOHN. 1969. Trematódeos do Brasil. *Memoorias del Instituto Oswaldo Cruz*. 67: 625-626.
- UPTON, S. J., D. K. ODELL, G. D. BOSSART & M. T. WALSH. 1989. Description of the oocysts of two new species of *Eimeria* (Apicomplexa: Eimeriidae) from the Florida manatee, *Trichechus manatus* (Sirenia: Trichechidae). *Journal of Protozoology* 36 (1): 87-90.

Diversidad algal del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México, excepto diatomeas

Algal diversity of Zempoala Lagoons National Park, Mexico, except diatoms

José Luis Godínez-Ortega¹, María Guadalupe Oliva-Martínez², Marco Antonio Escobar-Oliva² y Berenit Mendoza-Garfias¹¹Instituto de Biología, Departamento de Botánica, Universidad Nacional Autónoma de México, Tercer circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 04510. México²Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Unidad de Morfología y Función, UNAM. Av. de los Barrios No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México
e-mail: jlgo@unam.mx**Recibido:** 26 de agosto de 2015.**Aceptado:** 28 de octubre de 2016.Godínez-Ortega J. L., M. G. Oliva-Martínez, M. A. Escobar-Oliva y B. Mendoza-Garfias. 2017. Diversidad algal del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México, excepto diatomeas. *Hidrobiológica* 27 (1): 45-58.**RESUMEN**

Antecedentes. El Parque Nacional Lagunas de Zempoala (PNLZ) es una zona de transición entre la región Neártica y Neotropical de México con gran riqueza ficoflorística. Los lagos estudiados fueron Zempoala, Compila, Tonatihua, Prieta y el Arroyo las Trancas que confluye hacia el lago de Zempoala. A excepción del Lago Zempoala, los demás son estudiados por primera vez. **Objetivos.** Estudiar la composición ficoflorística actual de los principales ambientes acuáticos del PNLZ. **Métodos.** El muestreo (23) se realizó en marzo y abril de 2011, utilizando una red de arrastre de 20 μm de abertura de malla. Se filtraron 10 L de agua del lugar y se colectaron las algas entreveradas con las plantas acuáticas. Las muestras fueron fijadas con formol al 4%. Se midieron pH, temperatura del agua y conductividad. Las muestras se observaron con microscopio de luz (ML) y electrónico de barrido (MEB). **Resultados.** El pH de los lagos estudiados fue de 7.1-8.8, la temperatura del agua superficial se registró entre 14.2-17°C y la conductividad varió entre 112-124 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Se determinaron 55 especies, dominando las Chlorophyceae (13), Cyanophyceae (12), Trebouxiophyceae (9), Euglenophyceae (7) y Zygnematophyceae (6). Algunas cianobacterias frecuentes fueron *Woronichinia* y *Planktolyngbya*. Otras como *Cryptomonas* (Cryptophyta), *Ceratium* y *Peridinium* (Dinoflagellata) resultaron abundantes. Las Chlorophyta abarcaron toda la zona de estudio (*Scenedesmus*, *Eudorina*, *Botryococcus* y *Lagerheimia*). Resaltan *Staurastrum* y *Cosmarium* (Charophyta). Se registraron tres géneros bentónicos *Prasiola*, *Chara* y *Nitella* en el PNLZ. Otras algas verdes crecieron como metafiton y epifitas. El 39.3% de las especies son cosmopolita, otras tienen afinidades tropicales y neárticas. Se determinaron 10 nuevos registros para México. **Conclusiones.** En comparación con otros lagos mexicanos, los estudiados aquí se pueden considerar de alta riqueza y diversidad, particularmente en lo que respecta al fitoplancton. La falta de conocimiento y la perturbación de los ambientes acuáticos continentales, ponen en riesgo la sobrevivencia de la comunidad fitoplanctónica, por lo que es importante la integración de estudios que incluyan diversas áreas de la biología, así como de políticas públicas para su manejo y conservación.

Palabras clave: Biodiversidad, fitoplancton, florística, nuevos registros, riqueza específica.**ABSTRACT**

Background. The Parque Nacional Lagunas de Zempoala (PNLZ) is located in a transitional zone between the Nearctic and Neotropical regions, and harbors a great phycofloristic diversity. The lakes studied were Zempoala, Compila, Tonatihua and Prieta, and the stream that flows into Zempoala lake. With the exception of Zempoala lake, the others are studied for the first time. **Goals.** To study of phycofloristic composition of aquatic environments of the PNLZ. **Methods.** The samples (23) were collected in March-April 2011, using a towed net of 20 μm . Ten L of water were filtered and algae mixed with aquatic plants were collected. The samples were fixed with 4% formalin. Water temperature pH, and conductivity were measured. Samples were observed under light microscopy (LM) and scanning electron microscopy (SEM). **Results.** The pH of the studied lakes was 7.1-8.8, the surface water temperature was recorded between 14.2-17°C and the conductivity varied between 112-124 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Fifty-five species were identified, with a dominance of Chlorophyceae (13), Cyanophyceae (12), Trebouxiophyceae (9), Euglenophyceae (7) and Zygnematophyceae (6). Some common blue-greens were *Woronichinia* and *Planktolyngbya*. Others such as *Cryptomonas* (Cryptophyta), *Ceratium* and *Peridinium* (Dinoflagellata) were abundant. Chlorophyta encompassed the entire study area (*Scenedesmus*, *Eudorina*, *Botryococcus* and *Lagerheimia*). They emphasize *Staurastrum* and *Cosmarium* (Charophyta). Three benthic genera *Prasiola*, *Chara* and *Nitella* were recorded in PNLZ. Other green algae grew as metaphytes and epiphytes. 39.3% of the species are cosmopolitan; others have tropical and nearctic affinities. Ten new registries were determined for Mexico. **Conclusions.** Compared to other Mexican lakes, those studied here can be considered of high richness and diversity, particularly with respect to phytoplankton. The lack of knowledge and the disturbance of the continental aquatic environments, threaten the survival of the phytoplankton community, so it is important to integrate studies that include various areas of biology, as well as public policies for their management and conservation.

Key words: Biodiversity, floristic, phytoplankton, new records, species richness.

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Lagunas de Zempoala de México (PNLZ), se encuentra limitado por tres cuencas hidrográficas: México, Balsas y Lerma; es una zona de transición de la región Neártica y Neotropical con gran riqueza ficoflorística. Existen 7 lagos: Zempoala, Prieta o Acoyotongo, Tonatihua, Compila, Acomantla, Quila y Hueyapan y un pequeño manantial nombrado La Joya de Atezcapan que forman parte de la Cuenca del Balsas (Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana, 1995; Contreras-McBeath, 1995).

Los primeros ejemplares estudiados en la Laguna Zempoala fueron *Chara braunii* y *Nitella* sp., colectados en 1950 por el botánico norteamericano Norman Carter Fassett (MEXU 405, 406, 435, 1683). Ortega colectó en 1966 *Prasiola mexicana* en el Arroyo las Trancas que desemboca en el lago Zempoala (MEXU 1969) y Albores-Celorio (1969) registró 16 microalgas de los phyla Euglenozoa, Cryptophyta, Dinoflagellata y Chlorophyta. López-Ochoterena y Roure-Cane (1970) determinaron 16 especies en el lago Zempoala. Ortega (1984) publicó su "Catálogo de algas continentales recientes de México" con varios registros de Zempoala. García-Rodríguez y Tavera (1998) estudiaron 26 especies de algas y variables como densidad, distribución espacial y temporal. García-Rodríguez *et al.* (2003, 2010) identificaron 24 especies del lago Tonatihua y reportaron los componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos del lago Zempoala.

El lago Zempoala ha sido objeto de varios estudios desde hace más de 50 años, sin embargo, aún permanecen poco explorados los otros lagos que forman parte del PNLZ, por lo que el objetivo del presente trabajo fue estudiar la composición actual de las algas de los principales ambientes acuáticos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Se presenta información de las formas de vida (plancton, metafiton, bentos y epífitas), de la distribución local, mundial y de algunas variables físico-químicas del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El Parque Nacional Lagunas de Zempoala es un área natural protegida, ubicada en los Estados de Morelos y México. La vegetación dominante es de bosques de oyamel, pino y encino (Ramírez-Pulido, 1969) con una altitud entre 2850-3550 m.s.n.m. y forma parte de la Faja Volcánica Transmexicana. Actualmente existen 7 lagos: Zempoala, Prieta o Acoyotongo, Tonatihua, Compila, Acomantla, Quila y Hueyapan. Sin embargo Acomantla y Hueyapan se encuentran secos casi todo el año. Los lagos de Zempoala son de origen volcánico y pertenecen a la unidad geológico-estratigráfica de los grupos Zempoala y Chichinautzin. La cuenca del Parque Nacional Lagunas de Zempoala es endorreica con una precipitación anual de 1000-1400 mm, la temporada de lluvias va de junio a septiembre, mientras que la de secas entre octubre y mayo (Atlas Nacional de México, 1990).

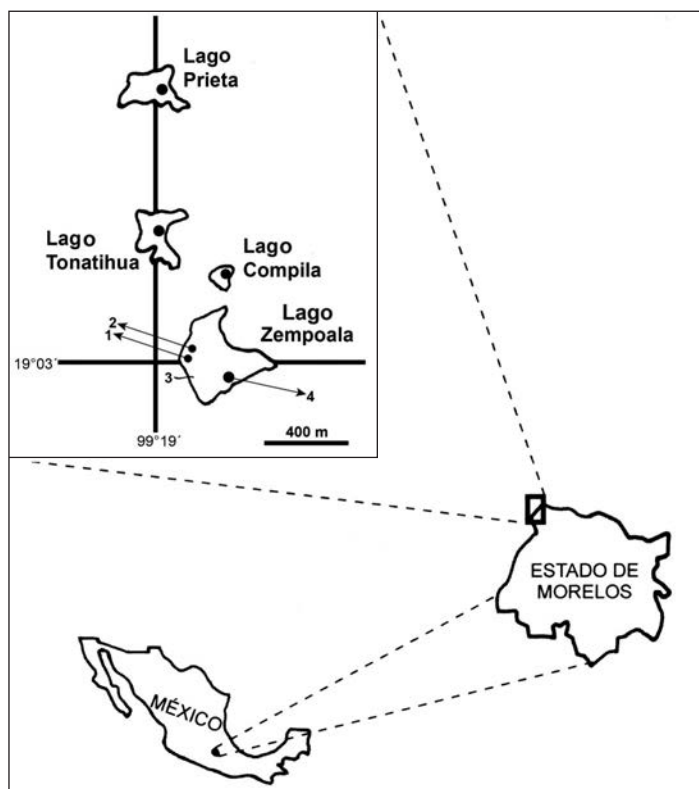
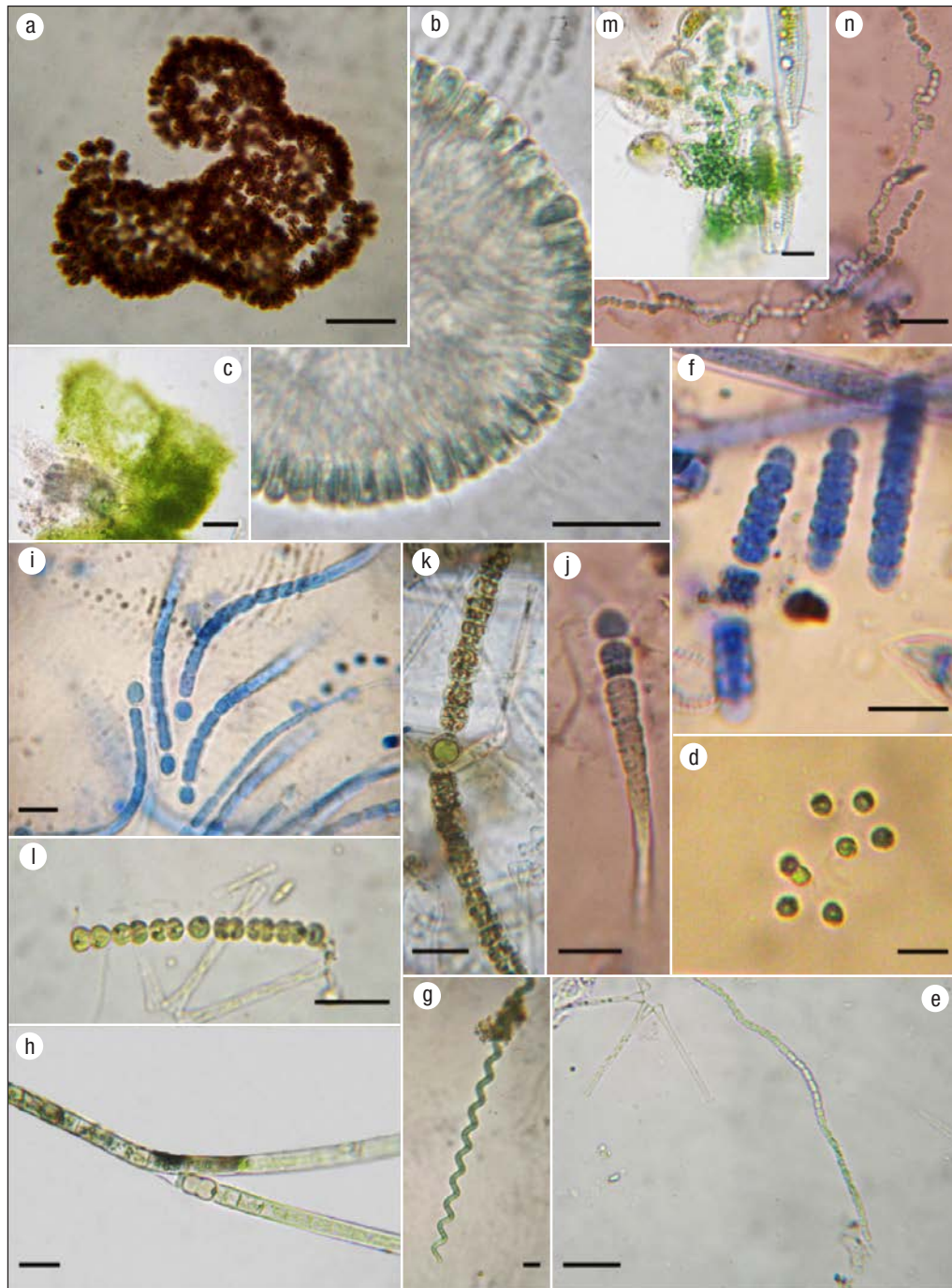


Figura 1. Zona de estudio y ubicación de los sitios de muestreo (1-4) en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México (coordenadas de georreferencia de los sitios de colecta en la Tabla 1).



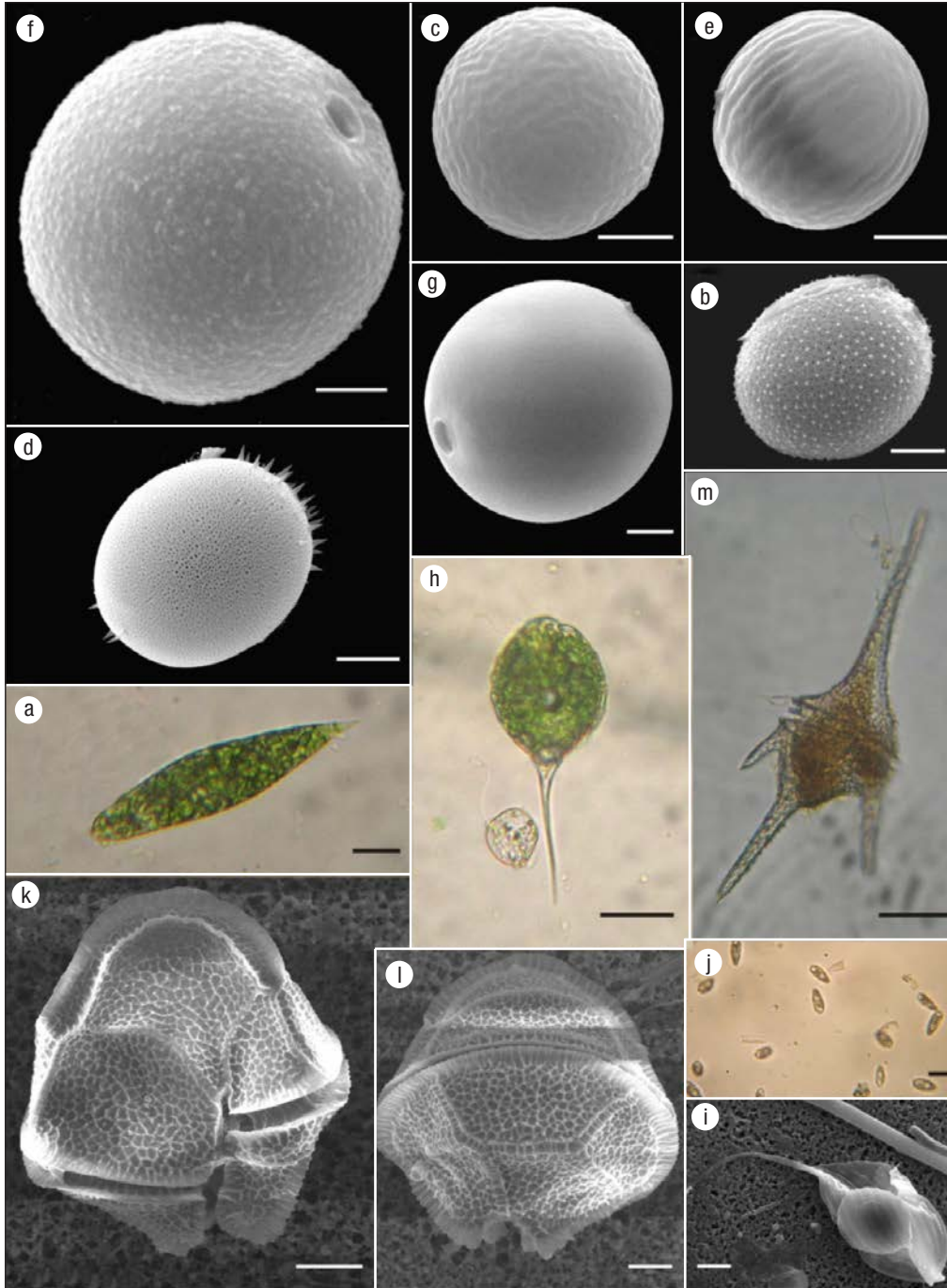
Figuras 2a-n. Cyanobacterias del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México (ML). **a-b)** *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin. **c)** *Microcystis* sp. **d)** *Chroococcus minimus* (Keissler) Lemmermann. **e)** *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) J. Komárková-Legnerová et G. Cronberg. **f)** *Borzia trilocularis* Cohn ex Gomont. **g)** *Arthrospira jenneri* Stizenberger ex Gomont. **h)** *Scytonema* sp. **i)** *Rivularia* cf. *borealis* P. G. Richter. **j)** *Rivularia aquatica* De Wildeman. **k)** *Dolichospermum affine* (Lemmermann) Wacklin, L.Hoffmann et Komárek. **l)** *Anabaena* sp. **m-n)** *Nostoc oryzae* (F. E. Fritsch) J. Komárek et K. Anagnostidis. Barras de medida. Figs. d-f = 5 μ m. Figs. g-l, n = 10 μ m. Figs. b, m = 20 μ m. Figs. a-b = 100 μ m.

Muestreo. Se realizaron 23 muestreos en dos fechas (15 de marzo y 14 de abril de 2011) en los lagos Zempoala (con 3 sitios de colecta), Compila, Prieta y Tonatihua y en el Arroyo Las Trancas (Fig. 1). Las algas fueron colectadas con una red de arrastre de 20 μ m de abertura de malla y además se filtraron 10 L de agua del lugar con una coladera

de 20 μ m de abertura de malla. También se colectaron algas del mefiton entreveradas con plantas vasculares acuáticas (*Ceratophyllum demersum* Linnaeus, *C. muricatum* Chamisso, *Myriophyllum* sp., *Cardamine flaccida* Chamisso et Schlechtendal y *Egeria densa* Planchon). Las muestras fueron fijadas con formol neutralizado al 4%. Se tomaron

in situ algunas variables fisicoquímicas (en superficie del agua) como temperatura del agua, pH y conductividad eléctrica utilizando un equipo Hanna Instruments HI 8314 Portable pH/mV/Temperature Meter.

Microscopía. Se elaboraron preparaciones permanentes utilizando técnicas convencionales para microalgas (Kumar & Singh, 1979). Las observaciones del material estudiado fueron realizadas con un microscopio óptico compuesto Zeiss, equipado con cámara digital



Figuras 3a-m. Algas Euglenozoa, Cryptophyta y Dinoflagellata del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. **a)** *Euglena* sp. (LM). **b)** *Trachelomonas hispida* (Perty) F. Stein emend Deflandre (MEB). **c)** *Trachelomonas nexilis* Palmer (MEB). **d)** *Trachelomonas raciborskii* Woloszynska var *raciborskii* (MEB). **e)** *Trachelomonas rugulosa* F. Stein ex Deflandre var. *rugulosa* (MEB). **f)** *Trachelomonas verrucosa* var. *irregularis* Deflandre (MEB). **g)** *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg var. *volvocina* (MEB). **h-i)** *Phacus tortus* (Lemmermann) Skvortzov (LM, MEB). **j)** *Cryptomonas ovata* Ehrenberg (ML). **k-l)** *Peridinium cinctum* (O. F. Müller) Ehrenberg (MEB). **m)** *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin (ML). Barras de medida (MEB). Figs. d, f, g = 2 µm. Figs. b, c, e = 5 µm. Figs. i-k = 10 µm. Fig. l = 15 µm. Barras de medida (ML). Fig. a = 10 µm. Fig. j = 30 µm. Figs. h, m = 50 µm.

Tabla 1. Características geográficas y del hábitat de los lagos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México.

Localidad	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m.)	Superficie (Km ²)	Hábitat	NI (MEXU)
Lago Zempoala, Sitio 1	19°03'04.08" N, 99°18'56.74" O	2825	12.34	Fitoplancton, metafiton y flotantes macroscópicas pH = 8.8; T = 14.5 °C; C = 112 µS cm ⁻¹ . En la zona litoral abundan <i>Ceratophyllum demersum</i> y <i>Egeria densa</i>	444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 456, 468, 470
Lago Zempoala, Sitio 2	19°03'04.65" N, 99°18'56.08" O	2825.8		Fitoplancton pH = 8.8; T = 14.5 °C, C = 112 µS cm ⁻¹ .	452, 453
Arroyo Las Trancas, que desemboca en el Lago Zempoala, Sitio 3	19°02'58.01" N, 99°19'02.15" O	2819		Metafiton pH = 6.8; T = 6.5°C	454
Lago Zempoala, Sitio 4	19°02'56.32" N, 99°18'50.93" O	2848.6		Fitoplancton pH = 7.2; T = 14.2 °C; C = 124 µS cm ⁻¹	469
Lago Compila	19°03'12.80" N, 99°18'49.33" O	2825.8	0.011	Fitoplancton	459, 460
Lago Prieta	19°03'16.05" N, 99°18'57.84" O	2835	0.044	Fitoplancton, metafiton y algas flotantes macroscópicas	461, 462, 463, 464, 465
Lago Tonatihua	19°03'44.87" N, 99°18'57.89" O	2844	0.061	Fitoplancton pH= 7.1-7.7; T = 16-17°C	466, 467

Canon PowerShot G6 y fueron digitalizadas con el programa Axio Vision 4.8.2. Para los estudios de microscopía electrónica de barrido (MEB) las muestras fueron fijadas con glutaraldehído al 4% y deshidratadas con alcohol etílico. Posteriormente el alga se llevó a punto crítico, se montó en platina y se observó en un Microscopio electrónico de Barrido (MEB) marca Hitachi modelo SU1510. Las muestras líquidas y laminillas permanentes con su número de identificación (NI) se incorporaron al

Herbario Nacional de México (MEXU). Para la determinación taxonómica se consultaron obras especializadas (Komárek & Fott, 1983; Dillard, 1989 a, b, 1990; Comas-González, 1996; Kristiansen, 2002; John *et al.*, 2002; Wehr & Sheath, 2003; Komárek, 2003; Komárek & Anagnostidis, 2008); y se siguió el sistema de clasificación de John *et al.* (2002) y Guiry y Guiry (2014).

Tabla 2. Listado sistemático por orden taxonómico, según los esquemas de clasificación John *et al.* (2002) y Guiry y Guiry (2016) de las algas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México.

Taxa	Z ¹	P	T	C	A	Forma de vida ³	Distribución mundial ⁴	Muestras
CYANOBACTERIA								
Clase Cyanophyceae								
Orden Chroococcales								
Familia Microcystaceae								
1. <i>Microcystis</i> sp. (Fig. 2c)	X			X		Planctónica		(NI-449, 460)
Familia Chroococcaceae								
2. <i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann (Fig. 2d)	X			X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460, 468)
Orden Synechococcales								
Familia Coelosphaeriaceae								
3. <i>Woronichinia naegeliana</i> (Unger) Elenkin (Figs. 2 a-b)	X		X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-456, 466, 467)
Familia Leptolyngbyaceae								
4. <i>Leptolyngbya margaritata</i> (Kufferath) Anagnostidis	X					Metafiton		(NI-447)
5. <i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann)	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-446)
J. Komárková-Legnerová <i>et G. Cronberg</i> (Fig. 2e)								
Orden Oscillatoriales								
Familia Borziaceae								
6. <i>Borzia trilocularis</i> Cohn <i>ex Gomont</i> (Fig. 2f).	X					Planctónica	Norteamérica y Sudamérica, Europa, Asia	(NI-446)

Tabla 2 (continuación).

Taxa	Z ¹	P	T	C	A	Forma de vida ³	Distribución mundial ⁴	Muestras
Familia Microcoleaceae								
7. <i>Arthrospira jenneri</i> Stizenberger ex Gomont (Fig. 2g)	X	X				Planctónica	Cosmopolita	(NI-450, 461, 462)
Familia Oscillatoriaceae								
8. <i>Phormidium diguetii</i> (Gomont) Anagnostidis et Komárek	X					Metafiton	Cosmopolita	(NI-446)
Orden Nostocales								
Familia Scytonemataceae								
9. <i>Scytonema</i> sp. (Fig. 2h)	X					Metafiton		(NI-444, 445)
Familia Rivulariaceae								
10. <i>Calothrix</i> sp.	X					Epífita		(NI-446)
11. <i>Rivularia</i> cf. <i>borealis</i> P.G. Richter (Fig. 2i)	X					Metafiton	Australia, Asia (Israel)	(NI-445, 446)
12. <i>R. aquatica</i> De Wildeman (Fig. 2j)	X					Metafiton	Asia (Israel)	(NI-445)
Familia Nostocaceae								
13. <i>Anabaena</i> sp. (Fig. 2l)	X		X			Planctónica		(NI-444, 450)
14. <i>Nostoc hatei</i> S.C. Dixit	X					Metafiton	Europa, Asia (India)	(NI-445, 450)
15. <i>N. oryzae</i> (F.E. Fritsch) J. Komárek et K. Anagnostidis (Figs. 2m, n)	X					Metafiton	Asia (India)	(NI-446)
Familia Aphanizomenonaceae								
16. <i>Dolichospermum affine</i> (Lemmermann) Wacklin, L. Hoffmann et Komárek (Fig. 2k)	X					Planctónica	Ártico, Europa, Asia	(NI-444, 445, 450, 468, 469)
EUGLENOZOA								
Clase Euglenophyceae								
Orden Euglenales								
Familia Euglenaceae								
17. <i>Euglena</i> sp. (Fig. 3a)		X		X		Planctónica		(NI-459, 461)
18. <i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F. Stein emend. Deflandre (Fig. 3b)	X		X			Metafiton	Cosmopolita	((NI-459)
19. <i>Trachelomonas nexilis</i> Palmer (Fig. 3c)	X					Planctónica		(NI-465)
20. <i>*T. raciborskii</i> Woloszynska var. <i>raciborskii</i> (Fig. 3d)		X				Planctónica	Norteamérica y Sudamérica	(NI-465)
21. <i>T. rugulosa</i> F. Stein ex Deflandre var. <i>rugulosa</i> (Fig. 3e)			X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-459)
22. <i>T. verrucosa</i> var. <i>irregularis</i> Deflandre (Fig. 3f)	X					Planctónica	Norteamérica, Europa	(NI-465)
23. <i>T. volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg var. <i>volvocina</i> (Fig. 3g)	X	X	X	X		Planctónica, metafiton	Cosmopolita	(NI-445, 448, 450, 459, 460, 461, 465, 466, 468)
Familia Phacaceae								
24. <i>Phacus tortus</i> (Lemmermann) Skvortzov (Figs. 3h, i)	X	X				Planctónica	Cosmopolita	(NI-461, 464)
CRYPTOPHYTA								
Clase Cryptophyceae								
Orden Cryptomonadales								
Familia Cryptomonadaceae								
25. <i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg (Fig. 3j)	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-458)
DINOFLLAGELLATA								
Clase Dinophyceae								
Orden Peridinales								
Familia Peridiniaceae								
26. <i>Peridinium cinctum</i> (O.F. Müller) Ehrenberg (Figs. 3k, l)	X		X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-444, 466, 467, 468, 469)
Familia Ceratiaceae								
27. <i>Ceratium hirundinella</i> (O.F. Müller) Dujardin (Fig. 3m)	X		X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-450, 466, 467)
OCHROPHYTA								
Clase Chrysophyceae								
Orden Chromulinales								
Familia Dinobryaceae								
28. <i>Dinobryon sociale</i> Ehrenberg (Fig. 4a)	X					Planctónica, epífita,	Norteamérica, Europa, Asia	(NI-450, 468, 469)
29. <i>*Epiyxis utriculus</i> var. <i>acuta</i> (J. Schiller) D.K. Hilliard et Asmund (Figs. 4b-c)		X				Epífita de <i>Mougeotia</i> y <i>Arthrospira</i>	Norteamérica, Europa	(NI-461)

Tabla 2 (continuación).

Taxa	Z ¹	P	T	C	A	Forma de vida ³	Distribución mundial ⁴	Muestras
Clase Xanthophyceae								
Orden Mischococcales								
Familia Botryochloridaceae								
30. <i>*Ducellieria chodatii</i> (Ducellier) Teiling (Fig. 4d)	X		X			Metafiton	Europa	(NI-450, 467, 468)
Familia Characiopsidaceae								
31. <i>Characiopsis</i> sp.		X				Epífita		(NI-463)
CHLOROPHYTA								
Clase Chlorophyceae								
Orden Volvocales								
Familia Volvocaceae								
32. <i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg (Fig. 4e)	X	X				Planctónica, metafiton	Cosmopolita	(NI-456, 463, 464, 465, 468, 469)
33. <i>Pandorina morum</i> (O.F. Müller) Bory de Saint-Vincent (Fig. 4f)	X					Planctónica	Cosmopolita.	(NI-450, 468)
Orden Chlorococcales								
Familia Chlorococcaceae								
34. <i>Chlorococcum</i> sp.	X		X	X		Planctónica		(NI-444, 459, 466, 468)
Orden Sphaeropleales								
Familia Characiaceae								
35. <i>*Characium rostratum</i> Reinhard ex Printz	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-468)
Familia Hydrodictyaceae								
36. <i>Pediastrum duplex</i> Meyen (Fig. 4g)	X			X		Planctónica, metafiton	Cosmopolita	(NI-447, 450, 459, 460)
37. <i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) E. Hegewald (Fig. 4h)	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-450)
Familia Schizochlamydeaceae								
38. <i>Planktosphaeria gelatinosa</i> G.M. Smith (Fig. 40)		X				Planctónica	Norteamérica, Europa	(NI-465)
Familia Selenastraceae								
39. <i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	X			X		Planctónica, metafiton (asociada con detritus)	Cosmopolita	(NI-445, 459)
Orden Sphaeropleales								
Familia Scenedesmaceae								
40. <i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová (Fig. 4p)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459)
41. <i>Coelastrum microporum</i> Nägeli (Fig. 5b)	X		X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-450, 466, 467)
42. <i>Scenedesmus longus</i> var. <i>ellipticus</i> (West et West) G. M. Smith (Figs. 5c, d)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459)
43. <i>S. magnus</i> Meyen (Fig. 5e)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
44. <i>S. quadricauda</i> var. <i>longispinus</i> G.M. Smith (Fig. 5f)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
Familia Sphaeropleaceae								
45. <i>*Radiofilum conjunctivum</i> Schmidle (Fig. 5j)	X	X				Metafiton	Cosmopolita	(NI-444, 445, 446, 447, 449, 450, 456, 458, 461)
Clase Trebouxiophyceae								
Orden Trebouxiales								
Familia Botryococcaceae								
46. <i>Botryococcus braunii</i> Kützing (Fig. 4l)			X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-467)
47. <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood (Fig. 4j)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
Orden Chlorellales								
Familia Oocystaceae								
48. <i>*Lagerheimia chodatii</i> C. Bernard (Fig. 4k)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
49. <i>*L. genevensis</i> (Chodat) Chodat (Fig. 4l)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
50. <i>*L. wratislaviensis</i> Schröder (Fig. 4m)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459)
51. <i>Oocystis marssonii</i> Lemmermann (Fig. 4n)	X		X	X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-444, 449, 459, 460, 461, 466, 467)
Familia Chlorellaceae								
52. <i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim (Fig. 5a)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)

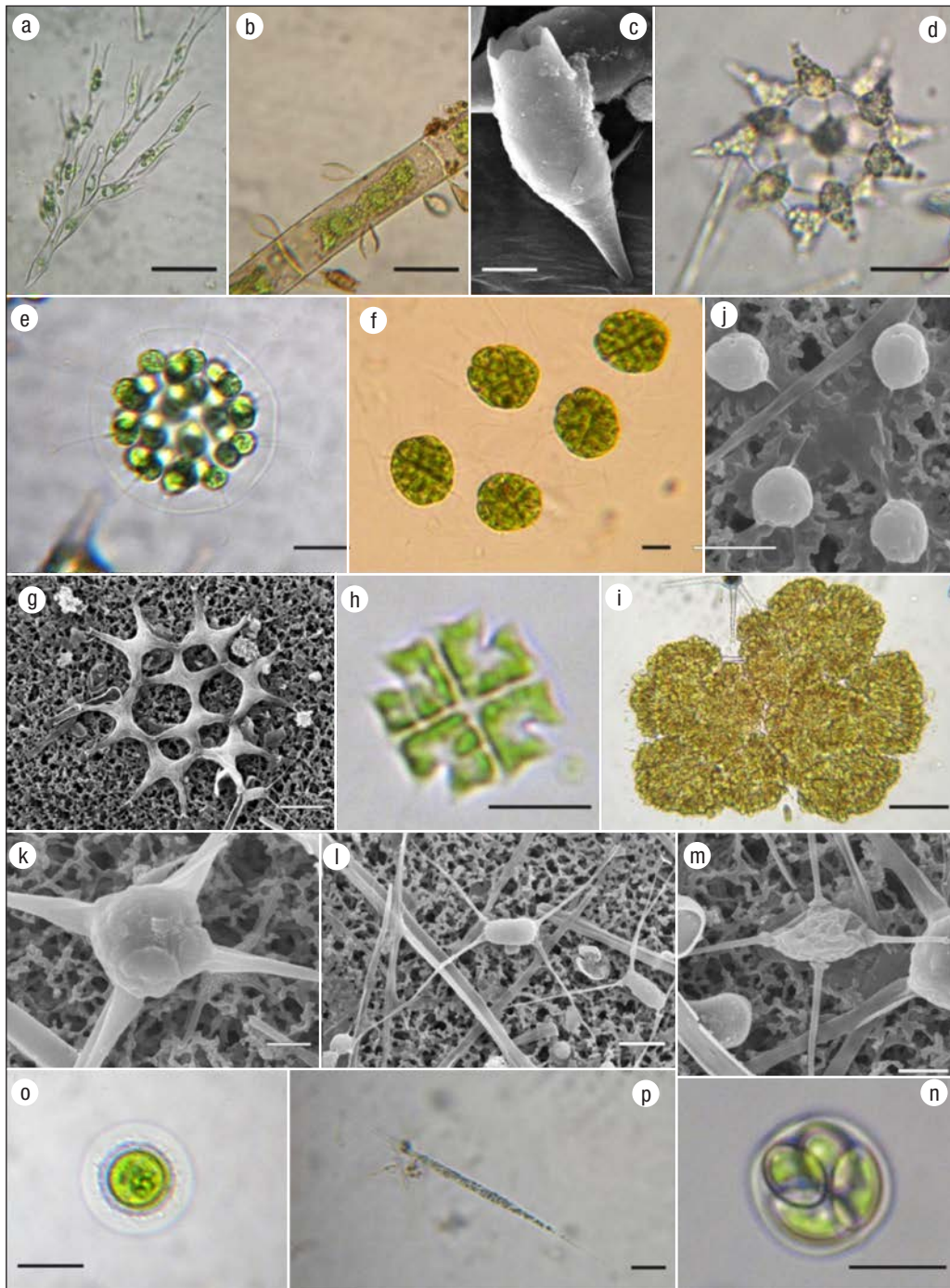
Tabla 2 (continuación).

Taxa	Z ¹	P	T	C	A	Forma de vida ³	Distribución mundial ⁴	Muestras
Orden Chaetophorales								
Familia Chaetophoraceae								
53. <i>Chaetophora pisiformis</i> (Roth) C. Agardh (Fig. 5g)	X					Metafiton, fija en un sustrato	Norteamérica, Europa, Asia	(NI-445-446, 456)
Orden Oedogoniales								
Familia Oedogoniaceae								
54. <i>Bulbochaete</i> sp. (Fig. 5h)	X					Epífita		(NI-445, 446, 448, 469)
55. <i>Oedogonium</i> sp. (Fig. 5i)	X					Metafiton, fija a un sustrato		(NI-456)
Orden Prasiolales								
Familia Prasiolaceae								
56. <i>Prasiola mexicana</i> J. Agardh					X	Sobre suelo	Norteamérica, Centroamérica	(NI-378, MEXU 1969) ²
CHAROPHYTA								
Clase Zygnematophyceae								
Orden Zygnematales								
Familia Zygnemataceae								
57. <i>Mougeotia</i> sp. (Fig. 5l)	X	X				Flotante, litoral	Cosmopolita	(NI-444, 445, 447, 448, 449, 450, 461, 463, 464, 468)
58. <i>Spirogyra</i> sp. 1 (Fig. 5m)	X	X				Planctónica		(NI-444, 447, 449, 463,
59. <i>Spirogyra</i> sp. 2 (Fig. 5n)	X					Planctónica		(NI-444)
60. <i>Zygnema</i> sp. (Fig. 5o)	X					Planctónica		(NI-445, 447)
Orden Desmidiiales								
Familia Closteriaceae								
61. <i>Closterium acutum</i> Brébisson (Fig. 5k)	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-456)
Familia Desmidiaceae								
62. <i>Cosmarium subtumidum</i> Nordstedt (Fig. 6a)	X		X			Metafiton	Cosmopolita	(NI-445, 446, 449)
63. <i>Desmidium swartzii</i> C. Agardh ex Ralfs (Fig. 6b)	X					Metafiton	Cosmopolita	(NI-448, 449)
64. <i>Pleurotaenium trabecula</i> (Ehrenberg) Nägeli (Fig. 6c)	X					Metafiton,	Cosmopolita	(NI-445, 446, 456)
65. <i>*Staurastrum bulbosum</i> (West) Coesel (Fig. 6d)	X		X			Planctónica metafiton	Europa, Australia	(NI-456, 467)
66. <i>S. planctonicum</i> Teiling (Figs. 5e, f)	X					Planctónica	Norteamérica, Sudamérica, Europa, Asia	(NI-449, 450, 463, 464, 466, 468, 469)
Clase Coleochaetophyceae								
Orden Coleochaetales								
Familia Coleochaetaceae								
67. <i>*Coleochaete orbicularis</i> Pringsheim (Fig. 6g)	X					Epífita	Cosmopolita	(NI-446, 468)
Clase Charophyceae								
Orden Charales								
Familia Characeae								
68. <i>Chara braunii</i> Gmelin (Figs. 6h-j)	X					Bentónica (sobre limo)	Cosmopolita	(MEXU 435, 1683; NI-931)
69. <i>Nitella</i> sp.	X					Bentónica (sobre limo)		(NI-930, MEXU 405, 406)

¹ Laguna de Zempoala (Z), Laguna Prieta (P), Laguna Tonatihua (T), Laguna Compila (C) y Arroyo las Trancas (A).² El ejemplar de herbario señala la localidad: Laguna de Zempoala, riachuelo de la 5a laguna (MEXU 1969).³ Wetzel (2001)⁴ Guiry & Guiry (2016) y John *et al.* (2002).

* = Nuevos registros para México.

NI = Número de identificación de la Colección de Algas del MEXU.



Figuras 4a-p. Algas Ochrophyta y Chlorophyta del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. **a)** *Dinobryon sociale* Ehrenberg (ML). **b-c)** *Epipyxis utriculus* var. *acuta* (J. Schiller) D.K. Hilliard *et* Asmund (ML y MEB). **d)** *Ducellieria chodatii* (Ducellier) Teiling (ML). **e)** *Eudorina elegans* Ehrenberg (ML). **f)** *Pandorina morum* (O.F. Müller) Bory de Saint-Vincent (ML). **g)** *Pediastrum duplex* Meyen (MEB). **h)** *Stauridium tetras* (Ehrenberg) E. Hegewald (ML). **i)** *Botryococcus braunii* Kützing (ML). **j)** *Dictyosphaerium pulchellum* H.C. Wood (MEB). **k)** *Lagerheimia chodatii* C. Bernard (MEB). **l)** *L. genevensis* (Chodat) Chodat (MEB). **m)** *L. wratislaviensis* Schröder (MEB). **n)** *Oocystis marssonii* Lemmermann (ML). **o)** *Planktosphaeria gelatinosa* G.M. Smith (ML). **p)** *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová (ML). Barras de medida (MEB). Figs. k, m = 2.5 μ m. Figs. c, j, l = 5 μ m. Fig. g = 10 μ m. Barras de medida (ML). Figs. a, h, o, p = 5 μ m. Figs. d, f, n = 10 μ m. Figs. b, e, i = 20 μ m.

Tabla 3. Riqueza ficoflorística de los lagos Zempoala, Prieta, Tonatihuá, Compila y Arroyo Las Trancas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México (15 de marzo y 14 de abril de 2011).

División/Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Especie	Variedad
Cyanobacteria	Cyanophyceae	4	11	14	12	0
Euglenozoa	Euglenophyceae	1	2	3	7	4
Cryptophyta	Cryptophyceae	1	1	1	1	0
Dinoflagellata	Dinophyceae	1	2	2	2	0
Ochrophyta	Chrysophyceae	1	1	2	2	1
	Xanthophyceae	1	2	2	1	0
Chlorophyta	Chlorophyceae	3	8	12	13	2
	Trebouxiophyceae	5	6	9	9	0
Charophyta	Zygnematophyceae	2	3	8	6	0
	Coleochaetophyceae	1	1	1	1	0
	Charophyceae	1	1	2	1	0
Total		21	38	56	55	7

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan las características fisicoquímicas del agua. El pH en el lago Zempoala estuvo en el intervalo 7.2-8.8, la temperatura del agua superficial se registró entre 14.2-14.5°C y la conductividad entre 112-124 $\mu\text{S cm}^{-1}$. El Arroyo Las Trancas, que desemboca en el Lago Zempoala, tuvo las temperaturas más bajas 6.5°C y pH de 6.8. En Tonatihuá se registró una temperatura de 16-17°C y un pH de 7.1-7.7.

Riqueza de especies. La lista de especies algales del Parque Nacional Lagunas de Zempoala se presenta en la Tabla 2. La riqueza se resume en el Tabla 3. Se determinaron 55 especies y 7 variedades. Sobresalen Chlorophyceae (13 taxa), seguido de Cyanophyceae (12), Trebouxiophyceae (9), Euglenophyceae (7) y Zygnematophyceae (6). El resto de las clases contienen sólo 1 a 2 especies.

La comunidad de la zona de estudio fue principalmente planctónica (38 spp.), seguido del metafíton (17 spp.) y las algas bentónicas (3 spp.). También existió una comunidad menor de algas flotantes (una macroalga bentónica que en algún momento de su ciclo de vida se suelta y flota) y epífitas (dos especies sujetas a un alga o planta acuática). Algunas cianobacterias planctónicas características de las zona fueron: *Woronichinia naegeliana* y *Planktolyngbya limnetica*, entre otras. Los euglenoideos no fueron tan conspicuos en estos cuerpos de agua, tal fue el caso de *Trachelomonas nexilis* y otras especies y variedades (Tabla 2). De las Cryptophyta se presentaron de forma abundante *Cryptomonas ovata*. Los dinoflagelados *Ceratium hirundinella* y *Peridinium cinctum* fueron los más conspicuos en el lago Tonatihuá. Las Chrysophyceae como *Dinobryon sociale* y *Epipyxis utriculus* var. *acuta* se encontraron colonizando ambientes planctónicos y también como epífitas de otras algas. Con respecto a las Xanthophyceae se encontró a *Ducellieria chodatii* creciendo en el metafíton.

Las Chlorophyta estuvieron presentes en toda la zona de estudio y principalmente como parte de la comunidad planctónica, p.e. *Scenedesmus longus* var. *ellipticus*, *Eudorina elegans*, *Botryococcus braunii* y varias especies de *Lagerheimia*. De Charophyta se encontró a *Staurastrum planctonicum*. Otras algas verdes crecen como metafíton: *Pedias-*

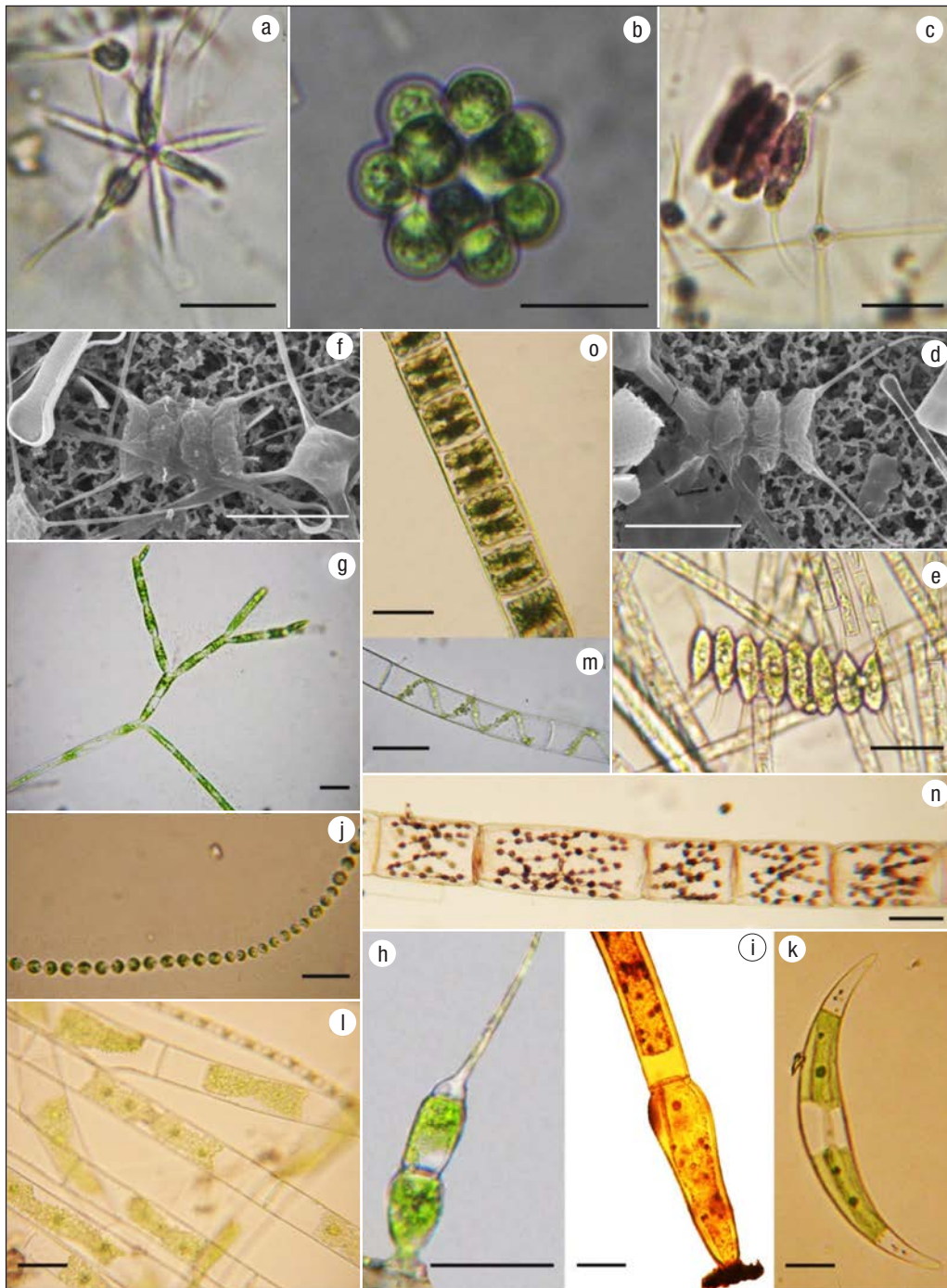
trum duplex, *Ankistrodesmus falcatus* y *Chaetophora pisiformis*. Tres especies se encontraron como bentónicas: *Prasiola mexicana*, *Chara braunii* y *Nitella* sp., la primera en el arroyo y las otras en el Lago Zempoala. Para el caso de las Charophyta la mayoría de los taxa fueron planctónicos, como muchas desmídias (p.e. *Cosmarium subtumidum*), pero también se encontraron en el metafíton. Las epífitas estrictas fueron: *Coleochaete orbicularis* y *Bulbochaete* sp.

Se dan a conocer 10 nuevos registros para México (Tabla 2): Cinco Chlorophyta (*Characium rostratum*, *Lagerheimia chodatii*, *L. genevensis*, *L. wratislaviensis*), dos Charophyta (*Staurastrum bulbosum*, *Coleochaete orbicularis*), dos Ochrophyta (*Epipyxis utriculus* var. *acuta*, *Ducellieria chodatii*) y una Euglenozoa (*Trachelomonas raciborskii* var. *raciborskii*).

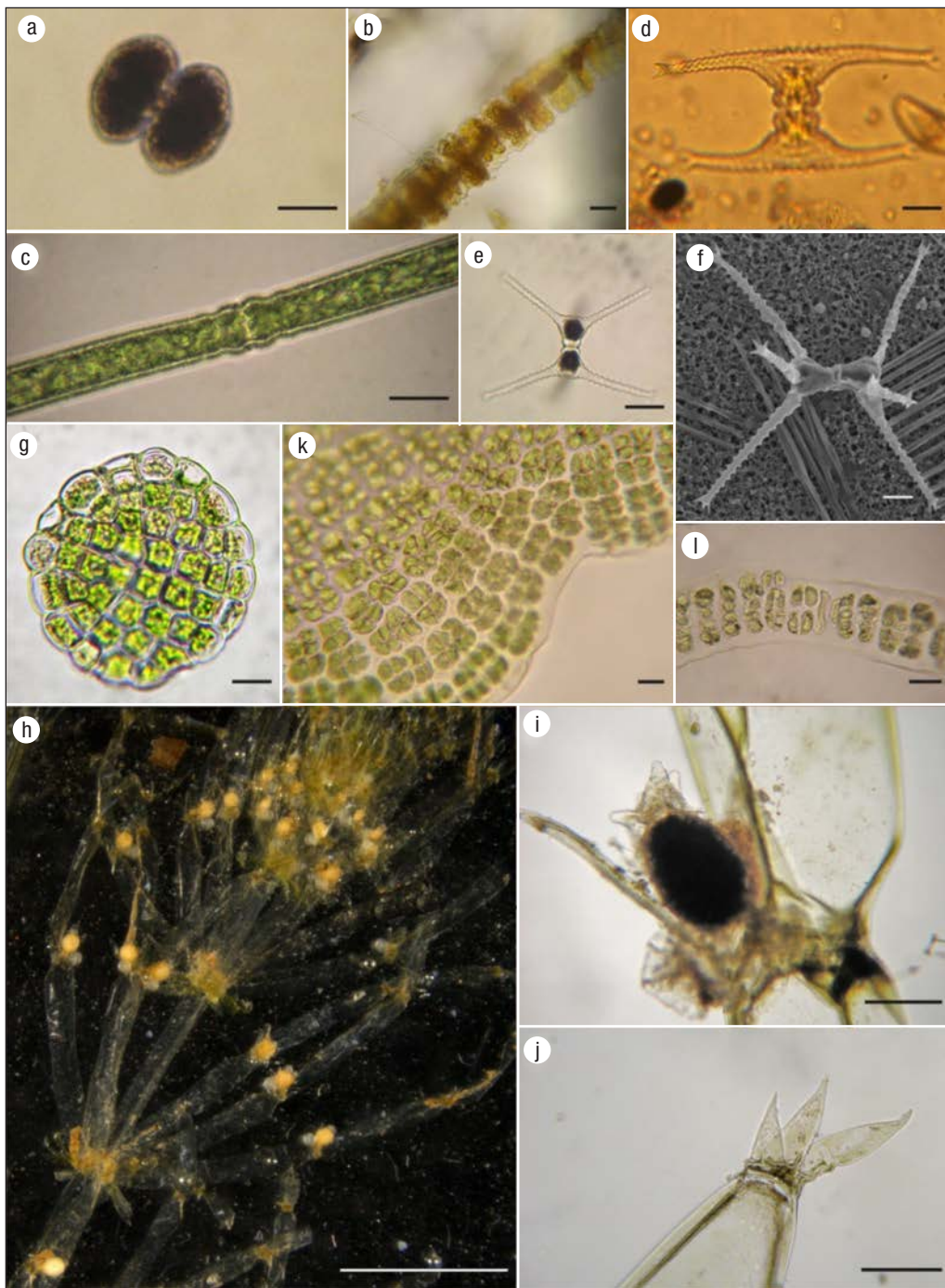
Aspectos biogeográficos. La ficoflora del Parque Nacional Lagunas de Zempoala se distribuye en cinco lagos que se resumen en la Tabla 4. El lago Zempoala tiene el mayor número de especies (40), distribuidas en los siguientes grupos: Cyanobacteria (12), Chlorophyta (10), Charophyta (8), Euglenozoa (5), Dinoflagellata (2) y Cryptophyta (1). Le siguen en

Tabla 4. Distribución ficoflorística por grupo algal de los taxa de los lagos Zempoala (Z), Prieta (P), Tonatihuá (T), Compila (C) y Arroyo Las Trancas (A) del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México (15 de marzo y 14 de abril de 2011).

Taxa	Z	P	T	C	A
Cyanobacteria	12	1	1	1	0
Euglenozoa	5	3	3	1	0
Cryptophyta	1	0	0	0	0
Dinoflagellata	2	0	2	0	0
Ochrophyta (Chrysophyceae)	1	1	0	0	0
Ochrophyta (Xanthophyceae)	1	0	1	0	0
Chlorophyta	10	3	3	12	1
Charophyta	8	0	2	0	0
Total	40	8	13	14	1



Figuras 5a-o. Algas Chlorophyceae, Trebouxiophyceae y Zygnematophyceae (Closteriaceae y Zygnemataceae) del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. **a)** *Actinastrum hantzschii* Lagerheim (ML). **b)** *Coelastrum microporum* Nägeli (ML). **c-d)** *Scenedesmus longus* var. *ellipticus* (West et West) G.M. Smith (ML y MEB). **e)** *S. magnus* Meyen (ML). **f)** *S. quadricauda* var. *longispinus* G.M. Smith (MEB). **g)** *Chaetophora pisiformis* (Roth) C. Agardh (ML). **h)** *Bulbochaete* sp. (ML). **i)** *Oedogonium* sp. (ML). **j)** *Radiofilum conjunctivum* Schmidle (ML). **k)** *Closterium acutum* Brébisson (ML). **l)** *Mougeotia* sp. (ML). **m)** *Spirogyra* sp. 1 (ML). **n)** *S.* sp. 2 (ML). **o)** *Zygnema* sp. (ML). Barras de medida (MEB). Figs. d, f = 10 μ m. Barras de medida (ML). Fig. e = 5 μ m. Figs. a, c, g, k = 10 μ m. Figs. b, i, j, l, m = 20 μ m. Fig. n = 50 μ m. Figs. h, o = 100 μ m.



Figuras 6a-l. Algas Charophyta (Desmidiaceae, Coleochaetaceae y Characeae) del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. **a**) *Cosmarium subtumidum* Nordstedt (ML). **b**) *Desmidium swartzii* C. Agardh ex Ralfs (ML). **c**) *Pleurotaenium trabecula* (Ehrenberg) Nägeli (ML). **d**) *Staurastrum bulbosum* (West) Coesel (ML). **e-f**) ML y MEB de *S. planctonicum* Teiling. **g**) *Coleochaete orbicularis* Pringsheim (ML). **h-j**) *Chara braunii* Gmelin (ML). **k-l**) *Prasiola mexicana* J. Agardh (ML). Barras de medida (MEB). Fig. f = 10 μ m. Barras de medida (ML). Figs. d, e, k-l = 10 μ m. Figs. a-b, g = 20 μ m. Fig. c = 50 μ m. Figs. i-j = 100 μ m. Fig. h = 1 mm.

orden decreciente Compila (14), Tonatihua (13), Prieta (8) y el Arroyo las Trancas del lago Zempoala (1).

Del total de especies podemos afirmar que la mayoría son de distribución cosmopolita (65.4%), el resto se reparten en especies que tienen afinidades a regiones europeas, asiáticas y australianas. Las especies cosmopolitas con frecuencia invaden diferentes ambientes o zonas ecológicas de los lagos y otros cuerpos de aguas continentales. Un porcentaje mucho menor a las cosmopolitas son las especies con afinidades al continente americano (16.3%). De las especies que se encuentran en las regiones de Norteamérica y Sudamérica se puede citar a *Trachelomonas raciborskii* var. *raciborskii* y a *Prasiola mexicana* para regiones de Norteamérica, aunque puede llegar hasta Centroamérica. También ocurrieron especies con registros en regiones frías y templadas como *Dolichospermum affine*.

DISCUSIÓN

La riqueza algal de Zempoala en este estudio fue de 55 especies; este número es ligeramente menor al reportado por Ortega *et al.* (1995, 70 spp. excluyendo las diatomeas), a pesar de ello en este estudio se encontraron diez nuevos registros. Dichas especies se distribuyen aproximadamente en un área de 0.24 Km² a una altitud de 2850 m.s.n.m. y 5 m de profundidad (Bonilla-Barbosa & Novelo-Retana, 1995). Este número podría aumentar si se considerara hacer estudios anuales, comprendiendo un mayor número de sitios de muestreo, no obstante los resultados presentados aquí, muestran que estos lagos tienen una alta riqueza de especies en comparación con otros lagos de México. Por ejemplo en el Lago el Sol (Nevado de Toluca, Estado de México), con dimensiones parecidas a PNLZ (0.24 Km²), aunque mayor profundidad (14 m) y ubicado en una zona con mayor altitud (4680 m.s.n.m.), se han registrado 76 taxa (Banderas-Tarabay, 1997); para el lago Cuitzeo (Michoacán) se reportaron 26 taxa en 2007. Es interesante observar que dicho lago, a pesar de ser muy grande (280 Km²) aunque con una profundidad somera (<2 m) y un altitud de 1849 m.s.n.m., presenta una diversidad menor a PNLZ (Ortega-Murillo *et al.*, 2010); en otro lago de origen volcánico como Alchichica (Puebla), se han registrado sólo 9 especies, a pesar de ser un cuerpo de agua de mayor dimensión (2 Km²), con mayor profundidad (65 m), y similar altitud (2345 msnm), aunque de carácter hiposalino (8.5 g l⁻¹), lo que seguramente repercute en su pobre diversidad fitoplanctónica (Oliva *et al.*, 2001). Existe una variación del nivel del agua de los lagos del PNLZ a través del tiempo, ocasionado por la sobreexplotación del recurso, ya que el agua la cual es utilizada para abastecer las localidades de Huixilac, Tres Marías y Santa Martha. Esta situación podría provocar una variación en la presencia de las especies, es decir, en un año podrían presentarse unas y en el siguiente desaparecer y por el contrario otras aparecer (Atlas Nacional de México, 1990; Bonilla-Barbosa & Novelo-Retana, 1995). Se tienen algunos indicadores de la ausencia de especies que fueron colectadas en la década de los 50-60s y que en este estudio no se observaron (*Chara braunii* y *Nitella* sp.). La población de *C. braunii* y *Nitella* decrecen generalmente por la eutrofización y el pastoreo (Urbanik, 2007). Un caso similar a Zempoala se presentó en Inglaterra, donde a esta misma especie ya se le considera extinta (Bryant & Stewart, 2002). Otro ejemplo es *Prasiola mexicana*, colectada en la década de los 60s y 80s, que tampoco fue encontrada en este estudio. *P. mexicana*, especie bentónica, que se desarrolla en lugares montañosos mayores a

los 1300 m.s.n.m. y que se localiza en ríos o arroyos con temperatura que van de 2-16.4°C (Ramírez-Rodríguez & Carmona-Jiménez, 2005), es considerada de afinidad al continente americano (Norteamérica y Centroamérica), toda vez que no se ha reportado en el viejo mundo.

En conclusión los ambientes acuáticos de Zempoala se pueden considerar como de alta riqueza y diversidad algal, en comparación con otros lagos mexicanos. Se reportan 10 nuevos registros para México destacando las Chlorophyta y Charophyta, que reafirman la mayor diversidad algal de la zona. La ubicación de los lagos del parque PNLZ, muestra que las relaciones geográficas de su flora algal presenta afinidad boreal, templada y de amplia distribución. La flora algal encontrada sugiere que los ambientes lénticos de Zempoala podrían encontrarse en un proceso medio de contaminación del agua, muy probablemente debida a procesos antrópicos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece su ayuda en el trabajo de campo y laboratorio a la Biol. Ca-triona Andrea Zúñiga Ramos. Por las facilidades para la realización de este trabajo al Laboratorio de Botánica, Unidad de Morfología y Función FES Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

REFERENCIAS

- ALBORES-CELORIO, M. L. 1969. Contribución al conocimiento de los protozoarios Phytomastigoforos de la Laguna Zempoala, Estado de Morelos. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, UNAM, México, D.F., 38 p.
- ATLAS NACIONAL DE MÉXICO. 1990. *Marco Geográfico del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Evaluación del patrimonio natural y cultural.* Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. Vol. II (Medio ambiente), sección V.4.2.
- BANDERAS-TARABAY, A. G. 1997. Phycoflora of the tropical high-mountain lake El Sol, Central Mexico, and some biogeographical relationships. *Hydrobiologia* 354:17-40. DOI: 10.1023/A:1003082500767, 10.1023/A:1026251101534
- BONILLA-BARBOSA, J. R. & A. NOVELO-RETANA. 1995. *Manual de identificación de plantas acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México.* Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 168 p.
- BRYANT, J. A. & N. F. STEWART. 2002. Order Charales. In: John, D.M., B.A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). *The freshwater algal flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algal.* Cambridge University Press, Cambridge, pp. 593-612.
- COMAS-GONZÁLEZ, A. 1996. Las Chlorococcales dulciacuícolas de Cuba. *Bibliotheca Phycologica* 99: 1-192.
- CONTRERAS-MACBEATH, T. 1995. Ecosistemas acuáticos del Estado de Morelos: con énfasis en los peces. *Ciencia y Desarrollo XXI* (122): 42-51.
- DILLARD, G. E. 1989 a. Freshwater algae of the southeastern United States. Part 1. Chlorophyceae: Volvocales, Tetrasporales and Chlorococcales. *Bibliotheca Phycologica* 81: 1-202.

- DILLARD, G. E. 1989 b. Freshwater algae of the southeastern United States. Part 2. Chlorophyceae: Ulotrichales, Microsporales, Cyliodrocapsales, Sphaeropleales, Chaetophorales, Cladophorales, Schizogoniales, Siphonales, and Oedogoniales. *Bibliotheca Phycologica* 82: 1-163.
- DILLARD, G. E. 1990. Freshwater algae of the southeastern United States. Part 3. Chlorophyceae: Zygnematales: Zygnemataceae, Mesotaeniaceae and Desmidiaceae (Section 1). *Bibliotheca Phycologica* 85: 1-172.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, J. & R. TAVERA. 1998. Fitoplancton del Lago Zempoala. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 63: 85-100.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, J. & R. TAVERA. 2002. Phytoplankton composition and biomass in a shallow monomictic tropical lake. *Hydrobiologia* 467: 91-98. DOI 10.1023/A:1014992800851
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, J., F. I. MOLINA-ASTUDILLO, H. QUIROZ-CASTELÁN & R. TREJO-ALBARRÁN. 2003. Especies del fitoplancton en el lago Tonatihuá, Morelos, México. *Acta Universitaria* 13 (2): 53-66. DOI: 10.15174/au.2003.270
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, J., F. I. MOLINA-ASTUDILLO, M. DÍAZ-VARGAS & H. QUIROZ-CASTELÁN. 2010. Componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos en el Lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria* 20 (2): 23-30. DOI: 10.15174/au.2010.75
- GUIRY, M. D. & G. M. GUIRY. 2014. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponible en línea en: <http://www.algaebase.org> (consultado el 18 noviembre 2016).
- JOHN, D. M., B. A. WHITTON & A. J. BROOK (Eds.). 2002. *The freshwater algal flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algal*. Cambridge University Press, Cambridge, 702 p.
- KOMÁREK, J. 2003. Coccolid and colonial cyanobacteria. In: Wehr, J. D. & R. G. Sheath (Eds.). *Freshwater algae of North America. Ecology and classification*. Academic Press, Elsevier Science, San Diego, pp. 59-116.
- KOMÁREK J. & K. ANAGNOSTIDIS. 2008. Cyanoprokaryota 2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales. In: Büdel, B., L. Krienitz, G. Gärtner & M. Schagerl (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/2. Elsevier / Spectrum Akademischer Verlag Heidelberg, Norderstedt, 759 p.
- KOMÁREK, J. & B. FOTT. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales. In: Huber-Pestalozzi, G. (Ed.). *Das Phytoplankton des Süßwassers Systematik und Biologie*. Band XVI 7. Teil 1. Hälfte. Schweizerbart, Stuttgart, 1044 p.
- KRISTIANSEN, J. 2002. Phylum Chrysophyta (Golden algae). In: John, D.M., B.A. Whitton & A.J. Brook (Eds.). *The freshwater algal flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algal*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 214-244.
- KUMAR, H. D. & H. N. SINGH. 1979. *A textbook on algae*. The McMillan Press, LTD, London, 216 p.
- LÓPEZ-UCHOTERENA, E. & M. T. ROURE-CANE. 1970. Lista taxonómica comentada de protozoarios de vida libre de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 31: 23-68. Disponible en: <http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/jspui/bitstream/11154/143247/1/31VListaTaxon%C3%B3mica.pdf> (Consultado 3 noviembre 2014)
- OLIVA, M. G., A. LUGO, J. ALCOCER, L. PERALTA & M. R. SÁNCHEZ. 2001. Phytoplankton dynamics in a deep, tropical, hyposaline Lake. *Hydrobiologia* 466: 299-306. DOI: 10.1023/A:1014578024049
- ORTEGA, M. M. 1984. *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 566 p.
- ORTEGA, M. M., J. L. GODÍNEZ, G. GARDUÑO & M. G. OLIVA. 1995. *Ficología de México. Algas continentales*. AGT Editor, S.A. México, D.F., 221 p.
- ORTEGA-MURILLO, M. R., R. ALVARADO-VILLANUEVA, R. HERNÁNDEZ-MORALES & J. D. SÁNCHEZ-HEREDIA. 2010. Evolución trófica de un lago tropical hiposalino en México con base al fitoplancton. *Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Biológicas* 12 (2): 75-81, disponible en: <http://www.biologicas.umich.mx/index.php/biologicas/article/view/81/81> (consultado el 18 noviembre 2016)
- RAMÍREZ-PULIDO, J. 1969. Contribución al estudio de los mamíferos del Parque Nacional lagunas de Zempoala, Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México* 40 (2): 253-290.
- RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, R. & J. CARMONA-JIMÉNEZ. 2005. Taxonomy and distribution of freshwater *Prasiola* (Prasiolales, Chlorophyta) in central Mexico. *Cryptogamie, Algologie* 26: 177-188.
- URBANIÁK, J. 2007. Distribution of *Chara braunii* Gmelin 1826 (Charophyta) in Poland. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 76 (4): 313-320. DOI: 10.5586/asbp.2007.035
- WEHR, J. D. & R. G. SHEATH. 2003. *Freshwater algae of North America. Ecology and Classification*. Academic Press, Elsevier Science, San Diego. 918 p.
- WETZEL, R. G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3a ed. Elsevier Science, Academic Press, San Diego, 1011 p.

Distribución y densidad de moluscos invasores de la familia Thiaridae en diferentes ambientes dulceacuícolas de Tabasco, México

Distribution and density of invasive mollusks of the Thiaridae family in freshwater environments of Tabasco, Mexico

Cinthia Trinidad-Ocaña, José F. Miranda-Vidal, Juan Juárez-Flores y Everardo Barba-Macías

Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad. Manejo Sustentable de Cuencas y Zonas Costeras.
El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa. Km 15.5 Carretera a Reforma s/n, R/a Guineo Segunda Secc.
Villahermosa Centro, Tabasco, 86280. México
email: ebarba@ecosur.mx

Recibido: 19 de mayo de 2015.

Aceptado: 02 de julio de 2016.

Trinidad-Ocaña C., J. F. Miranda-Vidal, J. Juárez-Flores y E. Barba-Macías. 2016. Distribución y densidad de moluscos invasores de la familia Thiaridae en diferentes ambientes dulceacuícolas de Tabasco, México. *Hidrobiológica* 26 (3): 59-68.

RESUMEN

Antecedentes. *Melanooides tuberculata* y *Tarebia granifera* son especies invasoras que se caracterizan por colonizar y establecerse fácilmente en nuevas áreas, además de desplazar a las especies nativas. **Objetivos.** Determinar la distribución y densidad de las especies invasoras de Thiaridos en ambientes dulceacuícolas (arroyos, ríos y lagunas) de Tabasco, México. **Métodos.** Se realizó el registro de variables físico-químicas de la columna de agua y sedimento y recolecta de organismos en 40 localidades durante los años 2011 y 2012, utilizando un nucleador, draga Petite Ponar y una red de arrastre tipo D. **Resultados.** Las lagunas presentaron los máximos valores de pH (8.8), oxígeno disuelto (9.6 mg/l), temperatura (33.9 °C), conductividad (664 mS cm⁻¹) y materia orgánica (9.6%). En los ríos se registraron los máximos valores de coliformes fecales (790,000 UFC) y coliformes totales (781,000 UFC). Un total de 4,689 individuos de *M. tuberculata* y 20,408 individuos de *T. granifera* fueron capturados, la distribución de la densidad por ambientes determinó que el 84% de *M. tuberculata* se registró en las lagunas, seguido de los ríos y arroyos con 10 y 6% respectivamente, mientras que *T. granifera* dominó en los ríos con un 50% de la densidad seguido de las lagunas con 43 y 7% en arroyos. **Conclusiones.** Se corrobora la presencia de estas especies invasoras que presentan una amplia distribución en los ambientes dulceacuícolas del estado de Tabasco, mostrando una preferencia por ambientes lagunares y ribereños. Hasta el momento se desconoce el posible impacto que estas especies ocasionan en estos ambientes.

Palabras clave: Gasterópodos, invasores, lóticos, registros, sureste de México.

ABSTRACT

Background. *Melanooides tuberculata* and *Tarebia granifera* invasive species are characterized by easily colonize and settle in new areas; in addition to displace native species. **Goals.** To determine the distribution and density of invasive Thiarid species in freshwater environments (streams, rivers and lakes) of Tabasco. **Methods.** Samples were taken at 40 locations during 2011 and 2012 through several macroinvertebrate methods: corer, Petite Ponar dredge and a pushnet, physicochemical variables were also recorded in water and sediment. **Results.** Physicochemical water parameters registered maximum values of pH (8.8), OD (9.6 mg/l), temperature (33.9 °C), Conductivity (664 mS cm⁻¹) and organic matter (9.6%) in lakes, and fecal coliform (790,000 UFC) and total coliforms (781,000 UFC) in rivers. A total of 4,689 individuals of *M. tuberculata* and *T. granifera* 20,408 individuals were captured, density distribution of *M. tuberculata* results in 84% in lagoons, 10% in rivers and 6% in streams, while *T. granifera* was registered with 50% in rivers, 43% in lagoons and 7% in streams. **Conclusions.** Presence of these invasive species is confirmed with a wide distribution in most of the freshwater environments of Tabasco State, with preference for lagoon and river environments, the impact of these invasive species in the environment is still unknown.

Key words: Gastropods, invasive, lotic, register, southern of Mexico.

INTRODUCCIÓN

Las especies invasoras son aquellos organismos transportados por medios naturales o actividades humanas, que llegan a establecerse fuera de su área de distribución natural. El impacto de estas especies sobre los ecosistemas radica en el desplazamiento de las especies nativas de flora y fauna por competencia directa, depredación, transmisión de enfermedades, modificaciones del hábitat, alteración de la estructura de los niveles tróficos y sus condiciones biofísicas (CONABIO, 2006).

Los ambientes acuáticos han demostrado ser extremadamente sensibles; aproximadamente el 40% de las extinciones de especies en estos ambientes han sido relacionadas con la depredación, el parasitismo o la competencia de especies invasoras (Pimentel *et al.*, 2001). Se estima que la tasa de extinción en los ambientes acuáticos, particularmente en los dulceacuícolas, es cinco veces mayor que en los ambientes terrestres (Ricciardi & Rasmussen, 1999).

Actualmente en México se han registrado tres especies de moluscos dulceacuícolas introducidos e invasores que provienen del oriente, estas son: *Melanoides tuberculata* Müller, 1774, *Tarebia granifera* Lamarck, 1822 y *Corbicula fluminea* Müller, 1774 (Naranjo-García & Olivera-Carrasco, 2014).

De estas especies *M. tuberculata* y *T. granifera* poseen características que definen su potencial como especies invasoras y la competencia entre ellas se relaciona con: 1) partenogénesis; 2) viviparidad; 3) alta tasa reproductiva; 4) capacidad de dispersión amplia en cursos de agua; 5) adaptación a hábitats modificados por el hombre y 6) alta tasa de longevidad (Pointier & McCullough, 1989; Lodge, 1993; Facon *et al.*, 2003; Mainka & Howard, 2010).

Los primeros registros de estas especies provienen del estado de Veracruz, México, donde *M. tuberculata* fue reportada por Abbott (1973) en una localidad cercana al puerto de Veracruz, y *T. granifera* en el lago de Catemaco (Naranjo-García *et al.*, 2005), y más recientemente en los ríos Tuxpan y Tecolutla (Tapia-Vega & Oliveros-Jiménez, 2008; López-López *et al.*, 2009).

En Tabasco los primeros registros corresponden al río Grijalva, cerca de la ciudad de Villahermosa, en el "Parque Estatal la Sierra" y en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (Contreras-Arquieta, 1995; Rangel-Ruiz *et al.*, 2001; Cruz-Ascencio *et al.*, 2003; Albarrán-Melze, 2009). *M. tuberculata* y *T. granifera* se reportaron en ambientes lacustres de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (Cruz-Ascencio *et al.*, 2003; Rangel-Ruiz *et al.*, 2011). Debido a la alarmante expansión y abundancia de estas especies en el sureste mexicano, este estudio tiene como objetivo principal contribuir con información sobre la distribución y densidad de las especies invasoras *M. tuberculata* y *T. granifera* en ambientes dulceacuícolas del estado de Tabasco, con lo cual se ampliarán los registros y sus abundancias, con la finalidad de conformar la línea base para comenzar a evaluar el impacto de estas especies sobre la comunidad de moluscos nativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estado de Tabasco se localiza en el sureste de México, con una superficie de 24,661 km², representa el 1.3% del territorio nacional, se divide en cinco subregiones: Chontalpa, Ríos, Sierra, Centro y Pantanos. Predominan los climas cálido-húmedo con lluvias

todo el año, cálido-húmedo con abundantes lluvias de monzón y cálido-húmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 26 °C y máxima de 42 °C (SEDESPA, 2006).

Se realizaron muestreos puntuales en 40 localidades pertenecientes a arroyos, ríos y lagunas epicontinentales de Tabasco durante los años 2011 (meses de abril a julio) y 2012 (meses de junio y julio) (Fig. 1).

Evaluación de parámetros fisicoquímicos. En cada localidad se registraron los datos correspondientes a las variables físico-químicas del agua como: pH, temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/l) y conductividad (mS/cm), mediante una sonda multiparamétrica de la marca HANNA, modelo HI-9828 y las muestras de sedimento se tomaron con una draga Petite Ponar. La materia orgánica se cuantificó mediante el método propuesto por Walkley y Black (Sparks *et al.*, 1996), la textura mediante el hidrómetro de Bouyoucos (Klute, 1986).

Análisis microbiológico. Este análisis se llevó a cabo diluyendo las muestras (10⁻¹ a 10⁻³) mediante la técnica de filtración a través de membrana (APHA *et al.*, 2005), utilizando filtros de membrana Millipore de 0.45 µm de poro y cuadrículados. Los filtros se colocaron en cajas de Petri con los medios de cultivo específicos para los grupos bacterianos: medio M-FC para los coliformes fecales. La temperatura de incubación para los grupos microbianos fue de 44.5 °C. El tiempo de incubación fue de 24 h. Al término de la incubación se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC). Cabe señalar que cada muestra se inoculó por duplicado, con los controles respectivos.

Recolecta de organismos. La recolecta de organismos se realizó mediante diversas artes de colecta, se realizaron tres réplicas para cada arte por localidad: nucleador (0.003 m²), draga Petite Ponar (0.024 m²) y una red de arrastre tipo D (0.87 m²) con luz de malla de 500 micras. Los organismos recolectados se fijaron y se preservaron en alcohol al 96% para su posterior procesamiento. En laboratorio se realizó la separación de los organismos por medio de un tamiz de 500 micras de luz de malla. La identificación se realizó mediante claves taxonómicas propuestas por Thompson (1957), Hershler & Thompson (2004) y Thompson (2004).

Análisis de datos: La abundancia de los organismos fue estandarizada a densidad (número de individuos/ área de colecta), con el fin de poder comparar el número de organismos recolectados entre las diversas artes. Las localidades de recolecta fueron agrupadas mediante un análisis de componentes principales (ACP) para conocer la correlación existente entre las variables ambientales (McGarigal *et al.*, 2000). La matriz ambiental fue previamente estandarizada con la transformación de los datos ambientales (físicoquímicos de agua y sedimento y bacterias a log (x+1)). El análisis multivariado se realizó mediante el programa MVSP versión 3.1.

RESULTADOS

Caracterización ambiental. Los parámetros fisicoquímicos registrados en las localidades estudiadas, fueron: temperaturas de 22 °C a 33 °C, pH de 6 a 9 y concentraciones de oxígeno disuelto (OD) de 4.0 a 9.6 mg/l, con excepción de las localidades Arroyo Adolfo López y Arroyo Seco, donde el OD fue menor (2.1 - 3.7 mg/l). En cuanto a la textura del sedimento predominaron las arenas (56.9% a 97.4%). La materia orgánica (MO) fluctuó entre 0.3 y 13.4%. Las mayores concentraciones de MO correspondieron a los ambientes lagunares.

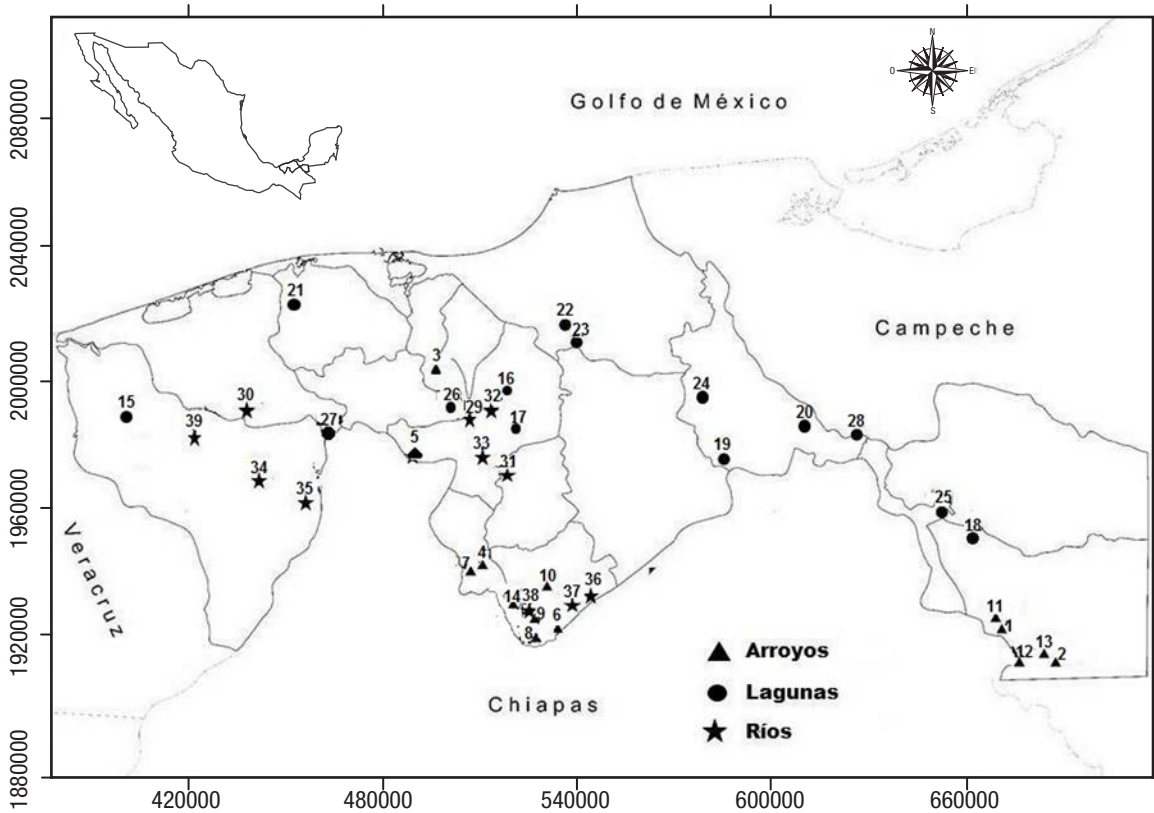


Figura 1. Localidades de muestreo en ambientes dulceacuícolas en el estado de Tabasco. Para conocer los nombres de las localidades, ver tabla 1 y tablas 3 y 4.

Resultados bacteriológicos. Las bacterias coliformes fecales y totales registraron su mayor densidad en arroyos y ríos de la región estudiada, y la menor en las lagunas (Tabla 1).

Agrupación de localidades. Las 40 localidades fueron agrupadas por el tipo de ambiente en: 14 arroyos, 12 ríos y 14 lagunas epicontinentales.

La ordenación de las localidades mediante el ACP determinó que los dos primeros componentes explicaron el 47.92% de la variación total; el primer componente con 25.21% de la variación agrupó a las localidades de Arroyos y Ríos las cuales estuvieron relacionadas negativamente, las principales variables que determinaron la ordenación de las localidades fueron la arcilla, la conductividad, la materia orgánica, los coliformes totales y el oxígeno disuelto, mientras que para el segundo componente, que representó el 22.72%, en este se agruparon las localidades de las lagunas (Tabla 2, Fig. 2).

Registros y abundancia de especies invasoras. *M. tuberculata* se registró en 31 localidades de las cuales 15 corresponden a arroyos, 10 a ríos y a seis lagunas. Mientras que *T. granifera* se registró en 17 localidades correspondientes, dos a arroyos, ocho a ríos y siete a lagunas (Fig. 3)

Se registraron un total de 4,698 individuos de *M. tuberculata* y 20,408 de *T. granifera*. El máximo valor de abundancia de *M. tuberculata*

se presentó en las lagunas con 3,820 individuos; mientras que para *T. granifera* fue en los ríos con 10,781 individuos, los mínimos registros se presentaron en ambientes de arroyos para ambas especies 327 *M. tuberculata* y 514 *T. granifera* (Fig. 4).

En cuanto a la densidad registrada espacialmente el mayor dato se presentó en arroyos para *M. tuberculata* en las localidades: Arroyo Seco (1,901.90 ind/m²), seguido de Arroyo Dos Ceibas (805.55 ind/m²) y Arroyo Tutuliha (723.94 ind/m²) y los mínimos en Arroyo Zunu y Pastatal (3.10 ind/m²), Arroyo Santo Tomas (3.83 ind/m²). *T. granifera* fue recolectado en solo dos localidades de arroyos, con máximo valor en Arroyo Dos Ceibas (7,125 ind/m²) y mínimo en Arroyo Seco (13.33 ind/m²) (Tabla 3). En el ambiente lagunar, el valor máximo de *M. tuberculata* se presentó en Laguna el Camarón (44,027.44 ind/m²) y el mínimo en Laguna Las Pozas (0.03 ind/m²). Para *T. granifera* los máximos valores fueron en Laguna el Camarón (41,013.44 ind/m²) y mínimo en Laguna El Pitaya (158.61 ind/m²) (Tabla 4).

Para los ríos la mayor densidad de *M. tuberculata* se presentó en el Río Tacubaya (4,733.47 ind/m²) y el mínimo en el Río Puxcatán (0.38 ind/m²). Mientras que para *T. granifera* se registraron los valores máximos en Río Carrizal (15,729.67 ind/m²) seguido de Río Grijalva-Casa Blanca (8,638.88 ind/m²) y Río Zamapa (7,130.01 ind/m²), estos ríos se encuentra en el centro de la ciudad de Villahermosa, Tabasco y el mínimo valor en Río de la Sierra Santa Maria (166.687 ind/m²) (Tabla 4).

Tabla 1. Valores de los parámetros fisicoquímicos del agua, sedimento y bacterias por localidad de ambientes dulceacuícolas del estado de Tabasco, México.

No. Localidad	Agua				Sedimento					Bacterias		
	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Conductividad (mS cm ⁻¹)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Materia orgánica (%)	Fósforo (mg/l)	Coliformes fecales (UFC)	Coliformes totales (UFC)	
1 Arroyo Adolfo López	7.8	26.4	3.7	540	11.4	28.2	60.4	5.6	15.9	137666.7	83.3	
2 Arroyo Bejucal	8.2	26.9	5	517	32.8	3.8	65	1.3	3.7	170308.3	83.3	
3 Arroyo Dos Ceibas	7.8	29.3	4	0.4	23.6	54.8	21.6	3.1	-	89533.3	4333.3	
4 Arroyo Eureka y Belén	7.9	24.2	7.4	0.2	-	-	-	-	-	205000	419000	
5 Arroyo La Raya	8	26.3	9.2	-	0.3	11	65.1	2	-	203333.3	160133.3	
6 Arroyo Los Mogotes	7.2	22.2	4.5	0.3	1	7.3	91.6	2.3	-	67000	3500	
7 Arroyo Méxiquito	7.9	26.7	5.9	417.5	15.8	16	68.2	0.6	6.7	9916.7	366.7	
8 Arroyo Noypac	8.2	25.9	4.9	264	14.3	11.4	74.3	1.5	44.5	6266.7	183.3	
9 Arroyo San Agustín	7.9	27	6.3	0.3	-	-	-	-	-	60000	22000	
10 Arroyo San José	8.1	28.2	5.2	332.5	19	6.4	74.7	1.8	7.6	22816.7	283.3	
11 Arroyo Santo Tomas	7.9	24.7	4.1	522	-	-	-	-	-	32066.7	8.3	
12 Arroyo Seco	8.1	26.2	2.1	383	11.8	1.7	86.7	1.7	5.3	30175	375	
13 Arroyo Tutulilha	8.1	26.1	5.2	622	28.9	21.8	49.3	3	10.9	6566.7	1441.7	
14 Arroyo Zunu y Patastal	8.4	26.3	5.4	290.5	43.4	12.2	46.2	13.4	168.5	13600	1366.7	
15 Laguna El Rosario	7.6	32.4	4.7	115.5	6.8	4.4	89.3	1.8	4.3	32700	0	
16 Laguna Colosio	8.3	30	8.2	0.4	1.4	10.5	88.2	7.7	-	17666.7	0	
17 Laguna El Camarón	8	29.5	6.3	0.9	1.9	10.6	76.8	2.9	-	104000	30000	
18 Laguna El Guanaj	-	33.9	8.3	564	-	-	-	-	-	-	-	
19 Laguna El Maíz	6.6	30.9	8	1.7	0.5	20.1	56.9	2.5	-	1266.7	550000	
20 Laguna El Pitaya	9.5	23.5	8.2	0.2	58.2	28.7	1.1	-	314000	19600	-	
21 Laguna El Retorno	7.9	29.9	6.3	67.3	0	25.4	72.4	1.9	-	0	133.3	
22 Laguna El Viento	8.2	31.4	9.6	4.4	1.5	63.8	33.1	1.1	-	61600	266000	
23 Laguna La Tronconada	8.1	31.52	8.04	664	-	-	-	-	-	-	-	
24 Laguna Las Pozas	8.6	32.3	7.6	0.2	0.5	42.3	0.9	-	1000	130000	-	

Tabla 1 (continuación).

No. Localidad	Agua				Sedimento				Bacterias		
	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Conductividad (mS cm ⁻¹)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Materia orgánica (%)	Fósforo (mg/l)	Coliformes fecales (UFC)	Coliformes totales (UFC)
25 Laguna Leona Vicario	7.2	29.7	9.4	95.3	0.1	0.1	2.1	96.6	0.8	-	-
26 Laguna Loma de Caballo	8.4	22.5	6.6	0.8	1.8	12.1	86.1	9.1	-	88333.3	0
27 Laguna Nueva Zelanda	7.5	28.2	4.7	0.4	0	0.8	83	1.1	-	121466.7	178500
28 Laguna Playa Larga	7.9	31.2	8.3	66.5	0.5	14.3	81.9	4.2	-	3050	78500
29 Río Carrizal	8.8	30	8.2	0.7	1.7	9.4	88.8	1.5	-	790000	121333.3
30 Río Claro	7.8	29.2	6.4	0.6	0	0.3	5.9	0.3	-	33.3	-
31 Río Comuapa	7.5	28.2	5.5	0.4	15.5	60	24.6	2.2	-	7100	15966.7
32 Río de la Sierra	7.3	24.6	8.8	0.3	19.3	47.1	33.6	1	-	9700	28500
33 Río Grijalva Casa Blanca	8.5	25.1	7.9	0.3	3.1	19.1	77.9	0.9	-	420000	96000
34 Río Grijalva Náutica	8	24	7.3	0.3	0.5	2.1	97.4	1	-	86000	24000
35 Río Mezcalapa	7.1	26.1	9.4	0.4	0	14.3	83.1	0.6	-	11000	224000
36 Río Paredón	6.8	26.6	5.3	0.4	15	67.3	17.8	1.4	-	533.3	82500
37 Río Pomoca	7.5	25.6	8.6	0.3	23.6	44.3	32.1	1.8	-	96133.3	49366.7
38 Río Puxcatán	7.7	24.4	8.3	0.3	17.7	34.1	48.2	1.4	-	245666.7	781000
39 Río Tacubaya	8.1	27	4.2	276.5	11.8	9.2	81	1.2	5.5	7850	316.7
40 Río Zamapa	7.2	32.8	4.4	157	41.6	26.8	31.6	3.5	32.6	2791.7	0

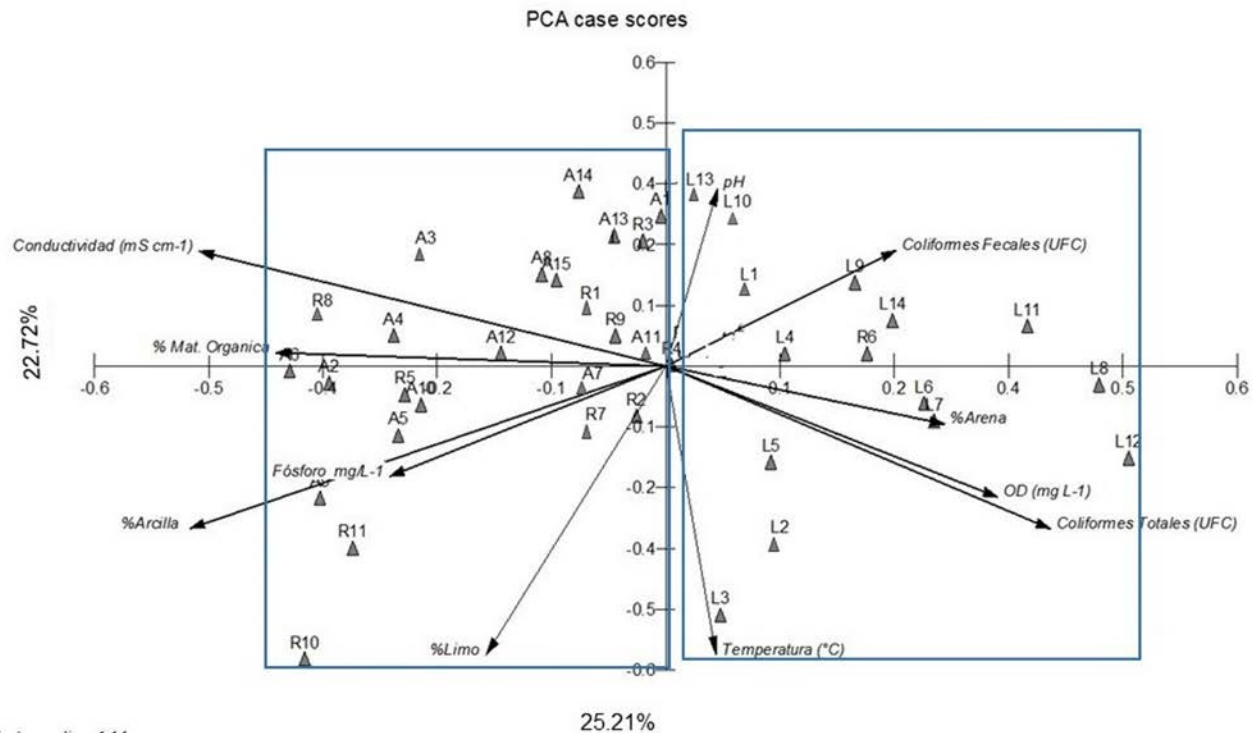


Figura 2. ACP de las localidades de colecta basada en las variables ambientales.

Tabla 2. Matriz factorial ambiental del ACP para los dos primeros componentes.

Parámetros fisicoquímicos	Eje 1	Eje 2
pH	0.05	0.319
T (°C)	0.048	-0.518
OD (mg/l)	0.317	-0.235
Conductividad (mS/cm)	-0.445	0.206
MO (%)	-0.372	0.024
Arcilla (%)	-0.454	-0.291
Limo (%)	-0.171	-0.519
Arena (%)	0.266	-0.104
P (mg/l)	-0.264	-0.198
Coliformes fecales (UFC)	0.219	0.207
Coliformes totales (UFC)	0.367	-0.292

T = temperatura, OD = oxígeno disuelto, Conduct. = conductividad, MO = materia orgánica, P = fósforo. Los valores en negritas representan las variables que determinaron el ordenamiento de los dos primeros componentes.

De acuerdo con las densidades totales obtenidas por tipo de ambiente, se observó a *M. tuberculata* con 58,427.41 ind/m² en lagunas epicontinentales y representó el 84% de la densidad total, mientras que

los ríos y arroyos estuvieron representados con 10 y 6% de la densidad total registrada (Fig. 5). *T. granifera* representó el 50% de la densidad con 50,474.55 ind/m² en lagunas epicontinentales, seguido de los ríos que representaron un 43% con 43,823.44 ind/m² y arroyos con 7,138.33 ind/m² que representaron el siete por ciento del total (Fig. 6).

DISCUSIÓN

Las localidades de muestreo presentaron de manera general, temperaturas mayores a 22°C, lo cual es característico de ambientes tropicales (De la Lanza & Lozano, 1999); mientras que los valores de pH tienden a ser mayores a siete, lo cual sugiere que se trata de aguas básicas, con excepción de la laguna el Maíz la cual presentó un pH ligeramente ácido (De la Lanza, 1998).

Las localidades en general presentaron buenas condiciones de oxígeno, con excepción de Arroyo Adolfo López Mateos y Arroyo Seco, las cuales presentaron valores por debajo del mínimo requerido para la protección de la vida acuática (DOF, 2015). Krebs (1985) menciona que el oxígeno restringe la distribución local de algunos organismos en los sistemas dulceacuicolas; sin embargo, cuando se trata de especies invasoras como *M. tuberculata* y *T. granifera*, éstas cuentan con un amplio intervalo de 2.1 a 9.4 mg/l; sin embargo, su densidad aumenta en zonas con buena concentración de oxígeno disuelto (López-López, 2009), esto coincide con el rango de tolerancia reportado para la especie *M. tuberculata* por Dudgeon (1986).

Por otro lado, los valores de coliformes fecales registrados fueron altos y presentaron una distribución amplia en los humedales analiza-

dos, lo cual evidencia un grave problema de contaminación fecal en la zonas estudiadas, esto se atribuye al aporte de aguas residuales de fuentes puntuales y difusas principalmente a excretas humanas de las localidades. Los niveles determinados superan los Límites Máximos Permisibles lo cual representa un riesgo potencial para la vida acuática y la salud humana que altera la calidad de los sistemas (DOF, 2015).

Las especies invasoras se registraron en los tres tipos de ambientes estudiados, presentando las mayores abundancias en los ríos con el 58%, seguido de lagunas con el 35%, estas localidades se encuentran cercanas a centros urbanos y/o modificaciones en las márgenes de ríos principalmente, debido a obras hidráulicas contra inundación efectuadas en los márgenes de los ríos, lo cual incrementa la presencia de sustratos duros y así mismo favoreciendo la invasión de estas especies (Juana *et al.*, 2010).

En cuanto a la abundancia total, *M. tuberculata* dominó con 66% en arroyos y *T. granifera* en lagunas y ríos con 74% y 81% respectivamente, con lo cual podemos llegar a concluir que esta especie es la mejor competidora de las dos; sin embargo a pesar de que comparten las mismas estrategias reproductivas, con un alto potencial biótico por ser especies ovovivíparas y partenogenéticas, con un desarrollo rápido y una madurez precoz (Perera, 1990).

Las abundancias máximas de *M. tuberculata* se presentaron en lagunas con 3,820 individuos, lo cual coincide con estudios realiza-

Tabla 3. Densidad espacial (ind/m²) de moluscos en arroyos de Tabasco, México.

Clave	Localidades	<i>M. tuberculata</i> (ind/m ²)	<i>T. granifera</i> (ind/m ²)
1	Arroyo Adolfo López	48.31	
2	Arroyo Bejucal	101.01	
3	Arroyo Dos Ceibas	805.55	7,125.00
4	Arroyo Eureka y Belén	4.98	
5	Arroyo La Raya	5.75	
6	Arroyo Los Mogotes	13.35	
7	Arroyo Mexiquito	4.6	
8	Arroyo Noypac	15.33	
9	Arroyo San Agustín	9.57	
10	Arroyo San José	200.2	
11	Arroyo Santo Tomas	3.83	
12	Arroyo Seco	1,901.90	13.33
13	Arroyo Tutuliha	723.94	
14	Arroyo Zunu y Patastal	3.1	

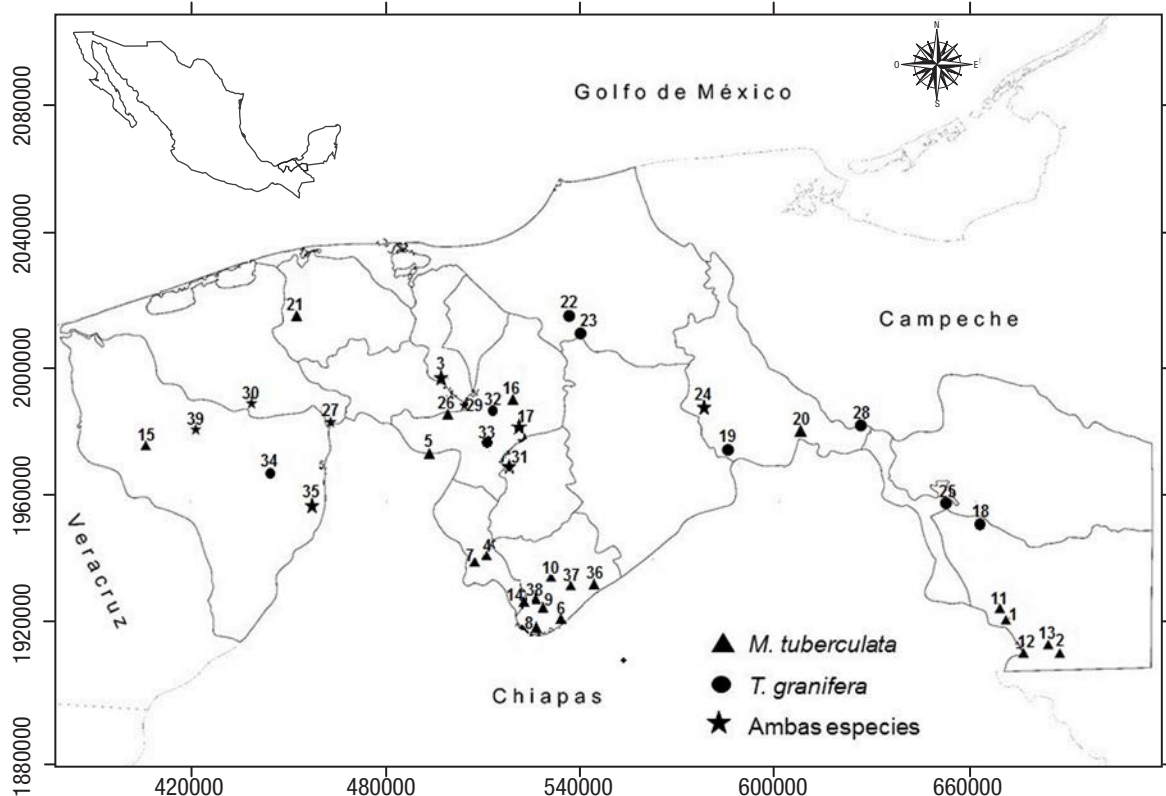


Figura 3. Distribución de *T. granifera* y *M. tuberculata* en diferentes ambientes dulceacuícolas de Tabasco, México.

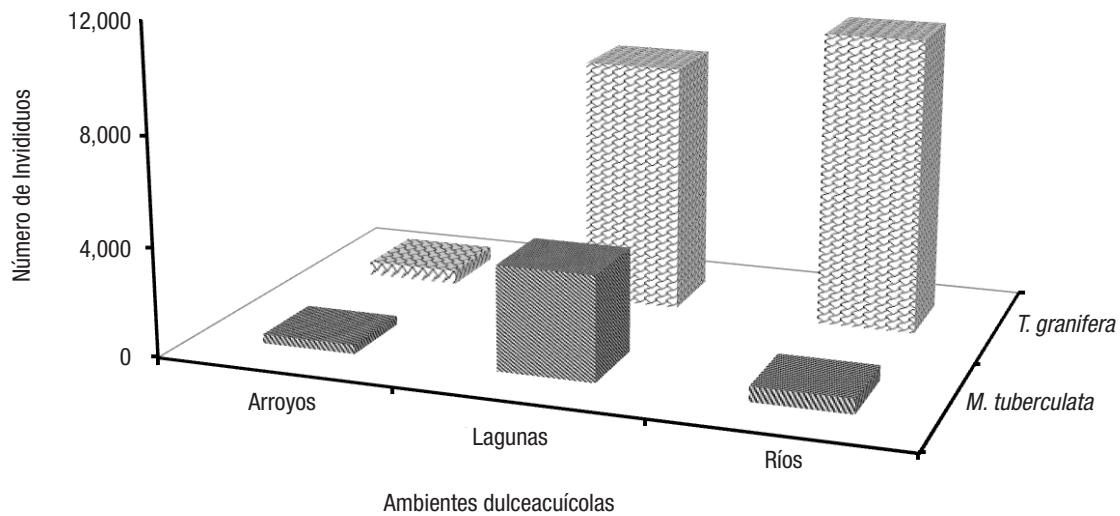


Figura 4. Abundancia de *T. granifera* y *M. tuberculata* en los diversos ambientes de Tabasco.

dos en este mismo estado en lagunas de la región hidrológica del río Grijalva-Usumacinta, donde se presentaron valores similares a los aquí registrados (Barba *et al.*, 2014). Con respecto a *T. granifera*, su abundancia fue homogénea en lagunas y ríos, en sitios con poca corriente y con presencia de vegetación flotante, a diferencia de otros estudios donde registran una marcada preferencia por ambientes ribereños para regiones templadas (Contreras-Arquieta *et al.*, 1995), y para sistemas lénticos con diferentes sustratos en localidades tropicales de Tabasco (Rangel-Ruiz *et al.*, 2011).

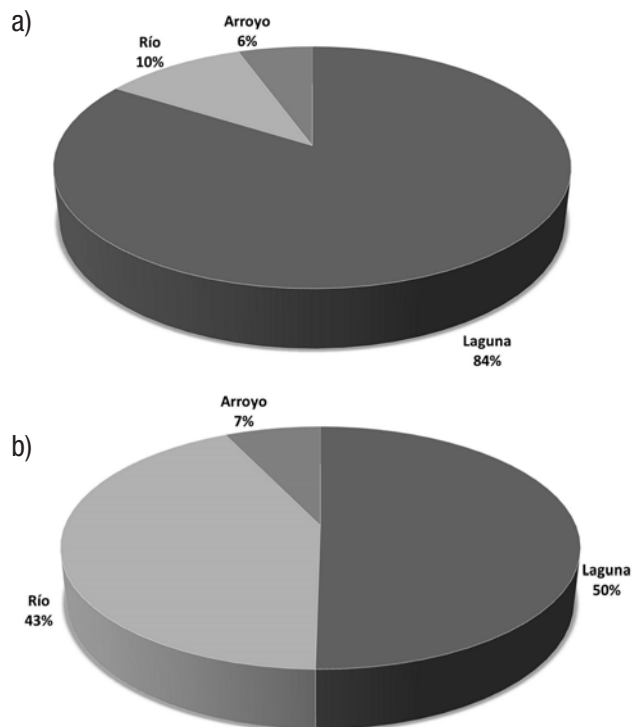
El valor máximo de la densidad de *M. tuberculata* se presentó en ambientes lagunares con el 84% de la densidad total, la localidad que

presentó el valor máximo fue la Laguna El Camarón (44,027.44 ind/m²), este valor es mayor a las densidades presentadas por Contreras-Arquieta *et al.* (1995) en tres lagunas de la Reserva de la Biosfera de Pantanos de Centla, quienes reportan un valor máximo en Laguna El Sauzo con 230 ind/m². Con respecto a *T. granifera*, los máximos valores se registraron en lagunas con el 50%, seguido de los ríos 43%, lo cual coincide con los resultados de otros autores sobre la presencia de esta especie en sistemas lénticos, donde se encuentra una mayor diversidad de sustratos (Pointier *et al.*, 1994, Rangel-Ruiz *et al.*, 2011).

Estas dos especies han demostrado su eficiencia como agentes de control biológico sobre hospederos intermediarios de parásitos de im-

Tabla 4. Densidad espacial (ind/m²) de moluscos en las lagunas epicontinentales y ríos de Tabasco, México.

Clave	Localidades	<i>M. tuberculata</i> (ind/m ²)	<i>T. granifera</i> (ind/m ²)	Clave	Localidades	<i>M. tuberculata</i> (ind/m ²)	<i>T. granifera</i> (ind/m ²)
15	Laguna El Rosario	55.55		29	Río Carrizal		15,729.67
16	Laguna Colosio	13.89		30	Río Claro	979.59	2,685.15
17	Laguna El Camarón	44,027.44	41,013.44	31	Río Comuapa	375	
18	Laguna El Guanal	5,236.11		32	Río de la Sierra		166.67
19	Laguna El Maíz		670.49	33	Río Grijalva Casa Blanca		8,638.88
20	Laguna El Pitaya	4.4	158.61	34	Río Grijalva Náutica		2,146.67
21	Laguna El Retorno	5,444.86		35	Río Mezcalapa		5,073.71
22	Laguna El Viento		2,506.67	36	Río Paredón	652.77	1,252.68
23	Laguna La Tronconada		3,528.73	37	Río Pomoca	18.29	
24	Laguna Las Pozas	0.03		38	Río Puxcatán	0.38	
25	Laguna Leona Vicario	41.08		39	Río Tacubaya	4,733.47	
26	Laguna Loma de Caballo	4.07		40	Río Zamapa	555.96	7,130.01
27	Laguna Nueva Zelanda	3,600.00	1,195.18				
28	Laguna Playa Larga		1,402.44				



Figuras 5a-b. a) Distribución de la densidad de *Melanoides tuberculata* por ambientes dulceacuicolas en Tabasco. b) Distribución de la densidad de *Tarebia granifera* por ambientes dulceacuicolas en Tabasco.

portancia médica en diversos sitios (Perera *et al.*, 1990, Pointier *et al.*, 1994). En otros estudios, *M. tuberculata* ha sido encontrada en mayor proporción en ambientes lacustres, lo cual coincide con los resultados de este estudio (Contreras-Arquieta *et al.*, 1995; Cruz-Ascencio *et al.*, 2003; Albarrán-Melze *et al.*, 2009).

Estos thiaridos, así como otras especies invasoras han generado un desequilibrio en la biodiversidad de los ambientes donde se encuentran (Pointer *et al.*, 1998; Naranjo-García y Olivera-Carrasco, 2014). La forma en la cual fueron introducidas sigue siendo desconocida; sin embargo, se atribuye al acuarismo, donde algunas especies de gasterópodos, frecuentemente se encuentran entre la vegetación acuática que se vende en acuarios, y se pueden encontrar en diferentes estados de desarrollo o de igual forma pueden ser liberados de manera voluntaria o accidental con el agua de desecho, teniendo como efecto alteración en los ecosistemas y así mismo provocando la invasión de dichas especies (Rangel-Ruiz *et al.*, 2011). La invasión de estas especies acuáticas se ha identificado como uno de los riesgos ambientales más críticos a los que se enfrentan las especies nativas actualmente, debido a los alarmantes valores de densidad y posible desplazamiento de las especies nativas (López-López *et al.*, 2009), así como a la biodiversidad dulceacuícola en general, además del desconocimiento de los efectos que causan en la ecología trófica de estos ambientes (Barba *et al.*, 2014). Entre los moluscos invasores más importantes para el país

se encuentran estos thiaridos, *M. tuberculata* y *T. granifera*, además de la almeja asiática *Corbicula fluminea* como lo reportan otros estudios para el país y en el sureste de México (López-López *et al.*, 2009; Naranjo-García y Olivera-Carrasco, 2014; Barba *et al.*, 2014; Barba y Ocaña, en prensa). En este estudio se ampliaron los registros de las especies invasoras *M. tuberculata* y *T. granifera*, así como los valores de densidad en ambientes dulceacuicolas del estado de Tabasco, con una marcada distribución en ambientes lagunares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos los apoyos otorgados por el proyecto: "Indicadores ecológicos de humedales en sistemas agroforestales para su manejo y conservación en Tabasco" financiado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

REFERENCIAS

- ABBOTT, R. T. 1973. Spread of *Melanoides tuberculata*. *The Nautilus* 87 (1): 29.
- ALBARRÁN-MELZE, N. C., L. J. RANGEL-RUIZ & J. GAMBOA AGUILAR. 2009. Distribution and abundance of *Melanoides tuberculata* (Gastropoda: Thiaridae) in the Biosphere reserve of Pantanos de Centla, Tabasco, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* 25 (1): 93-104.
- APHA (American Public Health Association), WEF (Water Environment Federation), & AWWA (American Water Works Association y Water Environment Federation). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition. Washington, D. C. 989 p.
- BARBA, M. E., MAGAÑA-VÁZQUEZ, M. & JUÁREZ-FLORES, J. 2014. Nuevos registros de los gasterópodos *Melanoides tuberculata* (Muller, 1974) y *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822) en las cuencas Grijalva, Usumacinta y Tonalá, Pajonal-Machona, Tabasco. In: Low Pfeng, M.A., P.A. Quijón & E. M. Peters Recagno (Eds.). *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México*. Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) y UPEI (University of Prince Edward Island). México, D.F., pp. 359-379.
- CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD), ARIDAMÉRICA, GECI (GRUPO DE ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN DE ISLAS) & TNC (THE NATURE CONSERVANCY). 2006 *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: Prioridades en México*. Ciudad de México, Mayo, 42 p.
- CONTRERAS-ARQUIETA, A., G. GUAJARDO-MARTÍNEZ & S. CONTRERAS-BALDERAS. 1995. *Thiara (Melanoides) tuberculata* (Müller, 1774) (Gastropoda: Thiaridae), su probable impacto ecológico en México. *Publicaciones Biológicas- F.C.B. /U.A.N.L.*, México 8 (1-2): 17-24.
- CRUZ-ASCENCIO, M., R. FLORIDO, A. CONTRERAS-ARQUIETA & A. J. SÁNCHEZ. 2003. Registro del caracol exótico *Thiara (Melanoides) tuberculata* (Müller, 1774) (Gastropoda: Thiaridae) en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. *Universidad y Ciencia* 19 (38): 101-103.

- DE LA LANZA, E. G. 1998. Aspectos fisicoquímicos que determinan la calidad del agua. In: Martínez, C. L. R. (Eds.). *Ecología de los Sistemas Acuícolas*. AGT Editor, S. A. México, pp. 1-26.
- DE LA LANZA, E. G. & M. H. LOZANO. 1999. Comparación fisicoquímica de las Lagunas de Alvarado y Términos. *Hidrobiológica* 9 (1): 15-30.
- DUDGEON, D. 1986. The life cycle, population dynamics and productivity of *Melanooides tuberculata* (Müller, 1774) (Gastropoda: Prosobranchia: Thiaridae) in Hong Kong. *Journal of Zoology London* (208): 37-53.
- FACON, B., J. P. POINTIER, M. GLAUBRECHT, C. POUX, P. JARNE & P. DAVID. 2003. A molecular phylogeography approach to biological invasions of the New World by parthenogenetic Thiarid snails. *Molecular Ecology* 12 (11): 3027-3039. DOI: 10.1046/j.1365-294X.2003.01972.x
- HERSHLER, R & F. G. THOMPSON. 2004. A review of the aquatic gastropod subfamily Cochliopinae (Prosobranchia: Hydrobiidae). *Malacological Review* (Supplement 5): 1-140.
- JUANA, G. P., R. VOGLER & N. D. PIVIDORI. 2010. Primer registro del gasterópodo invasor *Melanooides tuberculata* (Gastropoda, Thiaridae) en el río Uruguay (Argentina-Brasil). *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay* 9 (93): 231-236.
- KREBS, C. J. 1985. *Ecología, estudio de la distribución la abundancia*. 2da edición. Harla. México. 253 p.
- LODGE, D. M. 1993. Biological invasions—lessons for ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 8:133-137. DOI: 10.1016/0169-5347(93)90025-K
- LÓPEZ-LÓPEZ, E., J. E. SEDEÑO-DÍAZ, P. TAPIA VEGA & E. OLIVEROS. 2009. Invasive mollusks *Tarebia granifera* Lamarck, 1822 and *Corbicula fluminea* Müller, 1774 in the Tuxpan and Tecolutla rivers, Mexico: spatial and seasonal distribution patterns. *Aquatic Invasions* 4 (3): 435-450. DOI 10.3391/ai.2009.4.3.2
- MAINKA, S. A. & G. W. HOWARD. 2010. Climate change and invasive species: double jeopardy. *Integrative Zoology* 5: 102-111. DOI: 10.1111/j.1749-4877.2010.00193.x
- MCGARIGAL, K., S. A. CUSHMAN & S. G. STAFFORD. 2000. *Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research*. New York: Springer-Verlag. 283 p. DOI: 10.1007/978-1-4612-1288-1
- NARANJO-GARCÍA, E. & M. T. OLIVERA-CARRASCO. 2014. Moluscos dulceacuícolas introducidos e invasores. In: Mendoza, R. & P. Koleff (Eds.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 337-345.
- NARANJO-GARCÍA, E., M. E. DIJOPTEX-CHONG & G. R. FAMILIAR. 2005. *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822) (Gastropoda: Prosobranchia: Pachychilidae) en el Lago de Catemaco, Veracruz, México. VI Congreso Latinoamericano de Malacología. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, p. 101.
- PERERA, G., M. YONG, J. R. FERRER, C. ARRINDA & O. AMADOR. 1990. Effectiveness of three biological control agents against intermediate host of snail-mediated parasites in Cuba. *Malacological Review* 23: 47-52.
- PIMENTEL, D., S. McNAIR, J. JANECKA, J. WIGHTMAN, C. SIMMONDS, C. O'CONNELL, E. WONG, L. RUSSEL, J. ZERN, T. AQUINO & T. TSOMONDO. 2001. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84: 1-20. DOI: 10.1016/S0167-8809(00)00178-X
- POINTIER, J. P., R. N. INCANI, C. BALZAN, P. CHROSCIECHOWSKI & S. PRYPCHAN. 1994. Invasion of the rivers of the Littoral Central Region of Venezuela by *Thiara granifera* and *Melanooides tuberculata* (Mollusca: Prosobranchia: Thiaridae) and the absence of *Biomphalaria glabrata*, snail host of *Schistosoma mansoni*. *The Nautilus* 107 (4): 124-128.
- POINTIER, J. P. & F. McCULLOUGH. 1989. Biological control of the snail hosts of *Schistosoma mansoni* in the Caribbean area using *Thiara* spp. *Acta Tropical* 46: 147-155. DOI:10.1016/0001-706X(89)90031-4
- POINTIER, J.P., S. SAMADI, P. JARNE Y B. DELAY. 1998. Introduction and spread of *Thiara granifera* (Lamarck, 1822) in Martinique, French West Indies. *Biodiversity Conservation* 7:1277-1290.
- RANGEL, R. L. J. & J. A. GAMBOA. 2001. Diversidad malacológica en la Región Maya. I. "Parque Estatal de la Sierra", Tabasco, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 82: 1-12.
- RANGEL-RUIZ, L. J., J. GAMBOA AGUILAR, M. GARCÍA MORALES & O. M. ORTIZ LEZAMA. 2011. *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822) en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta en Tabasco, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 27 (1): 103-114.
- RICCIARDI, A., & J. B. RASMUSSEN. 1999. Extinction rates of North American freshwater fauna. *Conservation Biology* 13 (5): 1220-1222.
- SEDESPA (SECRETARÍA DE DESARROLLO DE LA PESCA Y ACUICULTURA). 2006. Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco. Tabasco. 391 p. También disponible en la línea en web :http://sernapam.tabasco.gob.mx/sites/all/files/sites/sernapam.tabasco.gob.mx/files/POET2013.pdf
- SPARKS, D. L., A. L. PAGE, P. A. HELMKE, R. H. LOEPPERT, P. N. SOLTANPOUR, M. A. TABATABAI, C. T. JOHNSTON & M. E. SUMNER. 1996. *Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A. 2005 p.
- TAPIA-VEGA, P. & J. E. OLIVEROS-JIMÉNEZ. 2008. Estructura poblacional de *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822) (Gastropoda: Prosobranchia: Thiaridae) en la parte alta de los ríos Tuxpan y Tecolutla, Veracruz. In: Sánchez A. J., M. M. G. Hidalgo, W. S. L. Arriaga & S. W. M. Conterras. (Eds). *Perspectivas en Zoología Mexicana*, pp. 43-53.
- THOMPSON, E. G. 1957. A collection on land and freshwater mollusks from Tabasco, México. *Nautilus* 70: 97-102.
- THOMPSON, F. G. 2004. *Freshwater Snails of Florida: A Manual for Identification*. 2nd ed. University of Florida, Gainesville, 92 p.

La clase Bivalvia en sitios rocosos de las Regiones Marinas Prioritarias en Guerrero, México: riqueza de especies, abundancia y distribución

The Bivalvia Class of rocky sites in Priority Marine Regions of Guerrero, Mexico: species richness, abundance, and distribution

Victor Ignacio López-Rojas, Rafael Flores-Garza, Pedro Flores-Rodríguez, Carmina Torreblanca-Ramírez y Sergio García-Ibáñez

Facultad de Ecología Marina. Universidad Autónoma de Guerrero. Gran Vía Tropical No. 20, Fraccionamiento Las Playas, Acapulco Gro., 39390, México
email: rfloresgarza@yahoo.com

Recibido: 15 de diciembre de 2015. **Aceptado:** 9 de diciembre de 2016.

López-Rojas V. I., R. Flores-Garza, P. Flores-Rodríguez, C. Torreblanca-Ramírez y S. García-Ibáñez. 2017. La clase Bivalvia en sitios rocosos de las Regiones Marinas Prioritarias en Guerrero, México: riqueza de especies, abundancia y distribución. *Hidrobiológica* 27 (1): 69-86.

RESUMEN

Antecedentes. Los bivalvos son parte de la fauna que habita en las costas del estado de Guerrero, muchos tienen importancia comercial, sin embargo, hay muy pocos estudios acerca de esta clase. La Comisión Nacional para el Uso y Conservación de la Biodiversidad refirió la falta de conocimiento sobre la variedad de especies que existe en las regiones marinas prioritarias (RMPs) que se ubican en esta región. **Objetivos.** Conocer la riqueza de especies de la clase Bivalvia, analizar la composición de la comunidad con base en la representación de las familias, estimar la densidad y conocer la distribución geográfica de los ejemplares. **Métodos.** El muestreo se realizó en 21 sitios, el área de muestreo fue de 10 m² y la unidad de muestreo fue de 1 m². **Resultados.** Se analizaron 5962 especímenes y se identificaron 40 especies. Las familias Mytilidae y Arcidae presentaron una mayor riqueza de especies y Mytilidae e Isognomonidae, una mayor abundancia. La densidad fue de 18.63 organismos/m². *Choromytilus palliopunctatus* (4.5 organismos/m²) e *Isognomon janus* (4.0 organismos/m²) mostraron una densidad superior. Tres especies tuvieron distribución amplia, una frecuente, ocho limitada y 32 restringida. Se reportaron cinco nuevas adiciones a la fauna de bivalvos en el Pacífico Transicional Mexicano, una para Guerrero, cinco para la RMP 30, seis para la RMP 31 y diecisiete para la RMP 33. **Conclusiones.** Con los resultados de este análisis, se logró avanzar en el conocimiento de la biodiversidad y ecología de los bivalvos en las RMP en el estado de Guerrero.

Palabras clave: Bivalvia, Guerrero, México, nuevos registros, zona intermareal.

ABSTRACT

Background. Bivalves are part of the fauna that inhabit the coast of the state of Guerrero. Many species are of commercial importance and few studies exist of this class in the state. The National Commission for the Use and Conservation of Diversity acknowledges the lack of studies regarding the diversity that exists in the Priority Marine Regions (PMRs) located in Guerrero. This study focused on the Bivalves and its **Goals** were to document species richness by analyzing the composition of the community based on the representation of families, estimate the density, and establish the geographical distribution of species. **Methods.** Sampling was conducted at 21 sites, the area was 10 m² and the unit was 1 m². **Results.** 5962 specimens were analyzed and 40 species were identified. Mytilidae and Arcidae families were the best represented in species richness and Mytilidae and Isognomonidae families were the best represented in abundance. The density was 18.63 organisms / m² and *Choromytilus palliopunctatus* (4.5 organisms / m²) and *Isognomon janus* (4.0 organisms / m²) showed the highest densities. We determined that three species have wide distribution, one species has frequent distribution, eight species have limited distribution, and 32 species have restricted distribution. This study registered five new additions to bivalve fauna in the Mexican Pacific Transition, one for the state of Guerrero, five for PMR 30, six for PmR 31, and 17 for PMR 33. **Conclusions.** Results from this study significantly advance our understanding of biodiversity and ecology of Bivalves in the state of Guerrero.

Key words: Bivalvia, Guerrero, intertidal zone, Mexico, new records.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Wilkinson *et al.* (2009), en el Pacífico mexicano se localizan las ecorregiones marinas del Golfo de California, Pacífico sudcaliforniano, Pacífico Transicional Mexicano (PTM) y Pacífico Centroamericano. En las primeras dos ecorregiones que se ubican en la parte noroeste de México se llevaron a cabo la mayoría de los estudios de poblaciones y comunidades de organismos marinos. En las otras dos ecorregiones, la cantidad de trabajos científicos sobre la biota marina es bastante reducida.

En el caso del estado de Guerrero, que forma parte de la región del PTM, la Comisión Nacional para la Conservación y Uso de la Biodiversidad (Conabio) determinó cuatro Regiones Marinas Prioritarias para la conservación y uso de la diversidad (RMPs), manifestó también que el conocimiento sobre la biodiversidad existente en estas regiones es limitado (Arriaga *et al.*, 2009). Debido a lo anterior, es necesario llevar a cabo investigaciones que contribuyan al conocimiento de la diversidad y que aporten información sobre diversos aspectos ecológicos de los organismos marinos en estos sitios y para las ecorregiones marinas que han recibido menos atención.

Los bivalvos son parte de la fauna marina que habita en las RMPs, son diversos y abundantes, además hay especies con importancia en la producción pesquera. (Maeda-Martínez, 2008). Entre los datos recabados del Pacífico mexicano de sitios que no se localizan en el PTM y con los cuales se analizaron diversos aspectos de los bivalvos, se encuentran los de Reguero & García-Cubas (1988), León-Herrera (2000) y Esqueda-González *et al.* (2014). En la ecorregión del PTM, los análisis de moluscos hacen referencia a la estructura, diversidad y variación de la comunidad en el tiempo (Holguín & González, 1989; 1994; Landa & Arciniega, 1998; Villarreal *et al.*, 2000; Landa-Jaime *et al.*, 2007; Flores-Rodríguez *et al.*, 2012). Otros informan sobre distribución y abundancia (Román *et al.*, 1991; Esqueda *et al.*, 2000; Flores-Garza *et al.*, 2007; Flores-Rodríguez *et al.*, 2007; Zamorano *et al.*, 2008; Flores-Rodríguez *et al.*, 2010; 2014).

Para el estado de Guerrero existen datos sobre riqueza, diversidad, abundancias y zonación de moluscos (Villalpando, 1986; Salcedo *et al.*, 1988; García, 1994; Flores-Rodríguez *et al.*, 2003; Flores, 2004; Valdés-González *et al.*, 2004; Barba-Marino *et al.*, 2010; Torreblanca, 2010; Flores-Garza *et al.*, 2010; 2011; Torreblanca-Ramírez *et al.*, 2012). Son pocos los reportes exclusivos para la clase Bivalvia, algunos tratan sobre especies de importancia comercial (Baquero & Stuardo, 1977; Baquero & Aldana, 2003), otros están basados en estudios de comunidad (Galeana-Rebolledo *et al.*, 2012; Flores-Garza *et al.*, 2014).

Dado lo limitado de los conocimientos sobre esta clase y las RMP, la presente investigación se llevó a cabo en la zona intermareal rocosa de sitios ubicados en las cuatro RMP en el estado de Guerrero, con la finalidad de aportar información sobre esta taxocenosis. Los objetivos fueron conocer la riqueza de especies, analizar la composición de la comunidad con base en la representación de las familias y estimar la densidad y conocer la distribución geográfica de las especies con base en los criterios de riqueza de especies y la abundancia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estado de Guerrero se localiza entre los paralelos 18° 53' y 16° 19' de latitud N y 98° 09' y 102° 11' longitud O (Fig. 1). Su territorio es de 63,794 km² con 525 kilómetros de litoral (INEGI, 2010). El área costera presenta un clima, tropical subhúmedo de tipo Aw, según la clasificación modificada de Köppen. Se caracteriza por una temporada de lluvias de mayo a octubre, un periodo de sequía de noviembre hasta abril con temperaturas relativamente altas. Las mareas son de tipo mixta con dos pleamares y dos bajamares en un periodo de 24 horas, existen dos clases principales de olas que afectan a la costa: las olas de invierno, producidas por disturbios ciclónicos en el Pacífico Norte; y olas de verano, formadas por ciclones del Pacífico Sur, por lo que el ciclo de las olas corresponde al sureste de octubre a marzo y al noroeste de abril a septiembre (García, 1973).

Para llevar a cabo el estudio, en la zona intermareal rocosa se muestrearon 21 sitios ubicados en las cuatro RMP (Fig. 1). En la RMP 30 (Mexiquillo-Delta del Balsas) se muestreo un sitio, en la RMP 31 (Tlacoyunque) y RMP 32 (Coyuca-Tres Palos), siete sitios, y en la RMP 33 (Copala-Punta Maldonado), seis sitios.

Cada sitio se georeferenció y se describió de acuerdo con los siguientes criterios: tipo de sustrato, tipo de roca, exposición al oleaje y estabilidad del sustrato. Las descripciones de los sitios de colecta se realizaron con base en Mottana *et al.* (1980), en las cartas geológicas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (Acapulco E14-11, 1:50,000, Coyuca de Catalán E14-A74, 1:50,000, Costa Grande E14-7, 1:50,000 y Costa Chica E14-8, 1:50,000) y en observaciones realizadas en campo (Tabla 1).

El tipo de sustrato se clasificó en: a) macizos rocosos: son las estructuras fijas, como las paredes, acantilados, terrazas, etc.; b) bloques: son rocas sueltas de tamaño mayor a 50 cm de diámetro que difícilmente se pueden mover por el impacto de las olas; c) cantos rodados: rocas sueltas de tamaño menor a 50 cm de diámetro y mayor a 8 cm de diámetro, pueden moverse con facilidad por el impacto de las olas; d) grava: roca suelta no mayor a 8 cm de diámetro y e) sustrato artificial: bloques de concreto o desechos de construcción.

La exposición al oleaje se clasificó como: a) alta: cuando la ola golpea de manera libre al sustrato, generalmente sitios sin protección; b) media: cuando el impacto de la ola sobre el sustrato se ve frenado o suavizado por barreras, esto puede ocurrir en sitios que se encuentran enfrente de la bocana de las bahías o a cierta distancia de los ganchos de barrera, también sucede en sitios donde el sustrato rocoso submareal emerge o es de poca profundidad; c) baja: cuando la ola no golpea directamente al sustrato, son sitios protegidos por barreras (Flores-Garza *et al.*, 2012).

La estabilidad del sustrato se clasificó como: a) alta: cuando el sustrato prácticamente permanece inalterado con el alto impacto de las olas; b) media: cuando difícilmente cambia la configuración del sustrato por el alto impacto de las olas, pero existe movimiento de rocas; c) baja: cuando la configuración del sitio cambia por el alto impacto de las olas, la mayor parte de las rocas pueden ser movidas (Tabla 1).

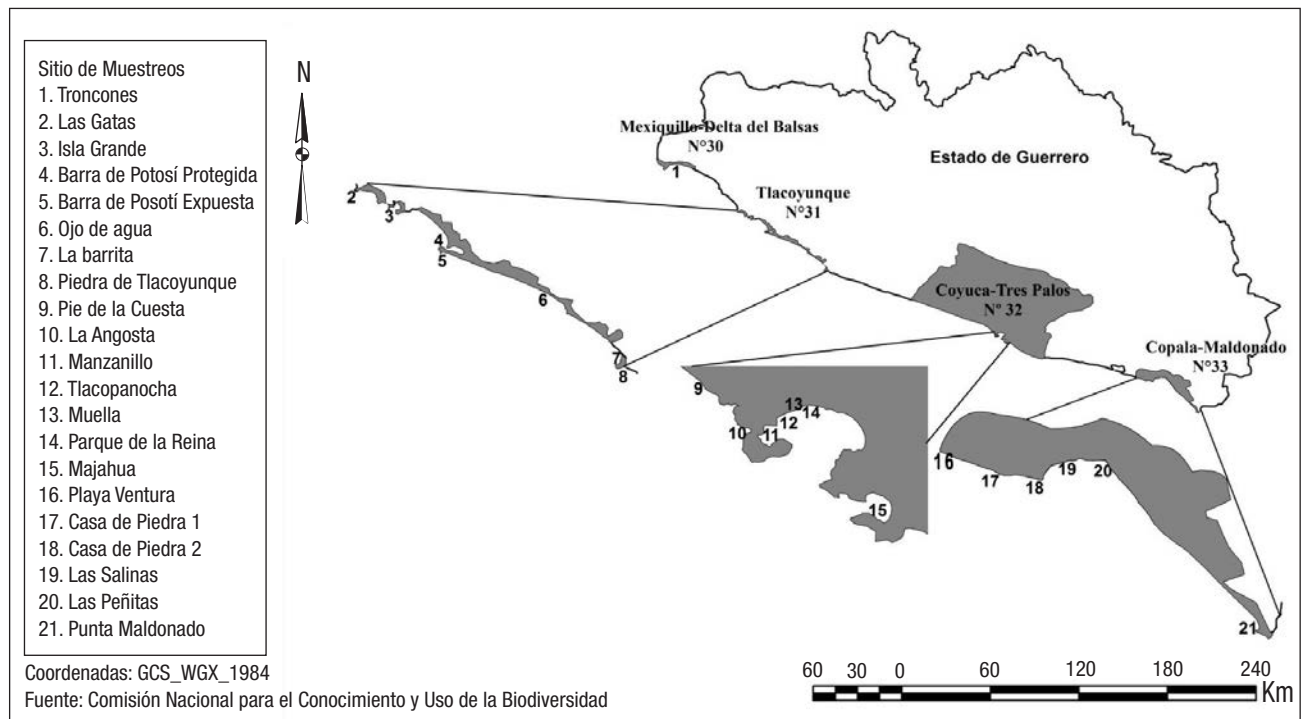


Figura 1. Ubicación de las Regiones Marinas Prioritarias en el estado de Guerrero, Pacífico Mexicano.

Trabajo de campo. Los muestreos se realizaron del 2009 al 2012. El área de muestreo para el análisis cuantitativo por cada recoleta fue de 10 m² por sitio, la unidad de muestreo fue de 1 m². Para delimitar la unidad de muestreo se utilizó un marco de un metro por lado construido con tubos de PVC. El punto de partida de la muestra fue seleccionado al azar, el marco de PVC se colocó en el punto seleccionado, posteriormente una cuerda de 30 m se extendió en paralelo a la costa en la zona intermareal. Todos los especímenes encontrados vivos dentro de la unidad de muestreo se colectaron. Al concluir el levantamiento de la muestra de la primera unidad, se procedió a ubicar el punto donde se colocaría el marco de PVC para delimitar la segunda unidad de muestreo, este procedimiento consistió en seguir el transecto marcado por la cuerda, avanzar dos metros y colocar el marco para demarcar la siguiente unidad de muestreo. Esta técnica se siguió hasta completar las 10 unidades de muestreo (10m²). El análisis cuantitativo de las RMP 30 y 31 tuvo como base los datos de un muestreo, mientras que para la RMP 32 se tomaron en cuenta los de dos muestreos para los sitios Tlacopanocha, Majahua, Parque de la Reina, La Angosta y Manzanillo. Para los sitios Muelle y Pie de la Cuesta se examinaron los datos de un solo muestreo. En cuanto al análisis cuantitativo de la RMP 33 se basó en los datos de tres muestreos para el sitio Punta Maldonado. Los sitios Peñitas, Las Salinas, Casa de Piedra 2, Playa Ventura se estudiaron con base en los datos de dos muestreos y el sitio Casa de Piedra, con un muestreo.

Trabajo de laboratorio y análisis de datos. La identificación y la actualización de la nomenclatura se realizaron mediante el uso de literatura especializada (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Coan & Valentich-Scott, 2012).

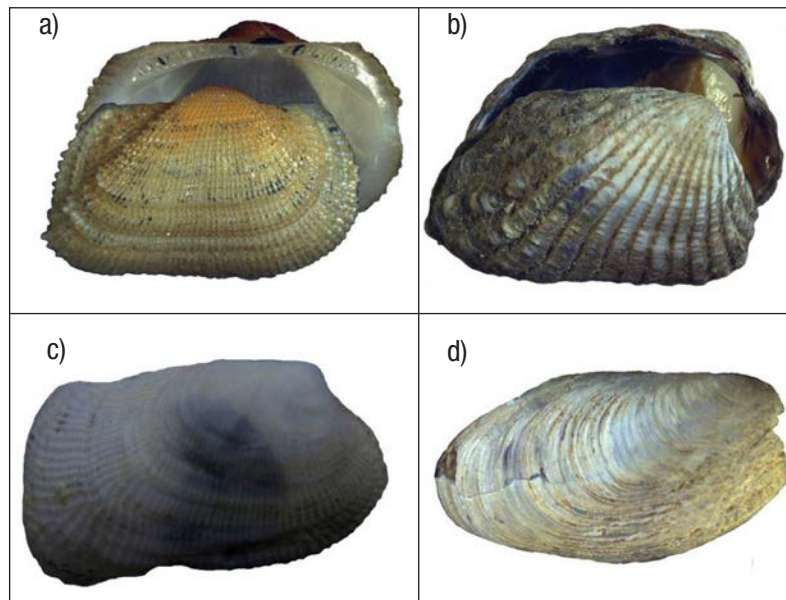
La riqueza de especies se midió como el número de especies encontradas en los muestreos. La representación de las familias fue evaluada de acuerdo con la riqueza de especies y la abundancia de cada familia. La densidad se calculó en organismos/m². La frecuencia de ocurrencia se midió con el porcentaje de sitios en el cual una especie estuvo presente. El tipo de distribución se determinó con base en la frecuencia de ocurrencia de las especies y se clasificó en: a) amplia, la especie se presentó en al menos el 70% de los sitios; b) frecuente, la especie se presentó entre el 30 al 69% de los sitios; c) limitada, la especie estuvo presente entre el 10 al 29% de los sitios, y d) restringida, cuando la especie se encontró como máximo en el 9% de los sitios de colecta.

RESULTADOS

Se analizaron 5962 especímenes, de los cuales se identificaron 15 familias, 28 géneros y 40 especies, más cuatro especies de las que sólo se logró identificar el género (Fig. 2).

La familia mejor representada en riqueza de especies fue Mytilidae, seguida por Arcidae. El valor mayor de abundancia se determinó en la familia Mytilidae, seguida por la Isognomonidae.

La densidad estimada para los 21 sitios de muestreo fue de 18.63 organismos/m²; siendo *Choromytilus palliopunctatus* (Carpenter, 1857) (4.5 organismos/m²), e *Isognomon janus* (Carpenter, 1857) (4.0 organismos/m²) las especies que presentaron las mayores densidades.



Figuras 2a-d. Especies de moluscos presentes en ambientes litorales rocosos de las costas del estado de Guerrero, México, identificadas hasta el nivel de género. **a)** *Anadara* sp. (Familia Arcidae). **b)** *Cardita* sp. (Familia Carditae). **c)** *Petricola* sp. (Familia Petrocolidae). **d)** *Gastrochaena* sp. (Familia Gastrochaenidae).

Con respecto a las especies que se reportan en este trabajo, en la revisión bibliográfica sobre las especies de la clase Bivalvia que habitan en la RMP denominada Pacífico Transicional Mexicano, no se encontraron estudios que registraran la presencia para esta ecorregión de *Brachidontes playasensis* (Pilsbry & Lowe, 1932), *Lioberus salvadoricus* (Hertlein & Strong, 1946), *Modiolus americanus* Lamarck, 1799, *Paphonotia elliptica* (G.B. Sowerby I, 1834) y *Gastrochaena denticulata* Deshayes, 1855. De la especie *Gregariella coarctata* (Carpenter, 1857) no se encontraron registros sobre su presencia en el litoral del estado de Guerrero (Fig.3).

En lo que corresponde a la distribución que presentaron las especies de la clase Bivalvia encontradas en los sitios muestreados, tres presentaron distribución amplia, una distribución frecuente, ocho limitada y 32 distribución restringida. Las especies que estuvieron mejor distribuidas fueron *B. adamsianus*, encontrada en 20 de los 21 sitios; *C. corralloides* en 19 de 21 sitios; y *I. janus* distribuido en 18 de 21 sitios muestreados.

De las especies encontradas, 15 se localizaron en sólo un sitio de muestreo, de las cuales 10 estuvieron representadas por un solo organismo y tres especies por dos organismos; aparte de tener distribución restringida, se consideraron raras en la zona rocosa intermareal (Tabla 4)

En la RMP 30 se analizaron 29 especímenes, se identificaron cinco familias, seis géneros y seis especies. En riqueza de especies la familia mejor representada fue Plicatulidae y en abundancia, Isognomonidae. El valor de densidad estimado fue de 2.9 organismos /m² y las especies con mayor densidad fueron *I. janus* (1.3 organismos/m²) y *P. anomioides* (0.8 organismos/m²). En esta misma zona sólo se muestreó en un sitio (tablas 2 y 3). En la revisión bibliográfica no se encontró información sobre la presencia en RMP 30 de las especies *A. pusilla*, *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856), *P. penicillata*, *P. anomioides* y *C. clarionensis* (Fig. 4).

En cuanto a la RMP 31 se analizaron 1584 especímenes y se identificaron nueve familias 16 géneros y 22 especies, más una identificada hasta género. La familia mejor representada en riqueza de especies fue Mytilidae (9 especies) y Arcidae (4 especies). En abundancia las familias mejor representadas fueron Chamidae y Mytilidae.

La mayor riqueza de especies se encontró en el sitio Las Gatas (15 especies) y la menor riqueza en Isla Grande (3 especies) (Tabla 4). Se estimó una densidad de 22.6 organismos/m², en este aspecto destacaron *C. palliopunctatus* (14.16 organismos/m²) y *C. corralloides* (1.18 organismos/m²), pero en Barra de Potosí se halló el valor más alto de densidad (85.1 organismos/m²), (Tablas 2 y 3). Cabe destacar que también se encontraron tres especies raras, una en Barra de Potosí (área protegida), otra en Isla Grande y la última en la Barrita.

En la revisión bibliográfica no se localizó la presencia en la RMP 31 de las especies *B. puntarenensis*, *A. pusilla*, *Saccostrea palmula* (Carpenter, 1857), *Striostrea prismatica* (Gray, 1824) *C. corralloides* y *Chama sordida* (Broderip, 1835) (Fig. 4).

En la RMP 32 se analizaron 1218 especímenes, en esta región se presentó la mayor riqueza de especies, se identificaron 12 familias, 20 géneros, 32 especies, más una que se logró identificar hasta género (Tabla 2). La familia mejor representada en riqueza de especies fue Mytilidae (8 especies) y Arcidae (7 especies). En abundancia, las familias mejor representadas fueron Chamidae y Mytilidae. La mayor riqueza de especies se encontró en el sitio Manzanillo (25 especies) y la menor en Parque de la Reina (6 especies) (Tabla 4). Para la RMP 32 se estimó un densidad de 10.15 organismos/m². Las especies que registraron mayor densidad fueron *C. corralloides* (2.7 organismos/m²) y *C. palliopuctatus* (1.25 organismos/m²). En el sitio Pie de la Cuesta se encontró el valor más alto de densidad (24.9 organismos/m²) (tablas 2 y 3). Se encontraron cinco especies raras, dos en Tlacopanocha y tres en Manzanillo.

Tabla 1. Sitios de muestreo, ubicación geográfica y las características más relevantes del hábitat en costas del estado de Guerrero, México.

RMP/Sitio	Coordenadas		Municipio	Tipo de sustrato	Tipo de roca	Estabilidad del sustrato	Exposición del oleaje
	Latitud	Longitud					
RMP30							
1 Troncones	17°47'35"	101°44'46.6"	La Unión de Isidoro Montes	Macizos rocosos y bloques	Volcano-sedimentaria	Medio	Medio
RMP31							
2 Las Gatas	17°37'17.52"	101°33'14.26"	Teniente José Azueta	Cantos rodados	Metavolcánica	Medio	Medio
3 Isla Grande	17°40'36.86"	101°39'16.78"	Teniente José Azueta	Macizos rocosos, Bloques y cantos rodados	Sedimentarias, arenisca, caliza, lutita	Media	Medio
4 Barra de Potosí Protegida	17°32'17.4"	101°27'19.1"	Petatlán	Cantos rodados	Metamórficas	Baja	Medio
5 Barra de Potosí Expuesta	17°31'43.51"	101°27'08.22"	Petatlán	Cantos rodados	Metamórficas	Baja	Alto
6 Ojo de Agua	17°18'01.80"	101°03'05.83"	Técpán de Galeana	Bloques y cantos rodados	Ígneas	Baja	Alto
7 La Barrita	17°24'32.74"	101°10'51.36"	Petatlán	Bloques y cantos rodados	Ígneas	Medio	Medio
8 Piedra de Tlacoyunque	16°19'35.49"	98°34'12.65"	Técpán de Galeana	Bloques	Ígneas	Alto	Alto
RMP32							
9 Pie de la Cuesta	99°56'34.64"	99°56'34.64"	Acapulco	Macizos rocosos y cantos rodados	Metamórficas	Alta	Alto
10 Angosta	99°54'55.70"	99°54'55.70"	Acapulco	Macizos rocosos	Metamórficas	Alta	Alto
11 Manzanillo	99°54'38.14"	99°54'38.14"	Acapulco	Cantos rodados y grava	Metamórficas y sustrato artificial	Baja	Bajo
12 Tlacopanocha	99°54'25.02"	99°54'25.02"	Acapulco	Bloques y grava	Sustratos artificiales y rocas ígneas	Media	Medio
13 Muelle	99°54'02.39"	99°54'02.39"	Acapulco	Bloques y cantos rodados	Metamórficas y sustrato artificial	Media	Medio
14 Parque de la Reina	99°54'01.85"	99°54'01.85"	Acapulco	Cantos rodados y grava	Sustratos artificiales y rocas ígneas	Baja	Medio
15 Majahua	99°54'01.85"	99°54'01.85"	Acapulco	Bloques y cantos rodados	Metamórficas	Alta	Bajo
RMP33							
16 Playa Ventura	99°54'44.6"	99°54'44.6"	Copala	Macizo rocoso	Ígneas	Alto	Alto
17 Casa de Piedra (2)	98°53'40.4"	98°53'40.4"	Copala	Macizo rocoso	Ígneas	Alto	Alto
18 Casa de Piedra (1)	98°53'47.35"	98°53'47.35"	Copala	Macizo rocoso	Ígneas	Alto	Alto
19 Las Salinas	99°05'43.71"	99°05'43.71"	Marquelia	Macizo rocoso	Ígneas	Alto	Alto
20 Peñitas	98°46'22.0"	98°46'22.0"	Marquelia	Macizo rocoso	Metamórficas	Alto	Alto
21 Punta Maldonado	98°34'12.65"	98°34'12.65"	Cuajinicuilapa	Bloques y Cantos rodados	Sedimentarias y areniscas	Medio	Medio

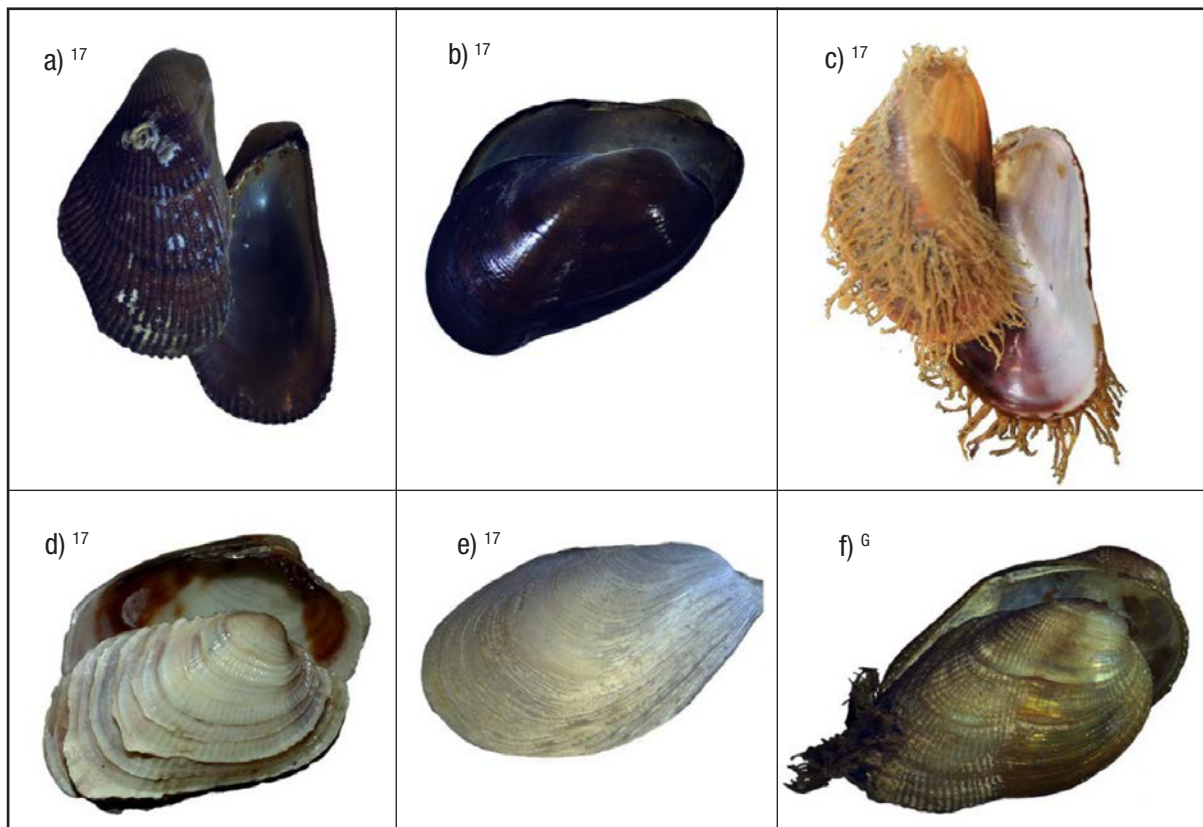
Tabla 2. Abundancia relativa de moluscos bivalvos por familia, riqueza y tipo de distribución de especies de bivalvos asociados a la zona intermareal rocosa por Región Marina Prioritaria del estado de Guerrero, México.

FAMILIA (AR)/ Especies	N	Región Marina Prioritaria				Tipo de Distribución
		30	31	32	33	
MYTILIDAE (48.6%)						
<i>Brachidontes adamsianus</i> (Dunker, 1857)	479		86	23	370	A
<i>Brachidontes playasensis</i> (Pilsbry & Lowe, 1932)	300		10		290	F
<i>Brachidontes puntarenensis</i> (Pilsbry & Olsson, 1935)	159		74	21	64	L
<i>Brachidontes semilaevis</i> (Menke, 1848)	337		10	2	325	R
<i>Gregariella coarctata</i> (Carpenter, 1857)	1		1			R
<i>Septifer zeteki</i> (Hertlein & Strong, 1946)	2			2		R
<i>Choromytilus palliopunctatus</i> (Carpenter, 1857)	1442		1133	151	158	L
<i>Lioberus salvadoricus</i> (Hertlein & Strong, 1946)	1		1			R
<i>Lithophaga aristata</i> (Dillwyn, 1817)	113		8	36	69	F
<i>Lithophaga plumula</i> (Hanley, 1844)	19				19	R
<i>Leiosolenus spatiosa</i> (Carpenter, 1857)	5				5	R
<i>Modiolus americanus</i> Lamarck, 1799	1				1	R
<i>Modiolus capax</i> (Conrad, 1837)	39		8	30	1	L
<i>Modiolus tumbezensis</i> Pilsbry & Olsson, 1935	1			1		R
ARCIDAE (6.9%)						
<i>Acar gradata</i> (Broderip & Sowerby, 1829)	16		2	9	5	R
<i>Acar pusilla</i> (Sowerby I, 1833)	233	5	72	2	154	R
<i>Acar rostrata</i> (Berry 1954)	112		3	8	101	R
<i>Arca mutabilis</i> (Sowerby, 1833)	12		4	4	4	R
<i>Barbatia (B.) lurida</i> (Sowerby, 1833)	6			6		R
<i>Barbatia illota</i> (Sowerby, 1833)	11			3	8	R
<i>Barbatia reeveana</i> (d'Orbigny, 1846)	6			5	1	R
<i>Anadara</i> sp.	1				1	R
PTERIDAE (0.05%)						
<i>Pinctada mazatlanica</i> (Hanley 1856)	3	1		2		R
ISOGNOMONIDAE (21.6%)						
<i>Isognomon janus</i> (Carpenter, 1857)	1287	13	36	125	1113	A
OSTREIDAE (4.1%)						
<i>Saccostrea palmula</i> (Carpenter, 1857)	113		6	107		R
<i>Striostrea prismatica</i> (Gray, 1824)	132		4	105	23	L
ANOMIDAE (0.03%)						
<i>Pododesmus foliatus</i> (Broderip, 1834)	2			2		R
PLICATULIDAE (1.3%)						
<i>Plicatula penicillata</i> (Carpenter, 1857)	31	1	2	18	10	L
<i>Plicatuloostrea anomioides</i> (Keen, 1958)	49	8		14	27	R
LIMIDAE (0.6%)						
<i>Lima pacifica</i> (de' Orbigny, 1846)	34		1	33		R
LUCINIDAE (0.08%)						
<i>Ctena clarionensis</i> (Hertlein & Strong, 1946)	5	1		1	3	R
CARDITIDAE (2.5%)						
<i>Cardita</i> sp.	14		1	1	12	R
<i>Cardites grayi</i> (Dall, 1903)	70			70		R
<i>Cardites laticostata</i> Sowerby, 1833	1			1		R
<i>Carditamera affines</i> (Sowerby, 1833)	62		24	9	29	L

Tabla 2 (continuación).

FAMILIA (AR)/ Especies	N	Región Marina Prioritaria				Tipo de Distribución
		30	31	32	33	
CHAMIDAE (14.4%)						
<i>Chama coralloides</i> (Olsson, 1971)	590		95	324	171	A
<i>Chama echinata</i> (Broderip, 1835)	110			13	97	L
<i>Chama mexicana</i> Carpenter, 1857	121			55	66	L
<i>Chama sordida</i> (Broderip, 1835)	36		2	34		R
VERENIDAE (0.01%)						
<i>Paphonotia elliptica</i> (G.B. Sowerby I, 1834)	1		1			R
PHOLADIDAE (0.01%)						
<i>Martesia striata</i> (Linnaeus, 1758)	1			1		R
PETRICOLIDAE (0.01%)						
<i>Petricola</i> sp.	1				1	R
GASTROCHAENIDAE (0.05%)						
<i>Gastrochaena denticulata</i> Deshayes, 1855	2				2	R
<i>Gastrochaena</i> sp.	1				1	R
Total	5962	29	1584	1218	3131	
Densidad	18.63	2.9	22.6	10.15	26.0	

N = Número de organismos analizados. AR= Tipo de distribución (A= Amplia; F= Frecuente; L= Limitada; R= Restringida).



Figuras 3a-f. **a-d)** Nuevos registros de especies de bivalvos para la ecorregión marina Pacífico Transicional Mexicano (17). **a-c)** Organismos de la familia Mytilidae: **a)** *B. playasensis*, **b)** *L. salvadoricus*, **c)** *M. americanus*. **d)** *P. elliptica* (Familia Verenidae), **e)** *G. denticulata* (familia Gastrochaenidae). **f)** Nuevo registro de bivalvo para el estado de Guerrero: *G. coarctata* (familia Mytilidae). Los superíndices sobre las literales de las figuras indican la Región Marina Prioritaria en la que constituyeron nuevos registros. G = estado de Guerrero.

Tabla 3. Número organismos analizados (N) y densidad (org./m²) de moluscos bivalvos en los distintos sitios estudiados por regiones marinas prioritaria del estado de Guerrero, México, asociados a la zona intermareal rocosa, y número de organismos analizados por especialistas y densidad de las especies más abundantes.

RMP/Sitios	N	Densidad	Especies con mayor valor de abundancia	N	Densidad
RMP 30					
Troncones	29	2.9	<i>I. janus</i>	13	1.3
			<i>P. anomiooides</i>	8	0.8
RMP 31					
Las Gatas	101	10.1	<i>C. coralloides</i>	41	4.1
			<i>C. affines</i>	21	2.1
Isla Grande	6	0.6	<i>C. coralloides</i>	3	0.3
			<i>B. adamsianus</i>	2	0.2
Barra de Potosí Protegida	57	5.7	<i>B. puntarenensis</i>	17	1.7
			<i>C. coralloides</i>	14	1.4
Barra de Potosí Expuesta	851	85.1	<i>C. palliopunctatus</i>	768	76.8
			<i>B. puntarenensis</i>	55	5.5
Ojo de Agua	97	9.7	<i>A. pusilla</i>	69	6.9
			<i>B. adamsianus</i>	11	1.1
Barrita	172	17.2	<i>C. palliopunctatus</i>	157	15.7
			<i>C. coralloides</i>	9	0.9
P. Tlacoyunque	300	30	<i>C. palliopunctatus</i>	204	20.4
			<i>B. adamsianus</i>	62	6.2
RMP 32					
P. de la Cuesta	249	24.9	<i>C. palliopunctatus</i>	151	15.1
			<i>C. coralloides</i>	62	6.2
Angosta	93	4.65	<i>I. janus</i>	34	1.7
			<i>C. mexicana</i>	7	0.3
Manzanillo	240	12	<i>C. coralloides</i>	34	1.7
			<i>C. grayi</i>	15	0.7
Tlacopanocha	180	9	<i>C. grayi</i>	39	1.9
			<i>C. coralloides</i>	38	1.9
Muelle	127	12.7	<i>C. coralloides</i>	75	7.5
			<i>I. janus</i>	20	2
Parque de la Reina	26	1.3	<i>C. coralloides</i>	11	0.5
			<i>C. grayi</i>	6	0.3
Majahua	302	15.1	<i>C. coralloides</i>	84	4.2
			<i>S. prismatica</i>	82	4.1
RMP 33					
Playa Ventura	569	28.45	<i>B. playasensis</i>	290	14.5
			<i>B. semilaevis</i>	104	5.2
Casa de Piedra 2	618	30.9	<i>B. semilaevis</i>	215	10.7
			<i>B. adamsianus</i>	205	10.2
Casa de Piedra 1	36	3.6	<i>B. adamsianus</i>	16	1.6
			<i>C. coralloides</i>	8	0.8
Las Salinas	87	4.35	<i>C. palliopunctatus</i>	41	2.05
			<i>I. janus</i>	15	0.7
Peñitas	1232	61.6	<i>I. janus</i>	1018	50.9
			<i>B. adamsianus</i>	64	3.2
Punta Maldonado	589	19.6	<i>A. pusilla</i>	154	5.1
			<i>A. rostae</i>	101	3.3

En la RMP 33 se estudiaron 3131 especímenes, se identificaron 10 familias, 18 géneros, 26 especies, más cuatro identificadas hasta género. La familia mejor representada en riqueza fue Mytilidae (10 especies) y Arcidae (7 especies). En abundancia, destacan Mytilidae seguida por Isognomonidae. La mayor riqueza de especies se encontró en el sitio Punta Maldonado (26 especies) y la menor riqueza en Casa de Piedra 1 (6 especies) (Tabla 4). Se estimó el valor de densidad más

alto (26 organismos/m²) y las especies con los mayores valores de densidad fueron: *I. janus* (9.27 organismos/m²) y *Brachidontes adamsianus* (Dunker, 1857) (3.08 organismos/m²). En el sitio Peñitas se estimó una densidad superior (61.6 organismos/m²) (Tablas 2-3). Se encontraron siete especies raras todas ellas en Punta Maldonado. *L. palmula* y *L. spatiosa* sólo se presentaron en Punta Maldonado, pero sus abundancias fueron considerables.

Tabla 4. Sitios de colecta por Región Marina Prioritaria (RMP) donde se encontraron especies de la clase Bivalvia asociadas a la zona intermareal rocosa en el estado de Guerrero, México.

Sitios de colecta	RMP 30		RMP 31						RMP 32						RMP 33							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
Especies																						
<i>B. adamsianus</i>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>B. playasensis</i>			X			X		X													X	
<i>B. puntarenensis</i>					X	X	X	X		X			X	X	X		X			X		
<i>B. semilaevis</i>					X								X				X	X		X	X	
<i>G. coarctata</i>						X																
<i>S. zeteki</i>											X											
<i>C. palliopunctatus</i>		X	X		X	X								X		X	X	X	X	X	X	
<i>L. salvadoricus</i>								X														
<i>L. aristata</i>		X		X				X	X			X	X	X	X	X	X	X		X	X	
<i>L. plumula</i>																						
<i>L. spatiosa</i>																						
<i>M. americanus</i>																						
<i>M. capax</i>					X	X		X		X	X	X	X				X					
<i>M. tumbezensis</i>												X										
<i>A. gradata</i>				X							X	X	X									
<i>A. pusilla</i>	X			X		X		X			X											
<i>A. rostrata</i>								X	X													
<i>A. mutabilis</i>								X			X	X										
<i>B. lurida</i>									X		X	X										
<i>B. illota</i>												X	X									
<i>B. reeveana</i>												X			X							
<i>Anadara sp.</i>																						
<i>P. mazatlanica</i>	X											X										
<i>I. janus</i>	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>C. palmula</i>						X			X		X	X										
<i>C. prismática</i>								X	X			X	X		X	X				X	X	
<i>P. foliatus</i>											X											
<i>P. penicillata</i>	X							X	X		X	X				X	X					
<i>P. anomioides</i>	X								X		X	X				X						
<i>L. pacífica</i>								X	X	X	X	X										
<i>C. clarionensis</i>	X											X										
<i>Cardita sp.</i>		X													X	X	X		X		X	
<i>C. grayi</i>									X	X	X	X	X		X							
<i>C. laticostata</i>												X										
<i>C. affines</i>		X		X				X			X	X			X	X	X				X	
<i>C. coralloides</i>		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>C. echinata</i>												X	X		X	X	X				X	
<i>C. mexicana</i>												X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>C. sórdida</i>				X					X		X	X			X							
<i>P. elliptica</i>			X																			
<i>M. striata</i>												X										
<i>Petricola sp.</i>																						
<i>G. denticulata</i>																						
<i>Gastrochaena sp.</i>																						

Localidades: A= Troncones; B= Piedra de Tlacoyunque; C= La Barrita; D= Ojo de Agua; E= Barra de Potosí Expuesta; F= Barra de Potosí Protegida; G= Isla Grande; H= Las Gatas; I= Majahua; J= Parque de Reina; K= Tlacopanocha; L= Manzanillo; M= La Angosta; N= Pie de la Cuesta; O= Muelle; P= Punta Maldonado; Q= Las Peñitas; R= Las Salinas; S= Casa de Piedra I; T= Casa de Piedra II; U= Playa Ventura. X= Presencia en el sitio.

En la revisión bibliográfica no se encontraron reportes sobre la presencia para la RMP 33 de las especies *Brachidontes puntarenensis* (Pilsbry & Olsson, 1935), *Brachidontes semilaevis* (Menke, 1848), *Lithophaga aristata* (Dillwyn, 1817), *Lithophaga plumula* (Hanley, 1844), *Leiosolenus spatiosa* (Carpenter, 1857), *Modiolus capax* (Conrad, 1837), *Acar gradata* (Broderip & Sowerby, 1829), *Acar pusilla* (Sowerby I, 1833), *Acar rostrata* (Berry 1954), *Arca mutabilis* (Sowerby, 1833), *Barbatia illota* (Sowerby, 1833), *Barbatia reeveana* (d'Orbigny, 1846), *Plicatula penicillata* (Carpenter, 1857), *Plicatuloostrea anomioidea* (Keen, 1958), *Ctena. Clarionensis* (Hertlein & Strong, 1946), *Chama coralloidea* (Olsson, 1971), *Chama mexicana* Carpenter, 1857 (Fig 4).

DISCUSIÓN

Entre los trabajos efectuados en el Pacífico mexicano (exceptuando Guerrero), donde se incluye el análisis de riqueza de especies de la clase Bivalvia, se encuentran los de Villarreal *et al.* (2000), los cuales se llevaron a cabo en la zona de la costa rocosa de Michoacán y determinó la presencia de 19 especies de bivalvos; Rodríguez (2007) encontró 11 especies en el arrecife de coral de Tenacatita, Jalisco; Ortiz-Arellano & Flores-Campaña (2008) encontró 24 especies en la zona intermareal rocosa de las islas Navachiste en Sinaloa, y Esqueda-González *et al.* (2014) estudiaron la comunidad de bivalvos en la bahía de Mazatlán, localizaron a 26 familias y 89 especies; el estudio se llevó a cabo en dos zonas de arena intermareal y submareal somero y sitios rocosos. Entre las investigaciones que sí incluyen el análisis de riqueza de especies de bivalvos efectuados en el estado de Guerrero, se encuentran las de Salcedo *et al.* (1988), llevada a cabo en Zihuatanejo en sitios de arena y rocas en las zona intermareal y submareal y que logró el registró

37 especies de la clase Bivalvia; Flores-Rodríguez *et al.* (2014), por su parte, llevó a cabo un análisis en la zona intermareal rocosa de 9 sitios distribuidos en las tres regiones costeras y ubicó nueve especies de esta misma clase. En Acapulco, Torreblanca (2010) observó 13 especies de bivalvos en tres sitios; Flores-Garza *et al.* (2011) informó de nueve especies en playa Majahua; Galeana-Rebolledo *et al.* (2012) registraron 21 especies en playa Tlacopanocha y Torreblanca-Ramírez *et al.* (2012) detectó ocho especies en playa Parque de la Reina. Cabe destacar que los resultados de esta investigación detallan el valor más alto que se haya reportado de riqueza de especies de bivalvos asociada a la zona rocosa intermareal. Las diferencias en la riqueza de especies observadas en comparación con otras llevadas a cabo en esta misma zona, se atribuyen a que el muestreo se enfocó en la clase Bivalvia, al mayor número de sitios de muestreo, a la diversidad en cuanto a tipos de sustrato y exposición al oleaje de los sitios (el conjunto de los sitios incluidos en la muestra, son representativos de la variedad de tipos de intermareal rocoso existentes en el estado) y al esfuerzo y método de colecta, dado que el área ubicada en la unidad de muestreo fue cuidadosamente revisada, lo cual fue posible debido al tamaño del área muestreada y al fácil acceso a los sitios.

Las familias Mytilidae y Arcidae obtuvieron el valor más alto en riqueza de especies en el intermareal rocoso de diferentes sitios en la RMP 32 (Flores-Garza *et al.*, 2010; Torreblanca, 2010; Flores-Garza *et al.*, 2011; Galeana-Rebolledo *et al.*, 2012; Torreblanca-Ramírez *et al.*, 2012; Flores-Garza *et al.*, 2014). Este mismo resultado se encontró para las cuatro RMPs analizadas. Con respecto a la abundancia, Flores (2004) determinó que las familias Mytilidae, Isognomonidae y Chamidae son las que se encuentran mejor representadas en el in-

Tabla 5. Nuevos registros de especies de Bivalvia para la ecorregión Pacífico Transicional Mexicano (17).

Especie	N	Distribución conocida	Nueva distribución
<i>Brachidontes playasensis</i>	300	Ecuador: Playas Guayas, Esmeraldas, Playa Santa Elena, Galápagos; Perú; Panamá; Costa Rica: Puntarenas, Bahía Chatham, la Isla del Coco; Guatemala: Porto Barrios y Livingston (Keen, 1971; Coan & Valentich-Scott, 2012; Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y Worldwide Mollusc Species Data Base (WMSDB).	Playa Ventura La Barrita Barra de Potosí Expuesta Playa Las Gatas
<i>Lioberus salvadoricus</i>	1	México: Baja California (Al norte de San Felipe), Sonora (Bahía la Cholla, Ensenada, San Carlos, El Golfo de Santa Clara); Panamá: Golfo de San Ángel, Darién, San Miguel; Costa Rica: Bahía de Salinas, Golfo de Santa Elena, Bahía de Junquillal, Playa Mostrenal e Isla David; El Salvador; Guatemala: Al Oeste de Acajuatla (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Coan & Valentich-Scott, 2012 y GBIF)	Las Gatas
<i>Modiolus americanus</i>	1	México: Golfo de California (Isla de la Guardia), Baja California sur, Sonora (Bahía la Choya), Sinaloa (Mazatlán), Oaxaca (Salina Cruz); Perú: (Paíta, Islas lobos de tierra, Lambayenque) y Ecuador: Islas Galápagos (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Coan & Valentich-Scott, 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; DISCOVER LIFE (DL); GIF; WMSDB y World Register of Marine Species (WoRMS).	Punta Maldonado
<i>Paphonotia elliptica</i>	1	México: Sinaloa (Mazatlán) Perú: Lambayeque; Chile: Tarapacá; Perú; Costa Rica: Titives, Playa Tamarindo, Río Coto Colorado, Bahía Naranjos y Playa Arco; El Salvador y Ecuador (Keen, 1971; Coan & Valentich-Scott, 2012; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	La Barrita
<i>Gastrochaena denticulata</i>	2	México: Nayarit (Isla María Madre, Islas Tres Marías) Perú: Punta Mero, Tumbes (Coan & Valentich-Scott, 2012)	Punta Maldonado

N = Número de organismos revisados por especialistas.



Figuras 4a-u. Nuevos registros de especies de bivalvos en las Regiones Marinas Prioritarias (RMP) de México: R30, R31 y R32. **a)** *B. puntarenensis*, **b)** *B. semilaevis*, **c)** *L. aristata*, **d)** *L. plumula*, **e)** *L. spatiosa*, **f)** *M. capax*, **g)** *A. gradata*, **h)** *A. pusilla*, **i)** *A. rostrata*, **j)** *A. mutabilis*, **k)** *B. illota*, **l)** *B. reeveana*, **m)** *P. mazatlanica*, **n)** *S. palmula*, **o)** *S. prismatica*, **p)** *P. penicillata*, **q)** *P. anomioides*, **r)** *C. clarionensis*, **s)** *C. coralloides*, **t)** *C. mexicana*, **u)** *C. sordida*. Figs. **a-e)** Familia Mytilidae. Figs. **f-i)** Familia Arcidae. Figs. **j-m)** Familia Pteridae. Figs. **n-o)** Familia Ostreidae. Figs. **p-q)** Familia Plicatulidae. Figs. **r-s)** Familia Lucinidae. Figs. **t-u)** Familia Chamidae. Los superíndices sobre las literales de las figuras indican las Regiones Marinas Prioritarias en las que constituyeron nuevos registros.

Tabla 6. Nuevos registros de especies de Bivalvia para las costas del estado de Guerrero.

Especie	N	Distribución conocida	Nueva distribución
<i>Gregariella coarctata</i>	1	México: Baja California (Laguna Ojo de Liebre); Sonora (Bahía la Choya, Mazatlán y Puerto Peñasco), Jalisco (Barra Navidad), Baja California Sur (Bahía los Frailes, la Paz y Cabo San Lucas), Colima (Manzanillo); Ecuador: Islas Galápagos, Salinas; EE.UU: Monterey, Golfo de California; Perú: Lima (Callao); Costa Rica: Punta Gallardo (Roca la Viuda), Santa Teresa (Playa Hermosa), Bahía Drake (Playa Colorada) y Playas del Coco; El Salvador: Playa Playitas a Playa Maludas; Panamá: Golfo de Panamá (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Coan & Valentich-Scott, 2012; DL y GIF)	Barra de Potosí protegida

N = Número de ejemplares revisados por especialistas.

termareal rocoso. Este resultado coincide con el trabajo anterior. En lo que corresponde a la familia Chamidae, se determinó como la más abundante para el intermareal rocoso de la RMP 32, resultados similares a los de Flores-Garza *et al.* (2011), Galeana-Rebolledo *et al.* (2012), Torreblanca-Ramírez *et al.* (2012) y Flores-Garza *et al.* (2014). Además, se determinó que la familia Chamidae es la segunda mejor representada en abundancia en las RMP 30 y 31.

Con la semejanza que existe en los resultados de riqueza de especies, abundancias y distribución de las familias de la clase Bi-

valvia analizados en los trabajos anteriormente citados y los resultados obtenidos en la presente investigación es posible concluir que las familias representativas de la clase Bivalvia para el intermareal rocoso del estado de Guerrero son Mytilidae, Arcidae, Chamidae e Isognomonidae.

Además, se registraron cinco nuevas especies al listado de la fauna de bivalvos en el Pacífico Transicional Mexicano, uno para Guerrero, cinco para la RMP 30, seis para la RMP 31 y diecisiete para la RMP 33 (Tablas 5, 6, 7, 8, 9).

Tabla 7. Nuevos registros de especies de Bivalvia para la RMP 30 (Mexiquillo-Delta del Balsas).

Especie	N	Distribución conocida	Nueva distribución
<i>Acar pusilla</i>	5	México: Guerrero (Isla la Roqueta y Acapulco) y Chile (Villalpando, 1986; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; GIF; WMSDB y WoRMS)	Troncones
<i>Pinctada mazatlanica</i>	1	México: Baja California Sur (Cabo San Lucas), Golfo de California, (Baja California e Isla San Marcos), Sonora (Isla Tiburón), Sinaloa (Mazatlán), Jalisco, Colima (Isla Socorro e Islas Revillagigedo), Michoacán, Guerrero (Zihuatanejo, Isla la Roqueta y Acapulco), Oaxaca; Perú: Piura (Pitía) y Ecuador: Islas Galápagos (Keen, 1971; Villalpando, 1986; Salcedo <i>et al.</i> , 1988; Villarroel <i>et al.</i> , 2000; Skoglund, 2001; Landa-Jaime <i>et al.</i> , 2007; Rodríguez, 2007; Zamorano <i>et al.</i> , 2008; Coan & Valentich-Scott, 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Troncones
<i>Plicatula penicillata</i>	1	México: Baja California (Bahía de los Ángeles), Baja California Sur (Santa Rosalía), Sonora (Guaymas y Bahía San Carlos), Sinaloa (Mazatlán), Jalisco, Guerrero (Isla la Roqueta y Acapulco) y Ecuador: Guayas (Santa Elena) (Keen, 1971; Villalpando, 1986; Skoglund, 2001; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Esqueda- González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Troncones
<i>Plicatulostrea anomioides</i>	8	México: Baja California (Puertecitos), Sonora (Guaymas), Sinaloa (Mazatlán) Jalisco (Cuastecomate), Guerrero (Acapulco) y El Salvador: La Libertad (La Libertad) (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Coan & Valentich-Scott, 2012; Esqueda- González <i>et al.</i> , 2014; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL y WoRMS)	Troncones
<i>Ctena clarionensis</i>	1	México: Baja California Sur (Rocas Alijos, Punta Entrada, Bahía Magdalena y la Paz), Golfo De California, Baja California (Isla Willard), Sonora (Bahía San Carlos) y Colima (Islas Revillagigedo, Rocas Alijos, Islas Clarion), Guerrero (Acapulco); Perú: Tumpes (Bocapan) y Costa Rica: Isla del Coco (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Coan & Valentich-Scott, 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; WMSDB y WoRMS)	Troncones

N = Número de ejemplares revisados por especialistas.

Tabla 8. Nuevos registros de especies de Bivalvia para la RMP 31 (Tlacoyunque).

Especie	N	Distribución conocida	Nueva distribución
<i>Brachidontes puntarenensis</i>	74	México: Golfo de California, Sonora (Puerto Peñasco); Costa Rica: Puntarenas, Golfo de Nicoya; Ecuador: Isla Galapagos y Perú: Yasila (Piura) (Keen, 1971; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Torreblanca- Ramírez <i>et al.</i> , 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Barra de potosí Protegida Barra de potosí Expuesta Isla Grande Las Gatas
<i>Acar pusilla</i>	72	México: Guerrero (Isla la Roqueta y Acapulco) y Chile (Villalpando, 1986; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; GIF; WMSDB y WoRMS)	Ojo de Agua Barra de potosí Protegida Las Gatas
<i>Saccostrea palmula</i>	6	México: Baja California Sur (Laguna San Ignacio), Golfo de California, Sonora (Bahía la Choya y Punta Peñasco), Sinaloa (Mazatlán), Guerrero (Troncones, Isla la Roqueta y Acapulco), Oaxaca (Puerto Escondido); Perú: Piura (Bayóvar); Costa Rica: Isla del Coco y Ecuador: Islas Galápagos (León-Herrera, 2000; Skoglund, 2001; Flores-Rodríguez <i>et al.</i> , 2003; Valdés-González <i>et al.</i> , 2004; Flores-Rodríguez <i>et al.</i> , 2007; Ortiz-Arellano & Flores-Campaña (2008); Barba-Marino <i>et al.</i> , 2010; Coan & Valentich-Scott, 2012; Esqueda- González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; Flores-Rodríguez <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Barra de potosí Protegida
<i>Striostrea prismatica</i>	4	México: Baja California Sur (La Paz); Sinaloa (Mazatlán), Guerrero (Isla la Roqueta y Acapulco), Oaxaca (Puerto Escondido) y Perú: Tumbes (Máncora) (Skoglund, 2001; Valdés-González <i>et al.</i> , 2004; Barba-Marino <i>et al.</i> , 2010; Coan & Valentich-Scott, 2012; Flores-Rodríguez <i>et al.</i> , 2012; Esqueda- González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; DL y WMSDB)	Las Gatas
<i>Chama coralloides</i>	95	México: Baja California Sur (Bahía Magdalena), Golfo de California, Baja California (Isla Ángel de la Guarda), Sonora (Bahía San Carlos), Sinaloa (Mazatlán), Guerrero (Acapulco), Oaxaca (Puerto Escondido) y Perú: Piura (El Alto), La Libertad (Isla Guañape) (Keen, 1971, Skoglund, 2001; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2010 y 2011; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Torreblanca- Ramírez <i>et al.</i> , 2012; Esqueda- González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; Flores-Rodríguez <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Piedra Tlacoyunque Barrita Barra de potosí expuesta Barra de Potosí Protegida Isla Grande Las Gatas
<i>Chama sordida</i>	2	México: Golfo de California (Roca Consag), Baja California Sur (Isla Danzante), Baja California (Isla Ángel de la Guarda), Sonora (Guaymas), Sinaloa (Mazatlán), Jalisco, Guerrero (Acapulco), Oaxaca y Ecuador: Manabí (Manta) y al sur de la Isla de Plata (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Landa-Jaime <i>et al.</i> , 2007; Rodríguez, 2007; Zamorano <i>et al.</i> , 2008; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2010 y 2011; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Esqueda- González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Ojo de Agua

N = Número de ejemplares revisados por especialistas.

En distribución geográfica, Flores- Rodríguez *et al.* (2012) registró cuatro especies de bivalvos con amplia distribución en el estado de Guerrero, similar a los reportes de las especies *I. janus* y *B. adamsianus* en este estudio.

Por su abundancia y distribución se consideró a las especies *I. janus* y *C. coralloides* como representativas de la zona intermareal rocosa, aunque también puede considerarse a *B. adamsianus* por su amplia distribución y su presencia en todos los sitios de muestreo a excepción de uno. Por otra parte, *C. palliopunctatus*, debido a su abundancia en los sitios de mayor exposición al oleaje, se consideró como especie representativa de los sitios de más alta energía producto del impacto de las olas.

Las especies raras se encontraron principalmente en playas cuya característica es la de tener exposición al oleaje medio o bajo, en los sitios donde el estrés ambiental (producto del impacto de las olas sobre el sustrato) es menor. *L. palmula* y *L. spatiosa* presentaron preferencias por ambientes muy específicos, como es el caso del sustrato de Maldonado, una plataforma formada por roca volcánica que puede ser perforada con facilidad y es un hábitat ideal para los organismos de los géneros *Lithophaga* o *Leiosolenus*, que degradan rocas o conchas de otros organismos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Paul Valentich-Scott, Ph. D., por su apoyo en corroborar la identificación de la mayoría de las especies y por sus valiosas correcciones.

Tabla 9. Nuevos registros de especies de Bivalvia para la RMP33 (Copala-Punta Maldonado).

Especie	N	Distribución conocida	Nueva distribución
<i>Brachidontes puntarenensis</i>	64	México: Golfo de California, Sonora (Puerto Peñasco) Costa Rica: Puntarenas, Golfo de Nicoya; Ecuador: Isla Galápagos y Perú: Yasila (Piura) (Keen, 1971; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Torreblanca-Ramírez <i>et al.</i> , 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Peñitas Casa de Piedra
<i>Brachidontes semilaevis</i>	325	México: Baja California Sur (La Paz) Golfo de Baja California, Sonora: Hermosillo (Bahía Kino, Cerro Prieto), Sonora (Puerto Peñasco) Sinaloa (Mazatlán), Michoacán, Guerrero (Troncones, Zihuatanejo, Isla la Roqueta y Acapulco); Panamá; Costa Rica; Golfo Dulce (Bajos Saladerito); Perú: Piura (Morro Santo Domingo, Yasila) y Ecuador: Punta Centinella e Isla Galápagos (Keen, 1971; Villalpando, 1986; Salcedo <i>et al.</i> , 1988; León-Herrera, 2000; Villarroel <i>et al.</i> , 2000; Skoglund, 2001; Flores, 2004; Valdés-González <i>et al.</i> , 2004; Flores-Rodríguez <i>et al.</i> , 2007; Coan & Valentich-Scott, 2012; Esqueda- González <i>et al.</i> , 2014, Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; Flores-Rodríguez <i>et al.</i> 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Peñitas Las Salinas Casa de Piedra II Playa Ventura
<i>Lithophaga aristata</i>	69	EE.UU: California (San Diego); México: Golfo de California, Baja California, Sonora (Puerto Peñasco y Puertecitos), Baja California Sur (Bahía Concepción) Sonora, Sinaloa (Mazatlán), Jalisco, Michoacán, Guerrero (Zihuatanejo y Acapulco), Oaxaca; Costa Rica: Isla de Coco, Panamá; Ecuador: Islas Galápagos y Chile: Iquique, Tarabacá (Keen, 1971; Salcedo <i>et al.</i> , 1988; Villarroel <i>et al.</i> , 2000; Skoglund, 2001; Zamorano <i>et al.</i> , 2008; Coan & Valentich-Scott, 2012; Torreblanca- Ramírez <i>et al.</i> , 2012; Esqueda- González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado Peñitas Las Salinas Casa de Piedra II Playa Ventura
<i>Lithophaga plumula</i>	19	EE.UU: California (Monterey); México: Golfo de California, Baja California (Bahía Calamajué), Sonora (Puertecitos, Guaymas), Sinaloa (Mazatlán), Colima (Manzanillo); Panamá; El Salvador; Colombia; Ecuador: Manabí (Punta Mala), Islas Galápagos; Filipinas y Australia (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Zamorano <i>et al.</i> , 2008; Coan & Valentich-Scott, 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; GIF; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado
<i>Leiosolenus spatiosus</i>	5	México: Golfo de California, Baja California (San Felipe), Sonora (Bahía la Choya), Sinaloa (Mazatlán), Guerrero (Zihuatanejo); Costa Rica (Piedra Sucia), Perú: Piura (Bocapan) (Keen, 1971, Salcedo <i>et al.</i> , 1988; Skoglund, 2001, Coan & Valentich-Scott, 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; GIF; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado
<i>Modiolus capax</i>	1	EE.UU: California (Santa Cruz); México: Golfo de California (Roca Consag), Baja California (Puertecitos), Sonora (Bahía la Choya), Sinaloa (Mazatlán), Jalisco, Michoacán, Guerrero (Zihuatanejo, Isla la Roqueta y Acapulco), Oaxaca; Perú: Piura (Paita) Islas Lobos de Tierra, Lambayenque y Ecuador: Islas Galápagos (Keen, 1971; Villalpando, 1986; Salcedo <i>et al.</i> , 1988; García, 1994; Villarroel <i>et al.</i> , 2000; Skoglund, 2001; Landa-Jaime <i>et al.</i> , 2007; Zamorano <i>et al.</i> , 2008; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2010; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Torreblanca- Ramírez <i>et al.</i> , 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Peñitas
<i>Acar gradata</i>	5	México: Golfo de California, Baja California (Laguna Ojo de Liebre, Puertecitos) Baja California Sur (Punta Abreojos), Sonora (Puerto libertad), Sinaloa (Mazatlán), Nayarit, Jalisco (Isla Revillagigedo), Colima, Michoacán, Guerrero (Isla la Roqueta, Zihuatanejo y Acapulco), Oaxaca; Panamá: Bahía San Martem, Isla de San José, Archipiélago de las Perlas; Costa Rica: Islas del Coco, Isla de Clipperton; Ecuador: Islas Galápagos y Perú: Negritos (Keen, 1971; Villalpando, 1986; Reguero & García-Cubas, 1988; Salcedo <i>et al.</i> , 1988; Román <i>et al.</i> , 1991; Landa & Arciniega, 1998; Skoglund, 2001; Landa-Jaime <i>et al.</i> , 2007; Rodríguez, 2007; Zamorano <i>et al.</i> , 2008; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado

Tabla 9 (continuación).

Especie	N	Distribución conocida	Nueva distribución
<i>Acar pusilla</i>	154	México: Guerrero (Isla la Roqueta y Acapulco) y Chile (Villalpando, 1986; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> 2014; GIF; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado
<i>Acar rostrae</i>	101	México: Baja California Sur (Laguna Ojo de Liebre), Golfo de California, Baja California (Bahía de los Ángeles), Sonora (Bahía San Carlos), Sinaloa (Mazatlán), Guerrero (Isla la Roqueta y Acapulco), Oaxaca, Colima (Isla Socorro e Isla Revillagigedo); Perú: Piura (Boyomar) y Ecuador: Isla Baltra, Islas Galápagos (Keen, 1971; Salcedo <i>et al.</i> , 1988; Skoglund, 2001; Zamorano <i>et al.</i> , 2008; Coan & Valentich-Scott, 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; GIF; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado
<i>Arca mutabilis</i>	4	México: Baja California (Laguna Ojo de Liebre y Bahía Magdalena), Sonora (Bahía la Choya) Sinaloa (Mazatlán) Colima (Manzanillo e Islas Revillagigedo), Guerrero (Troncones, Zihuatanejo, Isla la Roqueta y Acapulco); Perú: Piura (Paíta); Costa Rica: Isla del Coco; Colombia: Isla de Mal Pelo y Ecuador: Islas Galápagos (Keen, 1971; Villalpando, 1986; Salcedo <i>et al.</i> , 1988; Skoglund, 2001; Flores-Rodríguez <i>et al.</i> , 2003; Valdés-González <i>et al.</i> , 2004; Flores-Rodríguez <i>et al.</i> , 2007; Zamorano <i>et al.</i> 2008; Barba-Marino <i>et al.</i> , 2010; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2010; Torreblanca, 2010; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; GIF; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado
<i>Barbatia illota</i>	4	México: Baja California Sur (Laguna San Ignacio), Golfo de California (Isla Ángel de la Guarda), Baja California (Puertecitos) Sonora (La Libertad, Bahía la Choya, Bahía San Carlos y Punta Peñasco), Sinaloa (Mazatlán), Guerrero (Acapulco), Oaxaca; Perú: Piura (Lobitos) y Ecuador: Islas Galápagos (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Zamorano <i>et al.</i> , 2008; Coan & Valentich-Scott, 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado
<i>Barbatia reeveana</i>	1	EE.UU: California (San Pedro y San Diego) México: Baja California Sur (Isla de Cedros) Golfo de California, Sonora (Bahía la Choya y Bahía San Carlos), Sinaloa (Mazatlán), Manzanillo (Colima) Guerrero (Zihuatanejo y Acapulco) Oaxaca; Perú: Piura (Paíta); Costa Rica: Isla del Coco; Colombia: Isla Mal pelo e Islas Galápagos (Keen, 1971; Salcedo <i>et al.</i> , 1988; Skoglund, 2001; Zamorano <i>et al.</i> , 2008; Coan & Valentich-Scott, 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014, DL, GIF, WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado
<i>Plicatula penicillata</i>	10	México: Baja California (Bahía de los Ángeles), Baja California Sur (Santa Rosalía), Sonora (Guaymas, Bahía San Carlos), Sinaloa (Mazatlán), Jalisco, Guerrero (Isla la Roqueta y Acapulco) y Ecuador: Guayas (Santa Elena) (Keen, 1971; Villalpando, 1986; Skoglund, 2001; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Peñitas
<i>Plicatulostrea anomioides</i>	27	México: Baja California (Puertecitos), Sonora (Guaymas), Sinaloa (Mazatlán) Jalisco (Cuastecomate), Guerrero (Acapulco) y El Salvador: La Libertad (La Libertad) (Keen 1971, Skoglund 2001, Coan & Valentich-Scott, 2012, Galeana-Rebolledo <i>et al.</i> , 2012; Esqueda-González <i>et al.</i> , 2014; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL y WoRMS)	Punta Maldonado
<i>Ctena clarionensis</i>	3	México: Baja California Sur (Rocas Alijos, Punta Entrada, Bahía Magdalena y la Paz), Golfo De California, Baja California (Isla Willard), Sonora (Bahía San Carlos) Colima (Islas Revillagigedo, Rocas Alijos e Islas Clarion), Guerrero (Acapulco); Perú: Tumpes (Bocapan) y Costa Rica: Isla del Coco (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Coan & Valentich-Scott, 2012; Flores-Garza <i>et al.</i> , 2014; DL; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado

Tabla 9 (continuación).

Especie	N	Distribución conocida	Nueva distribución
<i>Chama coralloides</i>	171	México: Baja California Sur (Bahía Magdalena), Golfo de California, Baja California (Isla Ángel de la Guarda), Sonora (Bahía San Carlos), Sinaloa (Mazatlán), Guerrero (Acapulco), Oaxaca (Puerto Escondido) y Perú: Piura (El Alto), La Libertad (Isla Guañape) (Keen, 1971; Skoglund, 2001; Flores-Garza et al., 2010; Flores-Garza et al. 2011; Coan & Valentich-Scott, 2012, Galeana-Rebolledo et al. 2012; Torreblanca- Ramírez et al., 2012; Esqueda-González et al. 2014; Flores-Garza et al., 2014; Flores-Rodríguez et al. 2014; DL; GIF; WMSDB y WoRMS)	Punta Maldonado Peñitas Las Salinas Casa de Piedra I Casa de Piedra II Playa Ventura
<i>Chama mexicana</i>	66	México: Golfo de California (Puertecitos), Sonora, Sinaloa (Mazatlán), Guerrero (Acapulco), Oaxaca (Puerto Escondido) y al sur de Guatemala (Keen, 1971, Reguero & García-Cubas, 1988; Salcedo et al. 1988; García, 1994; Leon-Herrera, 2000; Villarroel et al., 2000; Skoglund, 2001; Flores-Garza et al., 2010; Coan & Valentich-Scott, 2012; Galeana-Rebolledo et al., 2012; Torreblanca- Ramírez et al., 2012; Flores-Garza et al., 2014; Flores-Rodríguez et al., 2014; GIF y WMSDB)	Punta Maldonado Peñitas Las Salinas Casa de Piedra I Casa de Piedra II Playa Ventura

N = Número de ejemplares revisados por especialistas.

REFERENCIAS

- ARRIAGA, C. L., V. AGUILAR, & J. M. ESPINOZA. 2009. Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad, Capital Natural de México. In: Dirzo R, R González Ignacio & J. March (Eds.). *Estado de conservación y tendencias de cambio*. Vol. 2. CONABIO. México, pp. 433-457.
- BAQUEIRO, E. & J. STUARDO. 1977. Observaciones sobre la biología, ecología y explotación de *Megapitaria aurantiaca* (Sowerby, 1831), *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) y *Dosinia ponderosa* (Gray, 1838) (Bivalvia: Veneridae) de la bahía de Zihuatanejo e isla Ixtapa, Guerrero, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología* 4:161-208.
- BAQUEIRO, E. & D. ALDANA. 2003. Patrones en la biología poblacional de moluscos de importancia comercial en México. *Biológica Tropical* 51 (4): 97-17.
- BARBA-MARINO, F., P. FLORES-RODRÍGUEZ, R. FLORES-GARZA, S. GARCÍA-IBÁÑEZ & D. G. ARANA-SALVADOR. 2010. Biodiversidad y zonificación de la comunidad de moluscos, que habita el sustrato rocoso en dos sitios con distinta acción del oleaje, en la Isla "La Roqueta", Acapulco, Guerrero, México. In: Rangel, L., J. Gamboa, W. Arriaga & W. M. Contreras. (eds.). *Perspectiva en Malacología Mexicana*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México, pp. 19-44
- COAN, E. V. & P. VALENTICH-SCOTT. 2012. *Bivalve seashells of tropical west America. Marine Bivalve mollusks from Baja California to Peru*. Santa Barbara Museum of Natural History Monographs. U.S.A. 1258 p.
- DISCOVER LIFE. 2015. disponible en línea en: <http://www.discoverlife.org> (consultado el 20 de octubre el 2015).
- ESQUEDA, M. C., E. RÍOS-JARA, J. E. MICHEL- MORFÍN, & V. LANDA-JAIME. 2000. The vertical distribution and abundance of gastropods and bivalves from rocky beaches of Cuastecomate Bay, Jalisco. *Biología Tropical* 48 (4): 765-775.
- ESQUEDA-GONZÁLEZ, M. C., E. RÍOS-JARA, J. E. MICHEL- MORFÍN, C. GALVÁN VILLA & F. RODRÍGUEZ ZARAGOZA. 2014. Species composition, richness, and distribution of marine bivalve molluscs in Bahía de Mazatlán, México. *ZooKeys* 399: 43-69. DOI: 10.4236/OJE.2014.415080.
- FLORES-GARZA, R., P. FLORES-RODRÍGUEZ, S. GARCÍA-IBÁÑEZ & A. VALDÉS-GONZÁLEZ. 2007. Demografía del caracol *Plicopurpura pansa* (Neotaenioglossa: Muricidae) y constitución de la comunidad malacológica asociada en Guerrero, México. *Biología Tropical* 55 (3-4): 867-887.
- FLORES-GARZA, R., C. TORREBLANCA-RAMÍREZ, P. FLORES-RODRÍGUEZ, S. GARCÍA-IBÁÑEZ, & L. GALEANA-REBOLLEDO. 2010. Riqueza y Análisis de la comunidad malacológica en el mesolitoral rocoso de la playa Tlacopanocha, Acapulco, Guerrero. In: Rangel, L., J. Gamboa, W. Arriaga & W. M. Contreras. (Eds.). *Perspectiva en Malacología Mexicana*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México, pp. 121-138.
- FLORES-GARZA, R., C. TORREBLANCA-RAMÍREZ, P. FLORES-RODRÍGUEZ, S. GARCÍA-IBÁÑEZ, L. GALEANA-REBOLLEDO, A. VALDÉS-GONZÁLEZ, & A. ROJAS-HERRERA. 2011. Mollusca community from a rocky intertidal zone in Acapulco, México. *Biodiversity* 12 (3): 144-153. DOI: 10.1080/14888386.2011.625520.
- FLORES-GARZA, R., L. GALEANA-REBOLLEDO, A. REYES-GÓMEZ, S. GARCÍA-IBÁÑEZ, C. TORREBLANCA-RAMÍREZ, P. FLORES-RODRÍGUEZ & A. VALDÉS-GONZÁLEZ. 2012. Polyplacophora species richness, composition and distribution of its community associated with the intertidal rocky substrate in the marine priority region No. 32 in Guerrero, Mexico *Open Journal of Ecology* 2 (4): 192-201. DOI: 10.4236/oje.2012.24023.
- FLORES-GARZA, R., V. LÓPEZ-ROJAS, P. FLORES-RODRÍGUEZ & C. TORREBLANCA-RAMÍREZ. 2014. Diversity, Distribution and Composition of the BIVALVIA Class on the Rock Intertidal Zone of Marine Priority Region 32, Mexico. *Open Journal of Ecology* 4: 961-973. DOI: 10.4236/oje.2014.415080.
- FLORES, R. P. 2004. Estructura de la comunidad de moluscos del mesolitoral superior en las playas de facie rocosa del Estado de Guerrero,

- México. Tesis de Doctorado (Ciencias Biológicas), Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, Nuevo León, México. 207 p.
- FLORES-RODRÍGUEZ, P., R. FLORES-GARZA, S. GARCÍA-IBÁÑEZ, & A. VALDÉS-GONZÁLEZ. 2003. Riqueza y diversidad de la malacofauna del mesolitoral rocoso de la Isla la Roqueta, Acapulco, Guerrero, México. *Ciencia Revista de Investigación Científica* (11): 5-14.
- FLORES-RODRÍGUEZ, P., R. FLORES-GARZA, S. GARCÍA-IBÁÑEZ & A. VALDÉS-GONZÁLEZ. 2007. Variación en la diversidad malacológica del mesolitoral rocoso en Playa Troncones La Unión, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 33S-40S.
- FLORES-RODRÍGUEZ, P., F. BARBA-MARINO, R. FLORES-GARZA, S. GARCÍA-IBÁÑEZ & D. G. ARANA-SALVADOR. 2010. Análisis de la comunidad de moluscos del mesolitoral rocoso en playa Corralero, Oaxaca, México. In: Rangel, L., J. Gamboa, W. Arriaga & W. M. Contreras (Eds.). *Perspectiva en Malacología Mexicana*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México, pp. 77-87.
- FLORES-RODRÍGUEZ, P., R. FLORES-GARZA, S. GARCÍA-IBÁÑEZ, A. VALDÉS-GONZÁLEZ, J. VIOLANTE-GONZÁLEZ, E. SANTIAGO CORTÉS, L. GALEANA-REBOLLEDO & C. TORREBLANCA-RAMÍREZ. 2012. Mollusk Species Richness on the Rocky Shores of the State of Guerrero, Mexico, as Affected by Rains and Their Geographical Distribution. *Natural Resources* 3: 248-260 DOI: 10.4236/nr.2012.34032.
- FLORES-RODRÍGUEZ, P., R. FLORES-GARZA, S. GARCÍA-IBÁÑEZ, C. TORREBLANCA-RAMÍREZ, L. GALEANA-REBOLLEDO & E. SANTIAGO CORTÉS. 2014. Mollusks of the Rocky Intertidal Zone at Three Sites in Oaxaca, Mexico. *Open Journal of Ecology* 4: 326-337. DOI: 10.4236/ojms.2014.44029.
- GALEANA-REBOLLEDO, L., R. FLORES-GARZA, C. TORREBLANCA-RAMÍREZ, S. GARCÍA-IBÁÑEZ, P. FLORES-RODRÍGUEZ & V. LÓPEZ-ROJAS. 2012. Biocenosis de Bivalvia y Polyplacophora del intermareal rocoso en playa Tlacopanocha, Acapulco, Guerrero, México. *Latin American Journal of Aquatic Research* 40 (4): 943-954. DOI: 10.3856/vol40-issue4-fulltext-11.
- GARCÍA, E. 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía - UNAM, México. 246 p.
- GARCÍA, A. 1994. Fauna malacológica de acompañamiento del caracol *Purpura pansa* (Gould1853) en la zona mesolitoral de la isla Roqueta, Acapulco, Guerrero, México. Tesis de Licenciatura (Ecología Marina), Escuela Superior de Ecología Marina, UAGro, Guerrero, México. 97 p.
- GBIF (GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY) 2015. Disponible en línea en <http://www.gbif.org/> (consultado el 20 de octubre el 2015).
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). 2010. Pesca y Acuicultura. Censos económicos 2009. México. 79 p.
- HOLGUÍN, O. E. & A. C. GONZÁLEZ-PEDRAZA. 1989. *Moluscos de la franja costera del Estado de Oaxaca, México*. Atlas No. 7 CICIMAR. Instituto Politécnico Nacional. Dirección de Bibliotecas y Publicaciones. México, D.F. 221 p.
- HOLGUÍN-QUIÑONES, O. E. & A. C. GONZÁLEZ-PEDRAZA. 1994. *Moluscos de la franja costera de Michoacán, Colima y Jalisco, México*. Dirección de Bibliotecas y Publicaciones. Instituto Politécnico Nacional. México. 133 p.
- KEEN, A. M. 1971. *Sea shells of tropical West America*. Stanford University Press. EE. UU. 1064 p.
- LANDA-JAIME, V. & J. ARCINIEGA-FLORES. 1998. Macromoluscos bentónicos de fondos blandos de la plataforma continental de Jalisco y Colima, México. *Ciencias Marinas* 24 (2): 155-167.
- LANDA-JAIME, V., M. CRUZ-URZUA, J. E. MICHEL-MORFÍN, J. ARCINIEGA-FLORES, R. FLORES-VARGAS & C. AMEZCUA. 2007. Guía ilustrada para la identificación de moluscos intermareales y de arrecifes en la Bahía de Tenacatita, Jalisco. In: Ríos-Jara, E., M. C. Esqueda-González & C. M. Galván-Villas (Eds.). *Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México*. Universidad de Guadalajara. México, pp. 63-64.
- LEÓN-HERRERA, M. 2000. Listado taxonómico de las especies de moluscos en la zona central del litoral Oaxaqueño. *Ciencia y Mar* 12: 49-51.
- MAEDA-MARTÍNEZ, A. N. 2008. Estado actual del cultivo de bivalvos en México. In: Lovatelli, A., A. Farias & I. Uriarte (Eds.). *Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina*. Taller Técnico Regional de la FAO. 20-24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. pp. 91-100.
- MOTTANA, A., R. CRESPI & G. LIBORIO. (1980). *Guía de minerales y rocas*, segunda edición. Grijalbo, Barcelona. 605 p.
- ORTÍZ-ARELLANO, M.A & FLORES-CAMPAÑA, L. M. (2008) Catálogo descriptivo e ilustrativo de los moluscos de la zona intermareal de las Islas de Navachistes, Sinaloa, México. Universidad Autónoma de Sinaloa y Gobierno del Estado de Sinaloa-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Mazatlán.
- REGUERO, M. & A. GARCÍA-CUBAS. 1988. Moluscos de la plataforma continental de Nayarit: sistemática y ecología (cuatro campañas oceanográficas). *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología* 16 (1): 33-58.
- RODRÍGUEZ, U. M. 2007. Guía ilustrada para la identificación de Moluscos intermareales y de arrecife de playa Mora, Tenacatita, Jalisco. Tesis de licenciatura (Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios), Centro Universitario de la Costa del Sur, U. de G., Jalisco, México. 139 p.
- ROMÁN, R., F. CRUZ & A. L. IBÁÑEZ. 1991. Observaciones ecológicas de los moluscos de la zona intermareal de la bahía de Chamela, Jalisco, México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoológica* 62: 17-32.
- SALCEDO, M. S., G. GREEN, A. GAMBOA & P. GÓMEZ. 1988. Inventario de macroalgas y macroinvertebrados bénticos, presentes en áreas rocosas de la región de Zihuatanejo, Guerrero, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología* 15: 73-96.
- SKOGLUND, K. 2001. Additions to the Panamic Province Bivalve (Mollusca) literature 1971 to 2000. *The Festivus* 32 (Supplement) : 1-119.

- TORREBLANCA C. 2010. Análisis de la diversidad y estructura de la comunidad de moluscos del mesolitoral rocoso de Acapulco, Guerrero. Tesis de licenciatura (Ecología Marina), Unidad Académica de Ecología Marina, UAGro, México. 206 p.
- TORREBLANCA-RAMÍREZ C., R. FLORES-GARZA, P. FLORES-RODRÍGUEZ, S. GARCÍA-IBÁÑEZ & L. GALEANA-REBOLLEDO. 2012. Riqueza, composición y diversidad de la comunidad de moluscos asociada al sustrato rocoso intermareal de playa Parque de la Reina, Acapulco, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47 (2): 283-294. DOI: 10.4067/S0718-19752012000200010.
- VALDÉS-GONZÁLEZ, A., P. FLORES-RODRÍGUEZ, R. FLORES-GARZA & S. GARCÍA-IBÁÑEZ. 2004. Molluscan communities of rocky intertidal zone at two sites with different wave action on Isla la Roqueta, Acapulco, Guerrero, México. *Journal of Shellfish Research* 23: 875-880.
- VILLALPANDO, E. 1986. Diversidad y zonación de moluscos de superficie rocosa, Isla Roqueta, Acapulco, Guerrero. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México. 150 p.
- VILLARROEL, M. M., A. MAGAÑA, B. GÓMEZ, O. DEL RÍO, J. LUCIO & J. SÁNCHEZ. 2000. Diversidad de moluscos en el litoral rocoso de Michoacán, México. *Mexicoa* 2: 54-63.
- WILKINSON T., E. WIKEN, J. BEZAURY CREEL, T. HOURIGAN, T. AGARDY, H. HERRMANN, L. JANISHEVSKI, C. MADDEN, L. MORGAN Y M. PADILLA, 2009. *Ecorregiones marinas de America del Norte*. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal. 200 p.
- WoRMS-WORLD REGISTER OF MARINE SPECIES. 2015. Disponible en línea en: <http://www.marinespecies.org/index.php> (consultado el 20 de octubre del 2015).
- WMSDB-WORLDWIDE MOLLUSC SPECIES DATA BASE. 2013. Disponible en línea en: <http://www.bagniliggia.it/WMSD/WMSDhome.htm> (consultado el 20 de octubre del 2015)
- ZAMORANO, P., N. BARRIENTOS-LUJÁN & S. RAMÍREZ-LUNA. 2008. Malacofauna del infralitoral rocoso de Agua Blanca, Santa Elena Cozoaltepec, Oax. *Ciencia y Mar* 12 (36): 19-33.

Monitoreo de una planta tratadora de aguas residuales mediante pruebas de toxicidad aguda con el cladócero *Daphnia magna* y el rotífero de agua dulce *Lecane quadridentata*

Monitoring of a water treatment plant using acute toxicity tests with the cladoceran *Daphnia magna* and the freshwater rotifer *Lecane quadridentata*

Gerardo Guerrero-Jiménez¹, Roberto Rico-Martínez¹ y Marcelo Silva-Briano²

¹Centro de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Avenida Universidad 940, Aguascalientes, Ags., 20100. México

²Centro de Ciencias Básicas, Departamento de Biología, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. México

e-mail: rrico@correo.uaa.mx

Recibido: 19 de enero de 2016.

Aceptado: 18 de enero de 2017.

Guerrero-Jiménez G., R. Rico-Martínez y M. Silva-Briano. 2017. Monitoreo de una planta tratadora de aguas residuales mediante pruebas de toxicidad aguda con el cladócero *Daphnia magna* y el rotífero de agua dulce *Lecane quadridentata*. *Hidrobiológica* 27 (1): 87-92.

RESUMEN

Antecedentes. Los parámetros fisicoquímicos y pruebas de toxicidad aguda sirven para valorar las condiciones del agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo con la normativa de la NOM-003-SEMARNAT-1997. **Objetivos.** Conocer la calidad del agua del influente y efluente de la planta tratadora de aguas residuales de la Universidad Autónoma de Aguascalientes durante el ciclo anual 2007-2008, fue el objetivo principal de esta investigación. **Métodos.** Se midieron los parámetros físico-químicos, también se realizaron pruebas de toxicidad aguda con el cladócero *Daphnia magna* y el rotífero *Lecane quadridentata*, quincenalmente. **Resultados.** Los valores de concentración letal media en el influente fueron de 25.71 y 3.88 unidades de toxicidad para *L. quadridentata*, mientras que para *D. magna* fueron de 31.51 y 3.17 unidades de toxicidad. El efluente mostró valores de concentración letal media de 60.71 y 1.64 unidades de toxicidad con *L. quadridentata* y para *D. magna* no se presentó toxicidad. **Conclusiones.** La planta tratadora de aguas residuales de la Universidad Autónoma de Aguascalientes durante el periodo 2007-2008 cumplió con los parámetros mexicanos de calidad de salud del agua después de su tratamiento.

Palabras clave: Cladóceros, efluente, influente, pruebas de toxicidad aguda, rotíferos.

ABSTRACT

Background. Monitoring of physicochemical parameters and acute toxicity tests allow us to measure water quality of the influent and effluent of wastewater treatment plants in accordance with the parameters established by the NOM-003-SEMARNAT-1997. **Goals.** We measured water quality of the influent and effluent of the wastewater treatment plant of the Autonomous University of Aguascalientes during 2007-2008. **Methods.** Every 15 days physicochemical parameters were taken and acute toxicity tests were conducted with the cladoceran *Daphnia magna* and the rotifer *Lecane quadridentata*. **Results.** The influent showed median lethal concentration to be between 25.71 and 3.88 toxic units with *L. quadridentata*, while with *D. magna* the median lethal concentration was between 31.51 and 3.17 toxic units. The effluent showed median lethal concentration to be between 60.71 and 1.64 toxic units with *L. quadridentata*, whereas the *D. magna* showed no toxicity. **Conclusions.** We concluded that the wastewater treatment plant of the Autonomous University of Aguascalientes in 2007-2008 fulfilled Mexico's water quality criteria after treatment.

Key words: Acute toxicity test, cladoceran, effluent, influent, rotifer.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural que se está agotando rápidamente. Por esta razón es preciso implementar estrategias para su reúso y su mejor aprovechamiento. Las plantas tratadoras de agua reciclada son una alternativa que existe en México, ya que es posible volver a usar el agua contaminada proveniente de los drenajes para ciertas actividades. Sin embargo, esto último sólo depende de la reglamentación de cada ciudad.

En el estado de Aguascalientes los efluentes de las plantas tratadoras vierten sus aguas principalmente al río San Pedro, o bien, son colectadas en pequeñas presas para su reúso en el riego de áreas verdes de la ciudad, razón que hace necesario cumplir con parámetros que establezcan los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público de acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1997 (1997).

La Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) cuenta con una planta tratadora que recibe las descargas de la colonia Fátima y Bosques del Prado, además de colectar descargas de la propia universidad (información personal del ingeniero Benjamín Vargas Salado, encargado del funcionamiento de la planta de tratamiento). El agua, después de ser tratada, algunas veces es utilizada para el riego de las áreas verdes de la UAA, aunque generalmente sólo es acumulada en un pequeño bordo y en temporadas de lluvia, cuando los niveles del agua suben, el agua tratada llega hasta el cauce principal del río San Pedro. De acuerdo con la reglamentación de la NOM-003-SEMARNAT-1997 (1997), se midieron los parámetros fisicoquímicos del agua para determinar las condiciones. Según Welch *et al.* (1998), con este análisis se puede saber la magnitud del daño directo a un ecosistema acuático; por lo tanto, resulta fundamental el estudio paramétrico, al que hay que sumarle las pruebas de toxicidad que se realizaron.

Las pruebas de toxicidad permiten evaluar el grado de afectación que una sustancia química tiene en organismos vivos (Jaramillo *et al.*, 2009). En el estado de Aguascalientes, México, se han empleado diversos bioindicadores para hacer una evaluación preliminar del contenido tóxico de diversas descargas de los parques industriales del estado con pruebas de inhibición de la ingestión con neonatos de *D. magna* Straus (Rico-Martínez *et al.*, 2000); pruebas de toxicidad aguda con *D. magna*, *D. pulex* Leydig, 1860 y *Simocephalus vetulus* (Müller, 1776) (Rico-Martínez, 2000). Asimismo, se han monitoreado los niveles de toxicidad que afectan al río San Pedro en el municipio de Aguascalientes con *D. magna* y *Lecane quadridentata* (Ehrenberg, 1832). Además, se han analizado cambios en la actividad enzimática de las esterasas y fosfolipasa A2 en el rotífero dulceacuícola *L. quadridentata* (Santos-Medrano *et al.*, 2007). Aun cuando todos estos estudios específicos sobre toxicidad en microorganismos no son estrictamente necesarios para la reglamentación legal de la calidad de agua en México, sí existe la norma NMX-AA-087-SCFI-2010, que establece el método de prueba de toxicidad aguda con *Daphnia magna* (Crustacea-Cladocera).

Con el fin de tener un mejor panorama sobre el funcionamiento y calidad del agua que produce la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAA, en esta investigación se analizó y evaluó el influente y efluente, mediante pruebas de toxicidad aguda *in situ* y *ex situ*, así como la medición de los parámetros fisicoquímicos durante el ciclo anual 2007-2008.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en el efluente e influente de la planta tratadora de la Universidad Autónoma de Aguascalientes y el laboratorio de Toxicología del Departamento de Química de la UAA, ubicado en el edificio 60, en Aguascalientes, México. Las pruebas toxicológicas se realizaron, tanto en el laboratorio (*ex situ*) como en el cuerpo de agua (*in situ*), para comparar las diferencias que existen entre los resultados en ambas pruebas.

Mantenimiento del cultivo de *Lecane quadridentata* y *Daphnia magna*. Los cultivos se mantuvieron en una cámara bioclimática Refrimaq, modelo PVR, 400, con un fotoperiodo de 16:8 Luz: Oscuridad (L:O), en un medio de agua semidura (medio EPA) (U.S. Environmental Protection Agency, 1985), con un pH de 7.5, a 25 °C para *L. quadridentata*, y a 20 °C para *D. magna*. Estos invertebrados dulceacuícolas fueron alimentados con las algas *Nannochloris oculata* (Droop) Hibberd y *Pseudokirmeriella subcapita* (Korshikov) F. Hindák, respectivamente, con una concentración de 1×10^6 células/mL.

Montaje del experimento para pruebas *in situ* Para la elaboración de los frascos del muestreo *in situ*, se utilizó la técnica propuesta por Chappie y Burton (1997), que consiste en cortar de la parte central de un frasco de plástico de aproximadamente 200 mL, un cuadrado de 2 cm, y cubrir el hueco con malla de 50 μ m para evitar la salida de los organismos.

Se colocaron seis frascos, tres de ellos en el influente y los tres restantes en el efluente de la planta tratadora de la UAA. Durante el transcurso del experimento se colocaron en los mismos puntos seleccionados. Para las pruebas se colocaron diez organismos neonatos del cladóceros *Daphnia magna* por frasco. Posteriormente, se expusieron durante 48 horas en contacto con el agua para proceder al conteo de los organismos vivos y determinar la mortalidad. Esta metodología se realizó quincenalmente durante todo un ciclo anual empezando en febrero del 2007 y terminando en enero del 2008. En caso de obtener valores de concentración letal media (CL_{50}) se procedía a realizar las diluciones de 50%, 25%, 12.5%, 6.25%, de acuerdo a la NMX-AA-087-SCFI-2010 (2010).

Pruebas *ex situ* para *Lecane quadridentata*. Se empleó el protocolo de Pérez-Legaspi y Rico-Martínez (2001) con breves modificaciones que se mencionan a continuación. En una placa de 24 pozas de poliestireno se separaron huevos partenogénicos 24 h antes del experimento. Al día siguiente, se tomaron los neonatos de menos de 24 h y se realizaron tres réplicas de diez organismos por poza, exponiéndolos a 1 mL de muestra. Se incubaron durante 48 h a 25 °C con un fotoperiodo de 16:8, L:O en ausencia de alimento. Después se contó el número de organismos muertos o inmóviles con la ayuda de un microscopio estereoscópico y se determinó el porcentaje de mortandad. En caso de presentar CL_{50} , se realizaron las diluciones de 50%, 25%, 12.5%, y 6.25%.

Análisis de los resultados. El análisis de los resultados se realizó con base en una regresión lineal (Statsoft, Inc., 2001) para establecer el valor de CL_{50} en porcentaje. Posteriormente, mediante la fórmula $100/CL_{50}$, se obtuvo el valor de unidades de toxicidad (U.T.) aguda para establecer las muestras que presentaron mayor nivel de toxicidad aguda.

Para la colección de parámetros fisicoquímicos, como pH, potencial de óxido-reducción (POR), temperatura, oxígeno disuelto (OD), conductividad y total de sólidos disueltos (TSD), para las pruebas *in situ* y *ex situ* se empleó la sonda Yellow Spring Instruments Modelo 556 MPS.

RESULTADOS

Los promedios de los parámetros fisicoquímicos para el efluente se encuentran dentro de las normas que establece la NOM-003-SEMARNAT-1997 (1997), mientras que para el influente en el caso de oxígeno disuelto y del potencial óxido reducción rebasa los niveles marcados por la norma.

Los valores de la Tabla 1 evidencian el funcionamiento de la planta tratadora por medio de los valores en los parámetros fisicoquímicos de llegada y de salida. Los niveles de temperatura, conductividad y TSD bajan, y por el contrario los niveles de OD aumentan. El pH se basicifica y el POR aumenta, indicando una mejoría en la calidad del agua después del tratamiento.

Los análisis de CL₅₀, así como los de U.T. aguda en *D. magna* y *L. quadridentata* demostraron una disminución de la toxicidad del agua después del tratamiento de la misma (Tablas 2-3).

La Tabla 2 muestra los valores de CL₅₀ y las U.T. aguda que se obtuvieron quincenalmente durante todo el ciclo anual, desde febrero del 2007 hasta enero del 2008, así como el promedio anual. También se resalta que los meses de octubre, noviembre y diciembre fueron los que presentaron los valores más bajos en U.T. aguda.

La Tabla 2 muestra los valores de CL₅₀ y las U.T. aguda que se obtuvieron quincenalmente durante todo el ciclo anual (febrero del 2007-enero del 2008), así como el promedio anual. Se observaron niveles bajos de toxicidad aguda en los meses de noviembre, diciembre y enero.

La Figura 1 muestra una correlación negativa sobre los valores de toxicidad del agua respecto al volumen de agua tratado que se procesó al mes. Se observó una correlación negativa entre los valores de toxicidad

aguda contra el volumen de agua obtenido por mes, es decir, a mayor volumen de agua tratada, mayores fueron los valores de toxicidad.

La Tabla 3 muestra los valores de CL₅₀ y las U.T. aguda que se obtuvieron quincenalmente durante todo el ciclo anual, a partir de febrero del 2007 hasta enero del 2008, así como el promedio anual. El efluente mostró que la toxicidad aumenta cuando los niveles de temperatura hacen que se evapore el agua y disminuya el volumen de la misma concentrando más los tóxicos que pudieran estar en la columna de agua.

DISCUSIÓN

La planta de tratamiento de aguas residuales de la UAA cumple con los valores permisibles establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997 (1997) para los parámetros fisicoquímicos medidos.

En este trabajo los valores de temperatura fluctuaron entre 15 y 28 °C dependiendo de la época del año. La temperatura es una variable que determina la rapidez con la que se puede degradar la materia orgánica en un cuerpo de agua. De acuerdo con Romero (2004), la tasa de crecimiento microbial se duplica a 10 °C y continua así hasta una temperatura máxima de 35 a 38 °C, por otro lado la Comisión Nacional del Agua (1996) añade que a temperaturas mayores de 20 °C la eficiencia bacteriana para la remoción de materia orgánica alcanza su valor máximo con 60% de remoción, además, Esparza (1995) establece que los rangos para la temperatura del efluente de una planta tratadora con funcionamiento de reutilización en el riego y contacto físico deben estar dentro de 15.5 °C y 35 °C, por lo que se puede concluir que la temperatura del agua de la planta tratadora se encuentra en rangos óptimos para la salud del cuerpo de agua en el efluente.

Tabla 1. Promedio de los parámetros físicos y químicos del efluente e influente planta tratadora de agua de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, medidos con la sonda Yellow Spring Instruments Modelo 556 MPS.

Lugar de muestreo	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	TSD (g/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	pH	POR
Influente	24.3	1231.714	0.799	3.64	7.89	-159.01
Efluente	22.6	971.857	0.639	8.02	7.84	41.762

TSD = Sólidos Totales Disueltos. POR= Potencial Óxido Reducción.

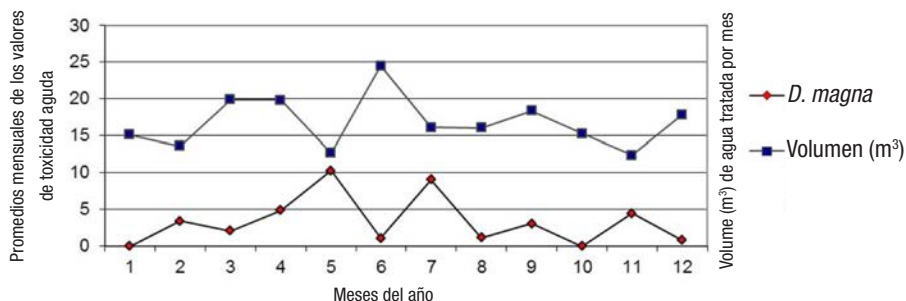


Figura 1. Correlación inversa entre Unidades de Toxicidad (U.T.) aguda (promedio mensual) y volumen total de agua tratada por mes de la planta tratadora de agua de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, usando el cladócero *D. magna* en el influente.

Tabla 2. Valores quincenales de Concentración Media Letal (CL50) en porcentaje y en Unidades de Toxicidad (U.T.) aguda del influente de la planta tratadora de agua de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, así como el promedio anual para el cladóceros *D. magna* y el rotífero *L. quadridentata*.

Fecha de muestreo	<i>Daphnia magna</i>		<i>Lecane quadridentata</i>	
	CL50 (%)	U.T. aguda (100/CL50)	CL50	U.T. aguda (100/CL50)
1. 26/02/07	24.7	4.048	14.36	6.963
2. 07/03/07	35.35	2.828	47.78	2.092
3. 13/03/07	0	0	24.41	4.096
4. 27/03/07	23.86	4.191	16.7	5.988
5. 18/04/07	56.74	1.762	25.98	3.849
6. 23/05/07	12.41	8.058	25.1	3.984
7. 30/05/07	5.94	16.83	21	4.761
8. 04/07/07	26.54	3.767	26.93	3.713
9. 24/07/07	45.49	2.198	29.85	3.350
10. 08/08/07	0	0	41.69	2.398
11. 24/08/07	10.76	9.293	17.1	5.847
12. 04/09/07	11.25	8.888	26.27	3.806
13. 24/09/07	43.68	2.289	21.07	4.746
14. 03/10/07	0	0	18.824	5.312
15. 23/10/07	76.35	1.309	44.075	2.268
16. 05/11/07	20.72	4.825	0	0
17. 20/11/07	0	0	0	0
18. 05/12/07	0	0	0	0
19. 18/12/07	16.77	5.963	12.566	7.957
20. 09/01/08	33.622	2.974	0	0
21. 25/01/08	60.098	1.663	23.533	4.249
Promedio	31.51	3.17	25.71	3.88

NOTA: En sombreado se señala el periodo donde se presentó la menor toxicidad durante el ciclo anual 2007-2008.

Los valores de conductividad se mantienen estables hasta el periodo de septiembre - noviembre donde alcanza valores de 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el influente y 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el efluente, a pesar de ello los límites máximos permisibles son de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; este rango ya tiene significancia y suele causar problemas para la vida acuática (Esparza, 1995).

En el caso del TSD, el valor más alto fue de 0.945 g/L para el influente, el cual no supera 1 g/L, que es el límite permisible por la NOM-003-SEMARNAT-1997. Sin embargo, para el efluente los valores promedio se encontraron en 0.639 g/L, cuando deberían ser menores a 0.500 g/L para cuerpos de agua naturales de acuerdo con WHO (2003) y para Esparza (1995), menores a 0.300 g/L después de ser tratada el agua. A pesar de tener un valor promedio fuera de norma, los valores de OD por encima de 7 mg/L, sugieren que los valores altos en estiaje no son consecuencia de un mal proceso en las aguas residuales, sino que después de ser tratada el agua, el bordo aporta materia orgánica que incrementa los valores de TDS, ya que a valores altos de OD los TDS necesariamente tienen que disminuir.

El oxígeno disuelto es un parámetro que se ve afectado por la elevación, temperatura, profundidad y sólidos disueltos (Esparza, 1995;

Anónimo, 2008), también es una variable que determina en gran medida la supervivencia de la microfauna acuática. A pesar de las variaciones durante el ciclo anual, la Tabla 1 demuestra la eficiencia de remoción de sólidos disueltos, decremento de la temperatura y conductividad, así como aumento en el potencial óxido reducción; estos parámetros afectarán directamente en el incremento del oxígeno disuelto en la parte del efluente, en donde de tener valores de 3.64 mg/L se estabiliza en el efluente con valores de 8.026 mg/L, estos resultados se encuentra por encima de 4.0 mg/L que es el valor de cuerpos de agua con problemas de eutrofización (Goyenola, 2007).

El pH es un parámetro que afecta directamente en la salud de los microorganismos acuáticos pudiendo causar su muerte, aunque los rangos que se obtuvieron para el efluente como influente se encuentran entre siete y ocho, dentro del rango de tolerancia que es entre 6.6 a 8.5 de acuerdo con Jiménez y Ramos (1997).

Para el potencial óxido reducción, sólo se destacan los valores negativos que se muestran en la Tabla 1, estos indican que tiene una propiedad reductora, es decir, que existe poco oxígeno disuelto y que posterior al procesamiento del agua aumenta el oxígeno disuelto significativamente.

Tabla 3. Valores quincenales de Concentración Media Letal (CL50) en porcentaje y en Unidades de Toxicidad (U. T.) aguda del efluente de la planta tratadora de agua de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, así como el promedio anual para el rotífero *L. quadridentata*.

Fecha de muestreo	CL50	U.T. aguda (100/CL50)
1. 26/02/07	0	0
2. 07/03/07	76.11	1.313
3. 13/03/07	28.69	3.485
4. 27/03/07	59.41	1.683
5. 18/04/07	99.37	1.006
6. 23/05/07	19.26	5.192
7. 30/05/07	0	0
8. 04/07/07	0	0
9. 24/07/07	81.47	1.227
10. 08/08/07	0	0
11. 24/08/07	0	0
12. 04/09/07	0	0
13. 24/09/07	0	0
14. 03/10/07	0	0
15. 23/10/07	0	0
16. 05/11/07	0	0
17. 20/11/07	0	0
18. 05/12/07	0	0
19. 18/12/07	0	0
20. 09/01/08	0	0
21. 25/01/08	0	0
Promedio	60.71	1.64

NOTA: En el sombreado se señala el periodo donde se presentó la mayor toxicidad durante el ciclo anual 2007-2008.

El análisis para determinar los niveles normales en los parámetros también ayudó para corroborar que la mortandad de los organismos se debió a los compuestos tóxicos que se encontraban en el agua, y no por valores extremos en el pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y total de sólidos disueltos. Aunque es necesario señalar que los rotíferos y algunas especies de cladóceros pueden vivir en condiciones donde haya poco oxígeno disuelto (Nogrady *et al.*, 1993; Pennak, 1989), por otro lado el cladóceros *D. magna* puede soportar rangos de 4 a 10 en pH según Thorp y Covich (2010) y el rotífero *L. quadridentata* de 6.5 a 8.5 de pH (Nogrady *et al.*, 1993), por tanto los resultados obtenidos por las pruebas de toxicidad sugieren que la muerte de los organismos en los bioensayos de toxicidad de CL₅₀ son causa de los componentes tóxicos del agua.

Los experimentos de toxicidad aguda con *D. magna* y *L. quadridentata* se realizaron *in situ* y *ex situ* con el fin observar las afectaciones en una simulación lo más allegada a un hábitat natural, sin embargo, para el rotífero *L. quadridentata* sólo se pudo realizar la prueba de forma *ex situ* ya que el tamaño del organismo complicaba el conteo de los organismos muertos para las pruebas de CL₅₀ y U.T.

Los resultados de los valores del influente durante el ciclo anual mostraron que los valores de toxicidad más bajos fueron en los meses de noviembre a enero para *L. quadridentata*, mientras que para *D. magna* los valores más bajos se registraron de octubre a diciembre (Tablas 1-2). Estos resultados se explican por la sedimentación de los compuestos tóxicos por un decremento en la temperatura. Aunque los valores ligeramente menores en el CL₅₀ y mayores en las U.T para estos meses en *D. magna* son explicados por medio del contexto metodológico, ya que en *L. quadridentata* se realizaron las pruebas *ex situ* y en *D. magna* fueron pruebas *in situ*. Por lo cual, en las pruebas *ex situ* se tomaba el agua del influente y se exponían a los organismos durante 48 horas, rango de tiempo en el cual los compuestos se pueden sedimentar, mientras que en *D. magna* fueron expuestos al cauce del influente, por lo que el flujo de agua los ponía en constante exposición con los tóxicos. Además, si se observa la Figura 1, es claro que el volumen del agua tratada por la planta tratadora influye directamente con los valores de toxicidad, un ejemplo claro es la comparación entre el volumen de agua tratado contra los valores de toxicidad obtenidos para el mes de noviembre (Fig. 1).

Por otro lado, el efluente no presentó valores de CL₅₀ ni U.T. con respecto al cladóceros *D. magna*, de hecho los organismos expuestos al cauce del efluente mostraban mayor talla y su tasa de reproducción era mayor comparada con los cultivos controlados en el laboratorio, por lo tanto el efluente cumplió con lo establecido por la NMX-AA-087-SCFI-2010(2010), asimismo, con estos resultados obtenidos se abre el panorama para la posible implementación de técnicas de producción en masa de cladóceros como comida para peces mediante la utilización de aguas residuales. Cabe destacar, que sería pertinente establecer experimentos subletales para medir repercusiones crónicas. Paralelamente, en el periodo de marzo a mayo, en las pruebas *ex situ* con *L. quadridentata*, si se presentaron valores de CL₅₀ y U.T. (Ver Tabla 3). A pesar de ello el rotífero *L. quadridentata* no es un organismo tomado en cuenta por la NMX-AA-087-SCFI-2010 (2010) como referencia metodológica, aunque de acuerdo con Pérez-Legaspi y Rico-Martínez (2001) es un organismo con mayor sensibilidad para la medición de compuestos tóxicos comparado con el cladóceros *D. magna*, por lo que en un futuro podrían hacerse adecuaciones sobre el tipo de organismos usados en ensayos de toxicidad con el fin tener veredictos más confiables y rigurosos. Después de comparar los valores de los parámetros fisicoquímicos entre el influente y efluente, se observó que los valores que estaban fuera de los rangos permisibles por la NOM-003-SEMARNAT-1997, se restablecen dentro del rango permisible para la norma.

El aumento en los valores de CL₅₀ y la disminución en las U.T. para *L. quadridentata*, además de un CL₅₀ nulo para *D. magna* en el efluente de la planta tratadora de la UAA, lleva a la conclusión de que el proceso de remoción de partículas tóxicas que se aplicó para el agua residual durante el periodo 2007-2008 fue el adecuado.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece de manera especial la ayuda del biólogo Zurriel Espínola y también a la M. en C. Susana Saucedo por su ayuda técnica.

REFERENCIAS

- ANÓNIMO. 2008. TDS y conductividad eléctrica. Compañía Lenntech. Disponible en: http://www.lenntech.com/espanol/TDSyconductividad_el%C3%A9ctrica.htm. (consultado el 28 de noviembre 2014).
- CHAPPIE D. & A. BURTON. 1997. Optimization of *in situ* bioassays with *hyalellaazteca* and *Chironomustentans*. *Environmental Toxicology* 16: 559-564. DOI:10.1002/etc.5620160323
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. 1996. *Diseño de lagunas de estabilización*. Comisión Nacional del Agua. Manual. México. 290 p.
- EPA (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1985. Methods for measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. In: H. Peltier & Weber, C. I. (Eds.). *EPA-600/485-013*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- ESPARZA, M. L. 1995. *Parámetros Físicos, Carga Orgánica y Nutrientes*. Programa de Control de Calidad de Desarrollo de Laboratorios. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS). 79 p.
- GOYENOLA, G. 2007. *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Oxígeno Disuelto*. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. RED MAPSA. Versión 1.0. 3 p.
- JARAMILLO, J. F., S. A. RINCÓN & R. RICO-MARTÍNEZ. 2009. *Toxicología Ambiental*. 1a. Edición. Departamento Editorial de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. México. 395 p.
- JIMÉNEZ, C. B. & H. J. G. RAMOS. 1997. *Revisión de los criterios ecológicos de calidad del agua para uso agrícola, elaborado para la Comisión Nacional del Agua*. Instituto de Ingeniería, UNAM. 181 p.
- NMX-AA-087-SCFI-2010. 2010. Análisis de Agua – Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna* Straus (Crustacea-Cladocera) – Método de Prueba (cancela a la NMX-AA-087-ECFI-1995).
- NOGRADY, T., R. L. WALLACE & T. W. SNELL. 1993. *Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental Waters of the World. 4 Rotifera*. Holanda. 142 p.
- PENNAK, R. W. 1989. *Freshwater Invertebrates of the United States. Protozoa to Mollusca*. 3a Ed. John Wiley and Sons, Inc. U.S.A. 628 p.
- PÉREZ-LEGASPI, I. A. & R. RICO-MARTÍNEZ. 2001. Acute toxicity tests on three species of the genus *Lecane* (Rotifera: Monogononta). *Hydrobiologia* 446/447: 375-381. DOI:10.1007/978-94-010-0756-6_48
- RICO-MARTÍNEZ, R. 2000. *Desarrollo de bioensayos toxicológicos y su aplicación en programas de monitoreo de la calidad de pozos y tomas de agua del municipio de Aguascalientes*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. Cuaderno de Trabajo. 35 p.
- RICO-MARTÍNEZ, R., C. A. VELÁZQUEZ-ROJAS, I.A. PÉREZ-LEGASPI & G.E. SANTOS-MEDRANO. 2000. The use of aquatic invertebrate toxicity tests and invertebrate enzyme biomarkers to assess toxicity in the states of Aguascalientes and Jalisco, México. In: F. M. Butterworth, A. Gunatilake, y M. E. Gosebatt Bonaparte (Eds.) *Biomonitoring and Biomarkers as indicators of Environmental Change, Volume 2*. Plenum-Press, New York, EE.UU. pp. 427-438.
- ROMERO, J. A. 2004. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería. 3ª Ed. Alfaomega. Bogotá, Colombia, 1232 p.
- SANTOS-MEDRANO, G. E., E. M. RAMÍREZ-LÓPEZ, S. HERNÁNDEZ-FLORES, P. M. AZUARA-MEDINA & R. RICO-MARTÍNEZ. 2007. Determination of Toxicity Levels in the San Pedro River Watershed, Aguascalientes, Mexico. *Journal of Environmental Science and Health part A*. 42: 1403-1410. DOI: 10.1080/10934520701480557
- SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 1997. *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997*. Diario Oficial de la Federación (DOF), miércoles 14 de enero de 1998.
- STATSOFT, INC. (2001). STATISTICA (Data Analysis Software System), versión 6. www.statsoft.com
- THORP, J. H. & A. COVICH. 2010. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. U.S.A. 3rd Ed. Academic Press. 967 p.
- WELCH, E. B., J. M., JACOBY, & C. W. MAY. 1998. Stream quality. In: Naiman, R. J. & R. E. Bilby (Eds.). *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer-Verlag. New York, U.S.A. pp. 69-94.
- WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). 1996. Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2. *Health criteria and other supporting information*. World Health Organization, Geneva, 1996. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol2p1.pdf

Dynamics of the phytoplankton community of an Argentine Pampean wetland in relation to water environmental variables

Dinámica de la comunidad fitoplanctónica de un humedal pampeano argentino en relación con variables ambientales del agua

Noelia Leonor Cony, Nora Cristina Ferrer and Eduardo Jorge Cáceres

Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional del Sur, San Juan 670, Bahía Blanca, 8000, Argentina
e-mail: noeliacony@gmail.com

Recibido: 15 de diciembre de 2015. **Aceptado:** 18 de enero de 2017.

Cony N. L., N. C. Ferrer and E. J. Cáceres. 2017. Dynamics of the phytoplankton community of an Argentine Pampean wetland in relation to water environmental variables. *Hidrobiológica* 27 (1): 93-102.

ABSTRACT

Background. Shallow lakes are an essential component of the Argentine Pampean wetlands. The Sauce Grande shallow lake is a typical water body of the Argentine Pampean wetlands, based on its shallow characteristics and its homogeneity in terms of physical, chemical, and biological characteristics. Phytoplankton is dominant in the turbid shallow lake and is sensitive to internal fluctuations in the water body and prevailing environmental conditions that affect its abundance and distribution. **Goals.** We conducted a temporal and spatial analysis of the distribution and abundance of the phytoplankton community in the Sauce Grande shallow lake (province of Buenos Aires, Argentina), from April to September 2012, in order to study the influence of physicochemical variables of the water on phytoplankton. **Methods.** We undertook Cluster Analysis (CA), Principal Component Analyses (PCA) and Spearman correlations between the biotic and physicochemical variables recorded at two sites of the shallow lake. **Results.** The multivariate analysis showed that certain water physicochemical factors (conductivity, depth, pH, turbidity, and temperature) profoundly influenced the phytoplankton dynamics, giving rise to a seasonal succession of community species, with a clear dominance of Cyanobacteria. The Spearman correlation showed that Cyanobacteria relate positively and significantly to conductivity whereas Chlorophyta and Bacillariophyta relate negatively and significantly to temperature, pH, conductivity, and salinity. Chlorophyta was the group with the highest number of recorded taxa while Cyanobacteria constituted the largest group, the most abundant species being *Synechocystis salina* Wislouch. **Conclusions.** The results obtained in this study demonstrate that the phytoplankton community of the Sauce Grande shallow lake is highly susceptible to changes in water environmental conditions, in particular to water level fluctuations, and to conductivity, pH, and temperature.

Key words: Cyanobacteria, multivariate analysis, phytoplankton community, Sauce Grande shallow lake, *Synechocystis salina*.

RESUMEN

Antecedentes. Las lagunas son el componente esencial del humedal pampeano argentino. La laguna Sauce Grande es un típico cuerpo de agua pampeano en base a sus características someras y su homogeneidad en las características físicas, químicas y biológicas. El fitoplancton se muestra dominante en las lagunas turbias, y es sensible a las fluctuaciones internas del cuerpo de agua y a las condiciones ambientales prevalecientes, viéndose afectadas su abundancia y distribución. **Objetivos.** Se realizó un análisis temporal y espacial de la comunidad fitoplanctónica de la laguna Sauce Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina), durante el período abril-septiembre de 2012, y se estudió la influencia de las variables fisicoquímicas del agua sobre la comunidad fitoplanctónica. **Métodos.** Se realizaron análisis de Cluster (CA), análisis de componentes principales (ACP) y correlaciones de Spearman entre las variables bióticas y fisicoquímicas registradas en dos sitios de la laguna. **Resultados.** El análisis multivariado mostró la influencia de la conductividad, salinidad, profundidad, pH y temperatura en la dinámica del fitoplancton, resultando en una sucesión estacional de especies de la comunidad, con una clara dominancia de cianobacterias. Las correlaciones de Spearman demostraron que la densidad de cianobacterias se relacionó positiva y significativamente con la conductividad, mientras que las abundancias de Chlorophyta y Bacillariophyta se relacionaron negativa y significativamente con la temperatura, pH, conductividad y salinidad. Chlorophyta fue el grupo con el mayor número de taxones registrados, mientras que Cyanobacteria constituyó el grupo más abundante, siendo *Synechocystis salina* Wislouch la especie más abundante. **Conclusiones.** Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron la alta susceptibilidad de la comunidad fitoplanctónica de la laguna Sauce Grande a los cambios en las variables ambientales, en particular, a las fluctuaciones en el nivel del agua y luego, a la conductividad, pH y temperatura.

Palabras clave: Análisis multivariado, comunidad fitoplanctónica, Cyanobacteria, Laguna Sauce Grande, *Synechocystis salina*.

INTRODUCTION

Shallow lakes are an essential component of the Argentine Pampean wetlands, one of the most extensive wetland areas in South America. Lakes on the plain are shallow with brief periods of thermal stratification (Quirós, 2005). Shallow lakes often alternate between two states: a turbid one, in which phytoplankton dominates productivity; and a relatively clearer vegetated state, in which rooted vegetation dominates productivity (Scheffer *et al.*, 1993; Scheffer *et al.*, 2003). There is a third state of shallow lakes found in the Argentine Pampean wetlands, which also corresponds to turbid lakes, in which turbidity is mostly due to suspended inorganic material (Torremorell *et al.*, 2007). Bilotta & Brazier (2008) defined turbidity as a measure of the light scattering properties of water, and their readings were influenced by the particle size and shape of suspended solids, the presence of phytoplankton, and the presence of dissolved matter and mineral substances. These systems normally show a high sequential phytoplankton population variability with frequent changes in the composition and relative abundance of species as a result of the interactions between the physical, chemical, and biological variables (Calijuri *et al.*, 2002) that have a notable influence on the structure of the phytoplankton community (Rojo *et al.*, 2000; Philips *et al.*, 2002). The Sauce Grande shallow lake is a typical shallow Pampean lake (Ringuelet, 1972), given its shallow nature and the homogeneity of its physicochemical and biological parameters. This homogeneity is frequently affected by both extreme drought and intense rainfall, which produce drastic changes within its structure and performance (Quirós *et al.*, 2002 a, b). Shallow lakes, which are globally the most common and widespread inland water bodies (Downing *et al.*, 2006), are particularly vulnerable to drought and unbalanced ratios between evaporation and precipitation (Jeppesen *et al.*, 2009; Moss *et al.*, 2011) due to their large surface:volume ratio (Coops *et al.*, 2003). In this sense, Izaguirre *et al.* (2015) demonstrated the vulnerability of most Pampean shallow lakes to water level fluctuations. Moreover, the structure and dynamics of the phytoplankton community may be susceptible to climatic changes that alter the level of the lake water through evaporation and changes in the flow of the stream network in the water supply basin (Coops *et al.*, 2003).

The Sauce Grande shallow lake was recently characterized as a murky water body dominated by phytoplankton (Ferrer *et al.*, 2012). In the fall of 2010 it was found to be in a eutrophic condition based on measurements of chlorophyll *a* and water transparency (Ferrer *et al.*, 2012) and even hypertrophy was recorded during 2012-2013 (Cony *et al.*, 2014).

Although there are studies of the lake's phytoplankton (Ferrer *et al.*, 2012; Cony *et al.*, 2014), none of them has dealt with the relationships between biotic and abiotic variables. The aim of this investigation was to analyze the temporal and spatial distribution of abundance in the phytoplankton community of the Sauce Grande shallow lake relating these factors to the physicochemical variables of the water body. The study was carried out under the premise that phytoplankton populations are sensitive to internal physicochemical fluctuations of the water body and to prevailing environmental conditions that affect their abundance and distribution. We suggest that a better comprehension of phytoplankton dynamics in this shallow lake will be achieved by the correlation with physicochemical variables. In this paper, we intend to identify the variables that are most influential on the phytoplankton community, in particular temperature, turbidity, pH, electric conductivity, and salinity.

Knowledge of the Sauce Grande shallow lake phytoplankton dynamics will be an important tool for a better understanding of shallow water systems in the Pampean wetlands.

MATERIALS AND METHODS

The Sauce Grande shallow lake is located in southwestern Buenos Aires Province, Argentina (38° 57' S-61°24' W). This system has an area of 21.55 km² and depths ranging between 0.60 m and 1.80 m, with a historical average depth of 1.40 m (Fornerón *et al.*, 2010a). The Sauce Grande River feeds the shallow lake from the west and drains it to the east before flowing into the sea (Fig. 1). The region is temperate and humid with mean annual temperatures between 14 °C and 20 °C (Ferrer *et al.*, 2012). Rainfall is irregular, ranging between 600-700 mm annually. The Sauce Grande shallow lake has an interesting regional importance because of the numerous recreational activities that take place there throughout the year.

Monthly samples were collected from April to September 2012 at two easily-accessible sites: S1, representative of the littoral sector of the lagoon near the exit of the Sauce Grande River, and S2, in the recreational sector (Fig. 1). The water body was extremely shallow during the study period, preventing access by any type of boat. Water environmental variables were recorded *in situ*: temperature (°C), turbidity (NTU), pH, electric conductivity (EC, mS.cm⁻¹), and salinity (PSU), with a Horiba U-10 multisensor. In addition, transparency was estimated using a Secchi disk.

Qualitative samples, subsurface mode, were taken with a plankton net of 30 µm mesh aperture, one from each sampling site, and were fixed, *in situ*, with 4% formaldehyde. Observations were made with two microscopes, a Leitz SM Lux and a Zeiss Axiolab. We identified the samples with specialized literature for the dominant algal groups (Bourrelly, 1966; Hindák, 1977, 1984, 1988, 1990; Komárek & Anagnostidis, 1999, 2005; Komárek & Fott, 1983) and with similar studies conducted in the Pampean wetlands (Guarrera *et al.*, 1968, 1972).

Quantitative analyses were performed on samples taken sub-superficially with plastic bottles and fixed *in situ* with Lugol's solution. Counts were made under a Nikon Eclipse TE 300 inverted microscope with Nikon Digital Sight DS-U2 incorporated, with a Sedgwick-Rafter camera, according to the method of McAlice (1971). Abundance was expressed as the number of individuals per milliliter (ind.ml⁻¹).

In order to analyze the similarity between sampled sites and months, a cluster analysis was performed based on a complete linkage of the physicochemical and environmental variables (conductivity, depth, pH, temperature, salinity, and turbidity.) In addition, a Spearman correlation was performed between these physicochemical variables and the abundance of the represented taxonomic groups.

Moreover, two principal component analyses (PCA-1 and PCA-2) were performed, to locate and relate the biological and physicochemical variables in space. PCA-1 was based on the abundance of represented taxonomic groups together with physicochemical variables for each site, whereas in PCA-2 the phytoplankton specific abundances were related to the occurrence frequencies (FO) ≥70%. In all cases, logarithmic transformed data were used. The "Infostat Student Version" software was used for the analyses.

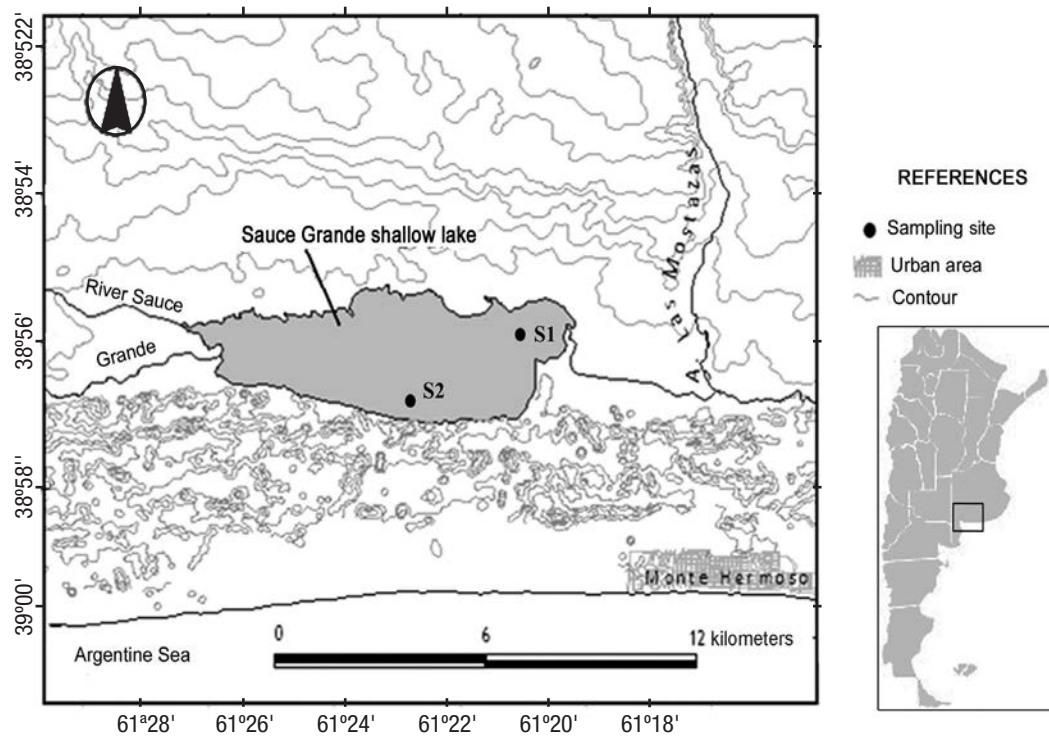


Figure 1. Location of the Sauce Grande shallow lake (Argentine Pampean wetland) and sampling sites (S1 and S2).

RESULTS

Physicochemical factors. Table 1 shows the values of the environmental variables recorded at the sampling sites. Mean pH values were 10.1 and 10.4 at sites 1 and 2 respectively, conductivity rose from 6.3 to 10.1 mS.cm⁻¹, and the minimum was recorded at site 2 and the maximum at site 1 (Fig. 2). Salinity averaged 0.5 PSU at both sites. Turbidity was high throughout the entire study period, with saturation values of 999 NTU at both sites.

Depths recorded in August 2012 were very low at both sites, the minimum being 0.10 m for site 2 and the maximum 0.5 m for site 1.

Phytoplankton qualitative analysis. The phytoplankton composition was similar for both groups and species at both sampling sites. Of 54 taxa identified, 30 were Chlorophyta (55.5 %), 14 belonged to Cyanobacteria (26 %), and 10 to Bacillariophyta (18.5 %). From the latter,

seven (70 %) were pennate and three (30 %) centric (Fig. 3). Table 2 shows the species identified at both sites: *Dictyosphaerium ehrebergianum* Näegeli and *Oocystella borgei* (J.Snow) Hindák were only found in August 2012 at site 2; *Oocystis eremosphaeria* G.M. Smith appeared in May, July, and August only at site 2; *Pediastrum boryanum* (Turp.) Meneghini in August at site 2 and *Planctonema lauterbornii* Schmidle were only found in May 2012 at both sites; *Staurastrum planctonicum* (Teiling), *Tetraedron caudatum* (Corda) Hansgirg, and *T. minimum* (A. Braun) Hansgirg were only identified at site 1. Meanwhile, the Cyanobacteria *Aphanotece clathrata* (West et G.S.West) was found in September 2012, only at site 1. Among diatoms, *Chaetoceros muelleri* Lemmermann only appeared in April 2012 at site 2, *Navicula* aff. *gregaria* Donkin was found at site 1 in April, August, and September; *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata* (Pantocsek) Hartley only in July and September, and *Surirella striatula* Turpin in August 2012, at both sites 1 and 2.

Table 1. Minimum, maximum, average (\bar{x}), and standard deviation (SD) of the physicochemical variables recorded during April-September 2012 in an Argentine Pampean wetland. Values: NTU: Natural Turbidity Units; PSU: Practical Salinity Units.

Variable	Site 1				Site 2			
	Min	Max	\bar{x}	SD	Min	Max	\bar{x}	SD
Conductivity (mS.cm ⁻¹)	9.1	10.1	9.7	0.3	6.3	9.7	8.7	1.6
pH	9.9	10.3	10.1	0.1	10.1	10.5	10.4	0.2
Turbidity (NTU)	999.0	999.0	999.0	0.0	999.0	999.0	999.0	0.0
Depth (m)	0.3	0.5	0.3	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1
Temperature (°C)	5.1	12.3	9.5	3.3	5.2	15.2	9.4	4.9
Salinity (PSU)	0.5	0.6	0.5	0.0	0.3	0.5	0.5	0.1

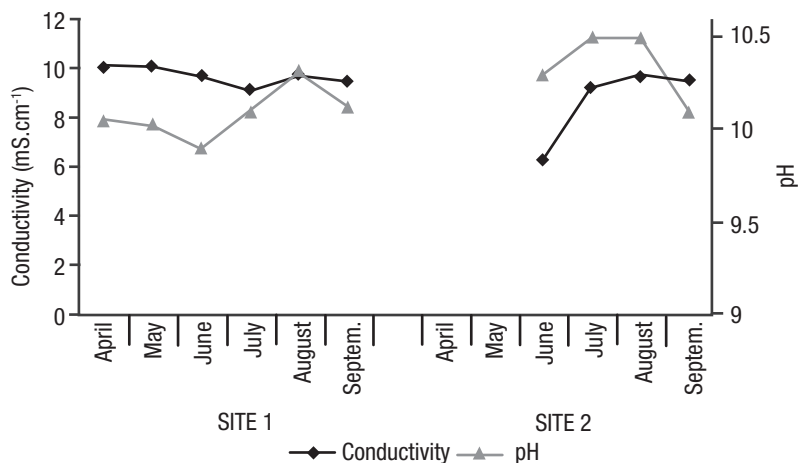


Figure 2. Changes in the conductivity and pH over the study period (2012) at sites 1 and 2 at the Sauce Grande site (Argentine Pampean wetland).

Phytoplankton quantitative analysis. The ANOVA performed on phytoplankton abundance did not detect differences between sampled sites ($F = 0.005$, $p > 0.05$). However, significant differences between months ($F = 6.36$, $p < 0.05$) were found. A cluster analysis to group months regarding abundance (Fig. 4) was also performed. April and September, July and May, and June and August were grouped for this analysis.

At site 1, total abundance showed values of 3.6×10^6 ind.ml⁻¹ in September and 5.4×10^6 ind.ml⁻¹ in July 2012 (Fig. 5). At site 2, abundance ranged from 4.0×10^6 to 5.1×10^6 ind.ml⁻¹ in April and May 2012, respectively. The total average phytoplankton abundance was 4.4×10^6 ind.ml⁻¹ at both sites, and Cyanobacteria were the most abundant group, followed by Chlorophyta and Bacillariophyta (Fig. 5). *Synechocystis salina* Wislouch was the dominant species throughout the entire period, reaching a relative representation of 47% of the total abundance in September at site 1 and 45% in August at site 2. *Chroococcus minimus* (Keissler) Lemmermann, *Aphanocapsa elachista* W. West et G.S. West and *A. nubilum* Komárek et Kling were the species with the second highest abundance at both sites.

Cluster Analysis The cluster analysis performed on the physicochemical variables (conductivity, temperature, depth, pH, salinity, and turbidity) appears in the figure 6. Three groups were established: 1) a “cold” group (S1 May, June, and July), in which the temperature did not exceed 8° C and the conductivity and depth averaged 9.5 mS.cm⁻¹ and 0.27 m, respectively; 2) a “warm” group (S1 April, S1 August, and S1 and S2 September), with the temperature above 12 °C and conductivity greater than 9.5 mS.cm⁻¹, and 3) a “alkaline” group (S2 July and August) with high pH records (10.5). The lowest conductivity value of 6.27 mS.cm⁻¹ caused the sample S2 June to be separated from the other groups.

Principal Component Analyses (PCA). The PCA-1 included the abundance of the represented taxonomic groups (Cyanobacteria, Chlorophyta, and Bacillariophyta) during the entire study period in conjunction with the physicochemical variables for each sampling site shown in Figure 7. The turbidity was included in the analysis, but did not show correlation with any axis, so the variable was removed from the graphic result. For S1, the first two ordination axes explain 85.5% of the total variance (Fig. 7 A), the positive portion of the first axis represents the conductivity, salinity, and abundance of Bacillariophyta, and the negative portion relates to the pH

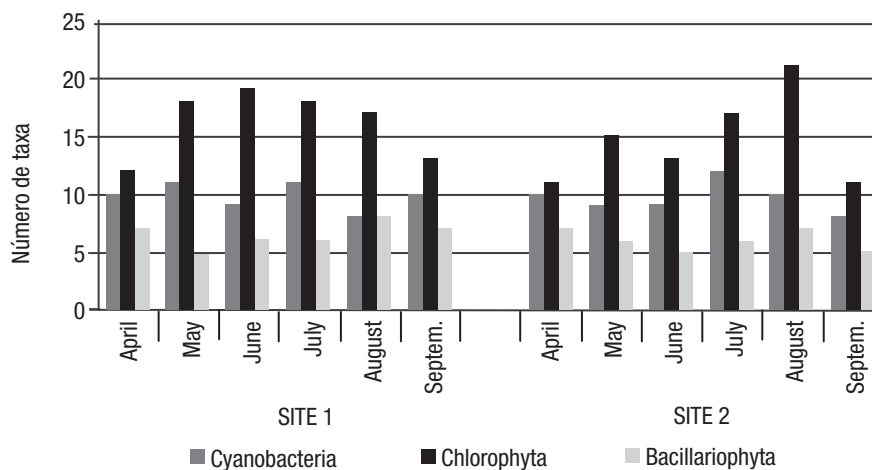


Figure 3. Number of phytoplankton taxa of the three principal groups found during the study period at the Sauce Grande site (Argentine Pampean wetland).

Table 2. List of the phytoplankton taxa recorded in the Sauce Grande shallow lake, in an Argentine Pampean wetland, during April-September 2012 for site 1 and site 2. Differential species at each site are highlighted in gray. Only the keys of the taxa with $\geq 70\%$ frequency of occurrence are presented, as selected for the PCA-2.

Key	Taxa	Site 1	Site 2
	Chlorophyta		
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> Corda	X	X
	<i>Crucigenia quadrata</i> Morren	X	X
	<i>Dictyosphaerium ehrebergianum</i> Näegeli	X	X
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> var. <i>minutum</i> Deflandre	X	X
	<i>Eutetramorus</i> cf. <i>fotii</i> (Hindák) Komárek	X	X
Jurja	<i>Juranyiella javorkae</i> (Hortobágyi) Hortobágyi	X	X
	<i>Kirchneriella</i> cf. <i>microscopica</i> Nygard	X	X
	<i>Lagerheimia subsalsa</i> Lemmermann	X	X
Monco	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	X	X
	<i>M. minutum</i> (Nägeli) Komárková-Legnerová	X	X
	<i>M. tortile</i> (West et G.S.West) Komárková-Legnerová	X	X
	<i>Oocystella borgei</i> (J.Snow) Hindák		X
	<i>O. marsonii</i> (J.Snow) Hindák	X	X
	<i>Oocystis borgei</i> J.Snow	X	X
	<i>O. eremosphaeria</i> G.M. Smith		X
	<i>Pediastrum boryanum</i> (Turp.) Meneghini		X
	<i>P. duplex</i> Meyen	X	X
	<i>Planctonema lauterbornii</i> Schmidle	X	X
	<i>Quadricoccus ellipticus</i> Hortobágyi	X	X
	<i>Scenedesmus costato-granulatus</i> Skuja	X	X
	<i>S. intermedius</i> Chodat	X	X
Scena	<i>S. nanus</i> Chodat	X	X
	<i>S. quadricauda</i> (Turp.) de Brebisson	X	X
	<i>S. cf. subspicatus</i> Chodat	X	X
	<i>Schoederia setigera</i> (Schröder) Lemmermann	X	X
	<i>Staurastrum planctonicum</i> (Telling)	X	
	<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansgirg	X	
	<i>T. minimum</i> (A. Braun) Hansgirg	X	
Tetrae	<i>T. muticum</i> (A. Braun) Hansgirg	X	X
Tetras	<i>Tetrastrum staurogenieforme</i> (Schröder) Lemmermann	X	X
	Cyanobacteria		
	<i>Aphanocapsa conferta</i> (West et G.S.West) Komárková-Legnerová et Cronberg	X	X
Aphel	<i>A. elachista</i> W.West et G.S.West	X	X
Aphol	<i>A. holsatica</i> (Lemmermann) Cronberg et Komárek	X	X
	<i>A. incerta</i> (Lemmermann) Cronberg et Komárek	X	X
	<i>A. nubilum</i> Komárek et Kling	X	X
	<i>Aphanotece clathrata</i> (West et G.S.West)	X	
	<i>A. cf. saxicola</i> Nägeli	X	X
	<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann	X	X
	<i>C. vacuolatus</i> Skuja	X	X
	<i>Cyanodictyon planctonicum</i> Meyer	X	X
Merte	<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	X	X
	<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komárek) Komárek	X	
Synsa	<i>Synechocystis salina</i> Wislouch	X	X
	<i>Synechococcus nidulans</i> (Pringsheim) Komárek		X
	Bacillariophyta		
Aulgr	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	X	X
	<i>Chaetoceros muelleri</i> Lemmermann		X
	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	X	X
Hyppo	<i>Hippodonta</i> sp.	X	X
	<i>Navicula</i> aff. <i>gregaria</i> Donkin	X	
	<i>Pinnularia</i> sp.	X	X
	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i> (Pantocsek) Hartley	X	X
	<i>Pseudostaurosira</i> sp. 1	X	X
	<i>Pseudostaurosira</i> sp. 2	X	X
	<i>Surirella striatula</i> Turpin	X	X

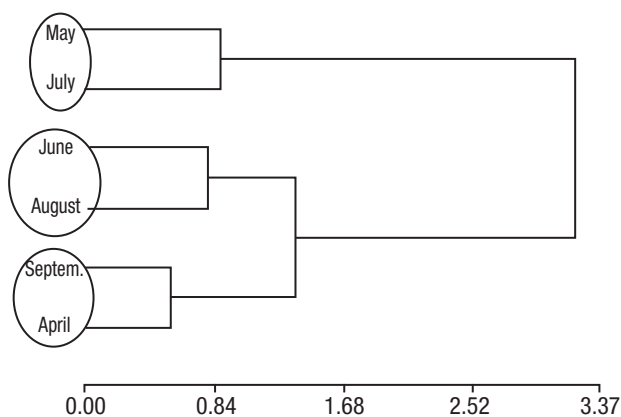


Figure 4. Cluster grouping of monthly samples according to phytoplankton abundance. Complete linkage. Distance: Euclidean.

and the abundance of Cyanobacteria. The second axis is related to the temperature, the depth (positive portion), and the abundance of Chlorophyta (negative portion). April was characterized by the highest salinity and conductivity and less phytoplankton abundance, especially of Cyanobacteria, whereas samples from May and June showed a high density of Chlorophyta and Bacillariophyta individuals, as well as lower pH and depth records. July had the highest phytoplankton abundance, in particular Cyanobacteria, and the lowest temperature and depth records. During August and September the highest pH and depth records and the lowest phytoplankton abundance of Chlorophyta and diatom representatives occurred (Fig. 7A). For site 2 (Fig. 7B), the first two ordination axes explained 82.9%, the positive portion of the first axis represents the abundance of Bacillariophyta and Chlorophyta, and the negative portion relates to the abundance of Cyanobacteria, temperature, conductivity, and salinity. The second axis is related to the pH (positive portion) and depth (negative portion). June showed the highest abundance of Chlorophyta and Bacillariophyta. July and August showed high pH, salinity, conductivity, and a significant abundance of Cyanobacteria. September had high temperature and depth records and lower abundances of green algae and diatoms (Fig. 7B).

The PCA-2 was based on the specific abundance of selected species with the $FO \geq 70\%$ parameter that explained 71.2% of the total

variance (Fig. 8). This analysis allowed us to establish a monthly ordination of samples without finding any differences between sampling sites. In this regard, April samples were related to a high abundance of *Scenedesmus nanus* Chodat; May and June showed high abundance of *Juranyiella javorkae* (Hortobágyi) Hortobágyi and *Tetraedron muticum* (A. Braun) Hansgirg (Chlorophyta), *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, and *Hyppodonta* sp. (Bacillariophyta). July showed the highest abundance of *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová, *Tetrastrum staurogenieforme* (Schröder) Lemmermann (Chlorophyta), and *A. elachista* (Cyanobacteria). The samples of August and September were characterized by a low abundance of selected species and a high abundance of the dominant species *S. salina* and *Aphanocapsa holsatica* (Lemmermann) Cronberg *et* Komárek.

Spearman Correlations. The different taxonomic groups showed significant correlations ($p < 0.05$) with the different water physicochemical and environmental variables recorded (Table 3). The exception was turbidity, which showed no correlation with any taxonomic group. Cyanobacteria exhibited a positive correlation with conductivity at site 1 (R-Spearman = 0.77), whereas Chlorophyta and Bacillariophyta were negatively correlated with conductivity (R-Spearman = -0.80 for both), temperature (R-Spearman = -0.80 for both), and salinity (R-Spearman = -0.74 and -0.95, respectively). Diatoms showed a positive correlation with conductivity and a negative correlation with pH (R-Spearman = 0.83 and -0.77 respectively) at site 1.

DISCUSSION

The water level of the Sauce Grande shallow lake during our study period was significantly lower than the decrease that occurred during fall 2010 (Ferrer *et al.*, 2012). It is known that this water body is highly dependent on *in situ* rainfall (Fornerón *et al.*, 2010b) and the severe drought recorded in the area may be related to the ongoing global warming tendency (see Resolution 331/2010 of the Agriculture, Livestock, and Fisheries Ministry of Buenos Aires Province, <http://www.minagri.gov.ar>). Moreover, the man-made water deviation from the tributary river to adjacent fields worsened the situation (see data provided by the Water Authority, Infrastructure Ministry, Buenos Aires Province, <http://www.ada.gba.gov.ar>).

The decrease in the water level was accompanied by an increase in turbidity, with saturation values throughout the study period. According to Cony *et al.* (2014) who studied the nature of the suspended organic matter in the lake, the phytoplankton community was mainly responsible for the turbidity, although no clear correlation between phyto-

Table 3. Correlation coefficients between physicochemical variables and abundance of taxonomic groups of phytoplankton in an Argentine Pampean wetland (bold values are significant at $p < 0.05$).

Variable	Site 1			Site 2		
	Cyanobacteria	Chlorophyta	Bacillariophyta	Cyanobacteria	Chlorophyta	Bacillariophyta
pH	0.66	-0.66	-0.77	0.21	0.11	0.32
Conductivity (mS.cm ⁻¹)	0.77	0.37	0.83	0.20	-0.80	-0.80
Temperature (°C)	-0.49	-0.66	-0.09	-0.20	-0.80	-0.80
Salinity (PSU)	-0.67	0.00	0.58	0.32	-0.74	-0.95
Depth (m)	0.09	-0.60	-0.37	0.60	0.40	-0.40

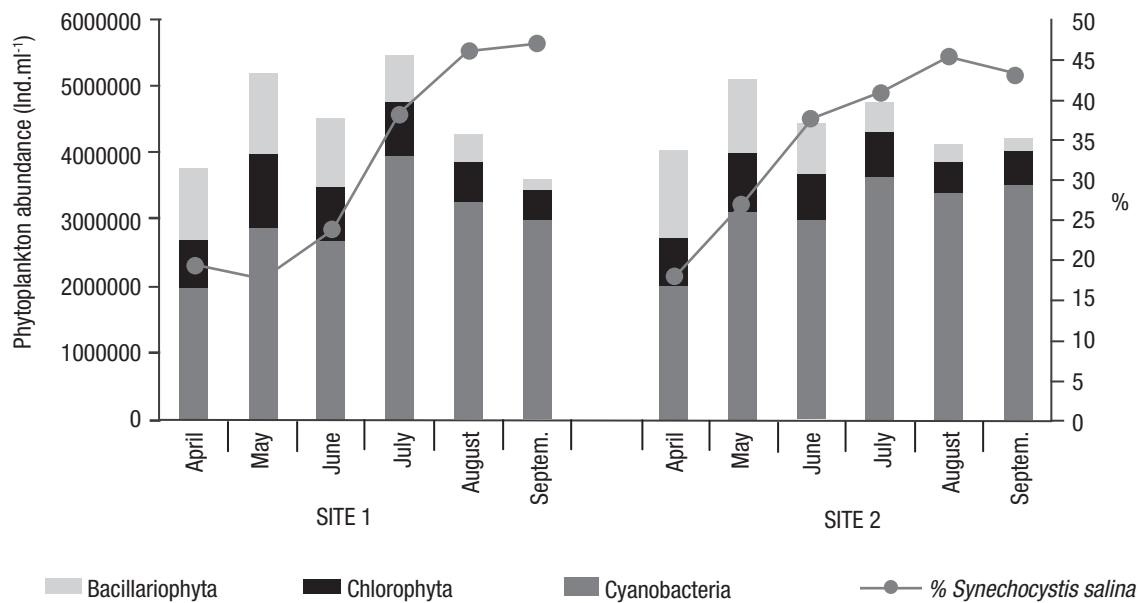


Figure 5. Monthly variation of the abundance of the phytoplankton taxonomic groups and the percentage of the dominant species (*Synechocystis salina*) during the study period at both Sauce Grande study sites (Argentine Pampean wetland).

plankton abundance and turbidity was found. The increase in turbidity was also derived from the concurrent effect of sediment removal by wind and the shallow depth, also mentioned by other authors for these environments (James *et al.*, 2004; Quirós *et al.*, 2005, Lagomarsino *et al.*, 2015). Our results made it clear that there was no evident action by any of the other physicochemical variables studied.

Nevertheless, the total phytoplankton density values recorded of 10^6 ind.ml⁻¹ during the study period, exceeded the values by an order of 10^3 ind.ml⁻¹ with respect to those recorded in autumn 2010 (Ferrer *et al.*, 2012). In particular, Cyanobacteria densities exceeded the 1.10^4 cells.ml⁻¹, densities that, according to Pizzolon (1996), can be considered a cyanobacterial bloom. In particular, O’Farrell *et al.* (2015) highlight the role of changes in water level in the Pampean wetlands in altering phytoplankton abundance and especially in establishing cyanobacterial blooms. Moreover, these authors also mention that the sequence of nutrient mobilization from land to the receiving waters after intense rainfall and flushing subsidence followed by protracted periods of drought could explain the massive cyanobacterial blooms in estuaries, reservoirs, and lakes (O’Farrell *et al.*, 2015). Previous research has shown that the underwater light climate could strongly affect the phytoplankton structure and primary production in the lakes of this region (Allende *et al.*, 2009). Light-limiting conditions prevail in the turbid Pampean lakes (Llames *et al.*, 2009), and it is known that light availability affects algal competition (Reynolds, 2006) and phytoplankton diversity (Reynolds, 1998; Stomp *et al.*, 2004). Reynolds (1994) noted that large amounts of suspended material have a profound effect on the attenuation of underwater light, with subsequent selection of “light antenna,” which favors species that have a large surface/volume ratio (SA/V). Small chroococcalean Cyanobacteria species are clearly well adapted to these conditions due to their high SA/V (Izaguirre *et al.*, 2015). In this study, the dominant species

was precisely *Synechocystis salina* and the subdominant ones were *Chroococcus minimus*, *Aphanocapsa elachista*, and *A. nubilum*.

Cony *et al.* (2014) recently described the Sauce Grande shallow lake as hypereutrophic due to the high levels of chlorophyll, the high pH records, and the stability in the water column. In addition, the salinity recorded was higher in 2012 than in 2010 (Ferrer *et al.*, 2012), as a result of the prolonged hydraulic residence times caused by the drought (see Beklioglu *et al.*, 2007 and Beklioglu *et al.*, 2011), a situation that also favors incipient cyanobacterial blooms (see Sellner *et al.*, 1988).

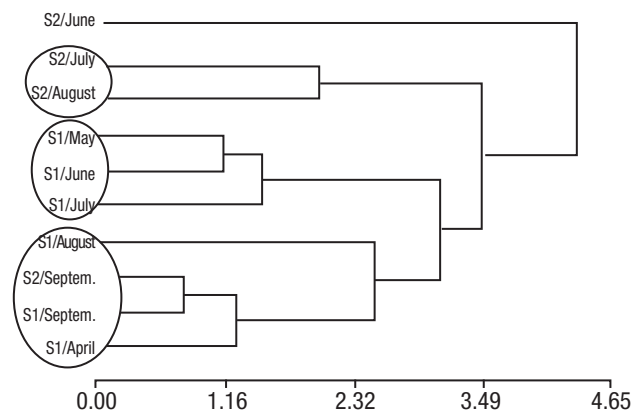
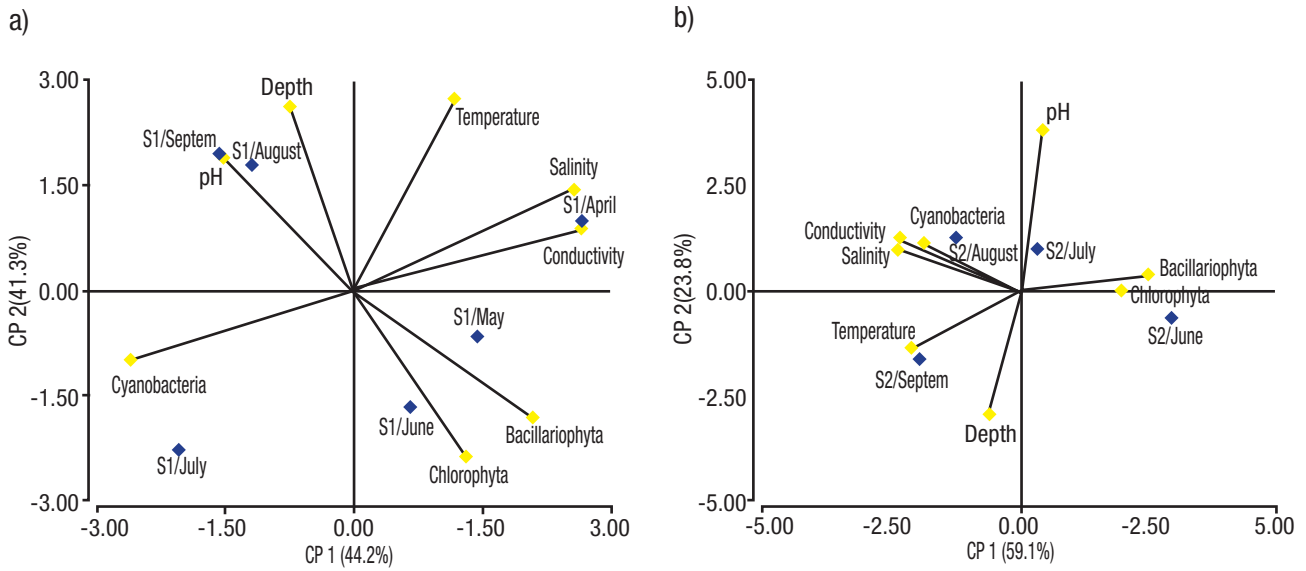


Figure 6. Cluster grouping of sampling stations according to the physicochemical variables. Complete linkage. Distance: Euclidean.



Figures 7a-b. PCA-1. Biplot of samples and abundance of taxonomic groups, in the plane of the first two principal components, for Site 1 (a) and Site 2 (b) at Sauce Grande (Argentine Pampean wetland).

All these factors could explain the abundance of cyanobacteria in general and the dominant species in particular. Several authors (Havens *et al.*, 1998; Huisman & Hulot 2005; Havens, 2008) have mentioned that (1) high concentrations of nutrients, (2) high water temperature, (3) high pH values, (4) low N:P, and (5) stability of the water column are causative factors involved in the development of cyanobacterial blooms.

Qualitatively, the phytoplankton community was not very different from that of autumn 2010, when Chlorophyta also had the highest number of recorded taxa, followed by Cyanobacteria and Bacillariophyta, although the green algae *Planctonema lauterbornii* Schmidle showed seasonal dominance in that period (Ferrer *et al.*, 2012).

The multivariate analysis showed that certain water environmental factors, *i.e.* temperature, conductivity, salinity, and pH determine the dynamics of phytoplankton, leading to a seasonal succession of species in the community, with a clear dominance of Cyanobacteria. Cluster analysis showed that clustered samples were based on temperature, depth, conductivity, pH, and turbidity, and we were able to identify low temperature (S1 May to July), high temperature (S1 April, S1 August, and S1, S2 September), and alkaline pH (S2 July and August) groups. Furthermore, the PCA-1 A and B showed the spatial homogeneity of the water body based on similarities in the biological parameters tested at the two sampling sites. We considered that the predominant physicochemical variable was depth. Here, the largest difference between sites is observed in the August sample, in which the minimum was recorded at S2 (0.13 m). The PCA-2 demonstrated the existence of a monthly separation of samples based on the total abundance of taxonomic groups and the abundance of selected species, respectively. We can attribute the latter to the increasing dominance of *S. salina*, which generates a decline in species diversity and the level of representation of the taxonomic groups.

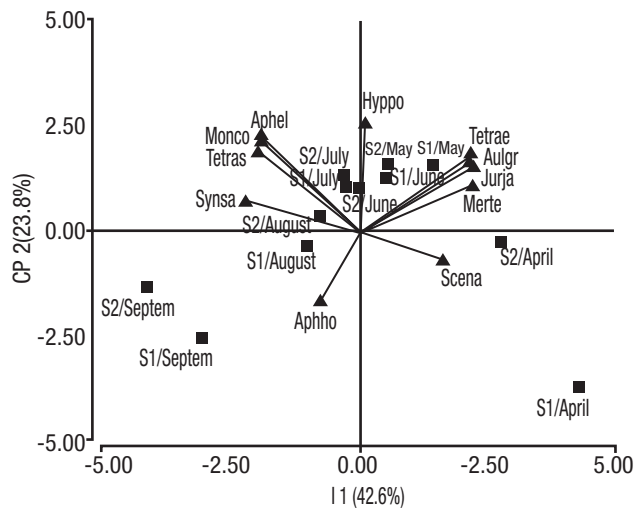


Figure 8. PCA-2. Biplot of samples and species selected in the plane of the first two principal components, depending on specific species abundance. For the species key, see Table 2.

The chlorophycean species *Juranyella javorkae*, *Monoraphidium contortum*, *Tetraedron muticum*, *Tetrastrum staurogenieforme*, the cyanobacteria *Aphanocapsa elachista*, and the diatoms *Aulacoseira granulata* and *Hyppodonta* sp. appeared in May, June and July (Cluster Group “cold” PCA-2, Fig. 8). Given these results, Izaguirre *et al.* (2015) and Fernández *et al.* (2014) confirmed the dominance of small Chlorococcales, colonial Cyanobacteria, and the diatom *A. granulata* for the same period, but in other shallow eutrophic environments of the region. The samples of August and September were characterized by the elevated dominance of Cyanobacteria and in particular *S. salina*, associated with the highest temperature recorded, also reported by Fernández *et al.* (2009) for the Paso de las Piedras reservoir nearby.

The different taxonomic groups represented in the Sauce Grande shallow lake showed significant correlations with different physicoche-

mical variables recorded in the water body (Table 3). Cyanobacteria showed a positive correlation with conductivity, which increased in August and September when this taxonomic group recorded its highest abundance (Cluster Group “warm” Fig. 6; PCA-1, Fig. 7). Further, Chlorophyta and Bacillariophyta showed negative relations with conductivity, salinity, and temperature (Cluster Group “cold” Fig. 6; PCA-1, Fig. 7).

In conclusion, the results obtained in this study demonstrate the high susceptibility of the phytoplankton community of the Sauce Grande shallow lake to changes in the water environment and physicochemical variables, principally to the fluctuations in the water level, conductivity, salinity, and pH. In particular, Chlorophyta and Bacillariophyta are sensitive to high values of salinity and conductivity, while in these conditions small species of Cyanobacteria dominate the phytoplankton community. In addition, the results showed the existence of a monthly, non-spatial, separation, with samples as a function of the total abundance of taxonomic groups and the abundance of the species selected. In other words, there is homogeneity between sites on phytoplankton abundance, both as groups and as species, while between months there are differences in this respect. We could attribute this to the growing dominance of *S. salina*, which increases gradually from April to September 2012 in both sites and causes the diversity of species and the level of representation of taxonomic groups to decrease.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was carried out with the support of a grant from the Secretaría General de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional del Sur, Argentina, PGI 24/B196. NLC is a fellow of the CIC (Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina). EJC is an honorary research member of the CIC. The authors thank Lic. Ricardo Camina for his statistical advice.

REFERENCES

- AGRICULTURE, LIVESTOCK AND FISHERIES MINISTRY OF BUENOS AIRES PROVINCE. 2010. Resolution 331/2010. Available online at <http://www.minagri.gob.ar> (downloaded may 25, 2012).
- ALLENDE, L., G. TELL, H. ZAGARESE, A. TORREMORELL, G. PÉREZ, J. BUSTINGORRY, R. ESCARAY & I. IZAGUIRRE. 2009. Phytoplankton and primary production in clear-vegetated, inorganic-turbid, and algal-turbid shallow lakes from the pampa plain (Argentina). *Hydrobiologia* 624: 45-60. DOI: 10.1007/s10750-008-9665-9.
- BEKLIÖGLÜ, M., S. ROMO, I. KAGALOU, X. QUINTANA & E. BECARES. 2007. State of the art in the functioning of shallow Mediterranean lakes: workshop conclusions. *Hydrobiologia* 584: 317-326. DOI: 10.1007/s10750-007-0577-x.
- BEKLIÖGLÜ, M., M. MEERHOFF, M. SØNDERGAARD & E. JEPPESEN. 2011. Eutrophication and restoration of shallow lakes from a cold temperate to a warm Mediterranean and a (sub) tropical climate. In: Ansari, A., A. S. Singh Gill, G. R. Lanza & W. Rast (Eds.). *Eutrophication: Causes, consequences and control*. Netherlands, Springer, pp. 91-108. DOI: 10.1007/978-94-007-7814-6.
- BILOTTA, G. S. & R. E. BRAZIER. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research* 42 (12): 2849-2861. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>.
- BOURRELY, P. 1966. Les algues d’eau douce. Initiation à la systématique. Tome 1. *Les algues vertes*. Boubée Saint-André-des Arts, Paris.
- CALLJURI, M. C., A. C. A. DOS SANTOS & S. JATI. 2002. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, S.P. Brazil). *Journal of Plankton Research* 24 (7): 617-634. DOI: <https://doi.org/10.1093/plankt/24.7.617>.
- CONY, N. L., N. C. FERRER & E. J. CÁCERES. 2014. Evolución del estado trófico y estructura del fitoplancton de un lago somero de la región pampeana: laguna Sauce Grande (Pcia. de Buenos Aires, Argentina). *Biología Acuática* 30: 79-91.
- COOPS, H., M. BEKLIÖGLÜ & T. L. CRISMAN. 2003. The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems: work shop conclusions. *Hydrobiologia* 506: 23-27.
- DOWNING, J. A., Y. T. PRAIRIE, J. J. COLE, C. M. DUARTE, L. J. TRANVIK, R. G. STRIEGL, W. H. McDOWELL, P. KORTELAINEN, N. F. CARACO, J. M. MELACK & J. J. MIDDLEBURG. 2006. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnology and Oceanography* 51 (5): 2388-2397.
- FERNÁNDEZ, C., E. R. PARODI & E. J. CÁCERES. 2009. Limnological characteristics and trophic state of Paso de las Piedras Reservoir: an inland reservoir in Argentina. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 14: 85-101. DOI: 10.1111/j.1440-1770.2009.00393.x.
- FERNÁNDEZ, C., E. J. CÁCERES & E. R. PARODI. 2014. Phytoplankton Development in a Highly Eutrophic man-made Lake from the Pampa plain of Argentina—a functional Approach. *International Journal of Environmental Research* 8 (1): 1-14.
- FERRER, N. C., N. L. CONY, C. F. FORNERÓN & M. C. PICCOLO. 2012. Caracterización del fitoplancton y estado trófico de la laguna Sauce Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina) en el otoño de 2010. *Biología Acuática* 27: 129-141.
- FORNERÓN, C. F., M. C. PICCOLO & M. E. CARBONE. 2010a. Análisis de la laguna Sauce Grande (Argentina). *Huellas* 14: 11-30.
- FORNERÓN, C. F., M. C. PICCOLO, N. L. CONY & N. C. FERRER. 2010b. Hidrografía de la Laguna Sauce Grande durante el otoño de 2010 (Provincia de Buenos Aires). *Contribuciones Científicas Sociedad Argentina de Estudios Geográficos-GAEA* 22: 197-206.
- GUARRERA, S. A., S. CABRERA, E. LÓPEZ & G. TELL. 1968. Fitoplancton de las aguas superficiales de la Provincia de Buenos Aires. I. Área de la Pampa Deprimida. *Revista del Museo de La Plata* 10 (49): 223-331.
- GUARRERA, S. A., L. MALACALZA & F. P. LÓPEZ. 1972. Fitoplancton de las aguas superficiales de la Provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo de La Plata* 67: 161-222.
- HAVENS, K. E., E. J. PHILIPS, M. F. CICHRA & B. LI. 1998. Light availability as a possible regulator of cyanobacteria species composition in a shallow subtropical lake. *Freshwater Biology* 39: 547-556.
- HAVENS, K. E. 2008. Cyanobacteria blooms: effects on aquatic ecosystems. In: Hudnell, H. K. (Ed.). *Cyanobacterial harmful algal blooms: advances in experimental medicine and biology*. New York Springer Science, pp. 733-748.

- HINDÁK, F. 1977. *Studies on the chlorococcal algae (Chlorophyceae). I.* Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava.
- HINDÁK, F. 1984. *Studies on the chlorococcal algae (Chlorophyceae). III.* Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava.
- HINDÁK, F. 1988. *Studies on the chlorococcal algae (Chlorophyceae) IV.* Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava.
- HINDÁK, F. 1990. *Studies on the chlorococcal algae (Chlorophyceae) V.* Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava.
- HUISMAN, J. & F. D. HULOT. 2005. Population dynamics of harmful cyanobacteria. Factors affecting species composition. In: Huisman, J., H. C. P. Matthijs & P. M. Visser (Eds.). *Harmful cyanobacteria*. Netherlands Springer, pp. 143–176.
- IZAGUIRRE, I., M. L. SÁNCHEZ, M. R. SCHIAFFINO, I. O'FARRELL, P. HUBER, N. FERRER, J. ZUNINO, L. LAGOMARSINO & M. MANCINI. 2015. Which environmental factors trigger the dominance of phytoplankton species across a moisture gradient of shallow lakes? *Hydrobiologia* 752 (1): 47-64. DOI: 10.1007/s10750-014-2007-1.
- JEPPESSEN, E., B. KRONVANG, M. MEERHOFF, M. SØNDERGAARD, K. M. HANSEN, H. E. ANDERSEN, T. L. LAURIDSEN, M. BEKLIÖGLÜ, A. ÖZEN & J. E. OLESEN. 2009. Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations. *Journal Environmental Quality* 38 (5): 1930-1941. DOI: 10.2134/jeq2008.0113.
- JEPPESSEN, E., S. BRUCET, L. NASELLI-FLORES, E. PAPASTERGIADOU, K. STEFANIDIS, T. NÖGES, P. NÖGES, J. L. ATTAYDE, T. ZOHARY, J. COPPENS, T. BUCAK, R. FERNANDES MENEZES, F. R. SOUSA FREITAS, M. KERNAN, M. SØNDERGAARD & M. BEKLIÖGLÜ. 2015. Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia* 750: 201-227. DOI: 10.1007/s10750-014-2169-x.
- KOMÁREK, J. & K. ANAGNOSTIDIS. 1999. Cyanoprokaryota. 1. Teil: Chroococcales, vol 1. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart: Fischer Verlag.
- KOMÁREK, J. & K. ANAGNOSTIDIS. 2005. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales, vol 2. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. München: Elsevier GmbH.
- KOMÁREK, J. & B. FOTT. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chroococcales, vol 16. *Das Phytoplankton des Süßwasser Systematik und Biologie*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- LLAMES, M.E., L. LAGOMARSINO, N. DIOVISALVI, P. FERMANI, A. M. TORREMORELL, G. PÉREZ, F. UNREIN, J. BUSTINGORRY, R. ESCARAY, M. FERRARO & H. ZAGARESE. 2009. The effects of light availability in shallow, turbid waters: a mesocosm study. *Journal of Plankton Research* 31: 1517-1529. DOI: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbp086>
- McALICE, B. J. 1971. Observations on the small-scale distributions of estuarine phytoplankton. *Marine Biology* 7: 100-111.
- MOSS, B., S. KOSTEN, M. MEERHOFF, R. W. BATTARBEE, E. JEPPESSEN, N. MAZZEO, K. HAVENS, G. LACEROT, Z. LIU, L. DE MEESTER, H. PAERL & M. SCHEFFER. 2011. Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland Waters* 1: 101-105. DOI: 10.5268/IW-1.2.359.
- PHILIPS, E. J., S. BADYLAK & T. GROSSKOPF. 2002. Factors affecting the abundance of phytoplankton in a restricted subtropical lagoon, the Indian River Lagoon, Florida, USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55 (3): 385-402. Also available at: <http://www.idealibrary.com>. DOI: 10.1006/ecss.2001.0912.
- PIZZOLON, L. 1996. Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales. *Interciencia* 21 (6): 239-245. También disponible en la página web <http://www.interciencia.org.ve>.
- QUIRÓS, R., A. M. RENNELLA, M. B. BOVERI, J. J. ROSSO & A. SOSNOVSKY. 2002a. Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas. *Ecología Austral* 12: 175-185.
- QUIRÓS, R., J. J. ROSSO, A. M. RENNELLA, A. SOSNOVSKY & M. B. BOVERI. 2002b. Análisis del estado trófico de las lagunas pampeanas (Argentina). *Interciencia* 27 (11): 584-591.
- QUIRÓS, R. 2005. La ecología de las lagunas de las Pampas. *Investigación y Ciencia* 1: 1-13.
- REYNOLDS, C. S. 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status. *Hydrobiologia* 369 (370): 11-26.
- REYNOLDS, C. S. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge Cambridge University Press.
- RINGUELET, R. A. 1972. Ecología y biocenología del hábitat lagunar o lago de tercer orden de la región neotrópica templada (Pampasia Sudoriental de la Argentina). *Physis* 31 (82): 55-76.
- ROJO, C., E. ORTEGA-MAYAGOITIA & M. ÁLVAREZ-COBELAS. 2000. Lack of pattern among phytoplankton assemblages. Or, what does the exception to the rule mean?. *Hydrobiologia* 424: 133-139.
- SCHEFFER, M., S. H. HOSPER, M. L. MEIJER, B. MOSS & E. JEPPESSEN. 1993. Alternative equilibria in Shallow Lakes. *Trends in Ecology and Evolution* 8 (8): 275-279.
- SCHEFFER, M., S. SZABÓ, A. GRAGNANI, E. H. VAN NESS, S. RINALDI, N. KAUTSKY, J. NORBERG, R. M. M. ROIJACKERS & R. J. M. FRANKEN. 2003. Floating plant dominance as a stable state. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100 (7): 4040-4045. DOI: 10.1073/pnas.0737918100.
- SELLNER, K. G., R. V. LACOUTURE & C. R. PARRISH. 1988. Effects of increasing salinity on a cyanobacteria bloom in the Potomac River estuary. *Journal of Plankton Research* 10: 49-61.
- STOMP, M., J. HUISMAN, F. DE JONGH, A. J. VERAART, D. GERLA, M. RIJKEBOER, B. W. IJELINGS, U. I. A. WOLLENZIEN & L. J. STAL. 2004. Adaptive divergence in pigment composition promotes phytoplankton biodiversity. *Nature* 432: 104-107. Also available at: www.nature.com/nature.
- TORREMORELL, A., J. BUSTINGORRY, R. ESCARAY & H. ZAGARESE. 2007. Seasonal dynamics of a large, shallow lake, Laguna Chascomús: The role of light limitation and other physical variables. *Limnológica* 37: 100-108. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.limno.2006.09.002>
- WATER AUTHORITY, INFRASTRUCTURE MINISTRY BUENOS AIRES PROVINCE. 2013. Available online at <http://www.ada.gba.gov.ar> (downloaded may 24, 2013).

Hydrochemistry of the Mocorito river coastal aquifer, Sinaloa, Mexico: water quality assessment for human consumption and agriculture suitability

Hidroquímica del acuífero costero del Río Mocorito, Sinaloa, México: evaluación de la calidad del agua para consumo humano y agricultura

José R. Rivera-Hernández¹, Carlos Green-Ruiz², Lawren Pelling-Salazar¹ and Alejandra Trejo-Alduenda¹

¹Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Joel Montes Camarena s/n, Col. Playa Sur, Mazatlán, Sin., 82040. México

²Unidad Académica Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Joel Montes Camarena s/n, Col. Playa Sur, Mazatlán, Sin., 82040. México
e-mail: cgreen@ola.icmyl.unam.mx

Recibido: 13 de julio de 2015.

Aceptado: 15 de febrero de 2017.

Rivera-Hernández J. R., C. Green-Ruiz, L. Pelling-Salazar and A. Trejo-Alduenda. 2017. Hydrochemistry of the Mocorito river coastal aquifer, Sinaloa, Mexico: water quality assessment for human consumption and agriculture suitability. *Hidrobiológica* 27 (1): 103-113.

ABSTRACT

Background. Groundwater is a vital source of water for domestic and agricultural activities and the water of the Mocorito River Coastal Aquifer (MORCA), located in the agricultural valley of Culiacán, Sinaloa, Mexico, is not an exception. **Goals.** To assess MORCA's groundwater quality for drinking and irrigation purposes and the geochemical processes affecting its composition. **Methods.** Twenty-two well samples were collected during the dry and rainy seasons. Physical and chemical parameters, major ions, drinking quality (WQI and PHASECH water quality index), and irrigation suitability Richards (1954) and Wilcox diagrams) were studied. **Results.** Total Dissolved Solid (TDS) ranged from 1688 - 8762 mg L⁻¹ for the dry season and 89-10016 mg L⁻¹ for the rainy season. From inland to the coastal zone, MORCA's groundwater was considered hard and very hard, with non-dominant hydrochemical facies in the dry season and calcium, magnesium and sodium (cationic), and bicarbonate and chloride (anionic) types, in the rainy season. US Salinity Staff and Wilcox diagrams revealed that MORCA's groundwater is not suitable for use in irrigation. Further, the geochemical processes controlling the chemical composition of MORCA were evaporation and weathering. **Conclusions.** According to the TDS and water quality index (WQI and PHASECH) classifying just 4.5 % and over 50 % of the samples, respectively, MORCA water can be considered suitable for human consumption; only the groundwater from site EE-1, in the rainy season, was considered suitable for human consumption. US Salinity staff and Wilcox diagrams indicate that almost 50% of MORCA's groundwater is not suitable for irrigation use. MORCA's groundwater composition is dominated by evaporation and weathering of minerals such as anorthite, illite, and kaolinite.

Key words: Geochemical processes, hydrochemical facies, major ions, Piper diagram.

RESUMEN

Antecedentes. El agua subterránea es una fuente vital de agua tanto para actividades domésticas como agrícolas; y el agua del acuífero costero del río Mocorito (MORCA), localizado dentro del valle agrícola de Culiacán, Sinaloa, México, no ha sido la excepción. **Objetivos.** Evaluar la calidad del agua subterránea del MORCA para propósitos de consumo humano e irrigación, así como conocer los procesos geoquímicos que gobiernan su composición. **Métodos.** Veintidós muestras de agua de pozo fueron colectadas en épocas de sequía y de lluvias. Parámetros fisicoquímicos, iones mayoritarios, calidad del agua para consumo humano e irrigación fueron estudiados. **Resultados.** Los valores de TDS variaron de 1688-8762 mg L⁻¹ para época de secas y 89–10016 mg L⁻¹ para lluvias. Desde tierra adentro hacia la zona costera, el agua subterránea del MORCA se consideró de dura a muy dura, observando que las facies hidroquímicas son principalmente de tipo no-dominante, en época de secas; mientras que en lluvias son clasificadas como de tipo calcio-magnesio-sódica (catiónico) y bicarbonato y cloruro (aniónico). Los diagramas US Salinity Staff y Wilcox revelaron que el agua subterránea del MORCA no es apta para usos en irrigación. Por otro lado, los procesos geoquímicos que controlan la composición química de MORCA fueron la evaporación y meteorización. **Conclusiones.** De acuerdo con la clasificación del contenido de TDS e índices de calidad del agua (WQI y PHASECH) solo el 4.5 % y más del 50 % de las muestras, respectivamente, pueden ser consideradas apropiadas para el consumo humano. En el caso de aptitud agrícola, los diagramas US Salinity Staff and Wilcox, indicaron que casi 50% del agua subterránea del MORCA no es apta para ese propósito. La composición del agua subterránea del MORCA es dominada por evaporación y meteorización de minerales como anortita, illita y caolinita.

Palabras clave: Diagrama de Piper, facies hidroquímicas, iones mayoritarios, procesos geoquímicos.

INTRODUCTION

Groundwater is the major source of water supply around the world and is mainly employed for domestic, agricultural, and industrial activities. Groundwater chemistry determines its quality and therefore its proper use. It is influenced by natural factors such as climatic conditions, rain and surficial water percolation, recharge water quality, regional geology, sub-surficial geochemical processes, as well as discharges, leaching and organic matter addition from anthropogenic activities carried out over the aquifer, extraction, and irrigation practices (Brindha & Elango, 2011; Davraz & Özdemir, 2013).

In some places, groundwater is vital for human consumption and biota, thus continuous quality monitoring is crucial since irrigation with poor quality groundwater could threaten the health of all consumers and inhibit the growth and quality of crops. The hydrogeochemical study of groundwater is essential to understand the origin and evolution of its chemical composition and hence its quality. There is an extensive literature on groundwater quality assessment for human consumption and agricultural uses (Onwuka *et al.*, 2013; Murkute, 2014; Dar *et al.*, 2014; Krishna-Kumar *et al.*, 2014), based on conventional techniques such as the Piper (1953) and Gibbs (1970) diagrams in order to identify hydrochemical facies and geochemical processes. There are also quality indices like WQI (Vasanthavignar *et al.*, 2010; Krishna-Kumar *et al.*, 2014) and PHASECH (Peinado-Guevara *et al.*, 2011); Richards (1954) and Wilcox (1948) diagrams for assessment of agricultural suitability.

All of them take into account groundwater chemical composition (e.g., major ions, total dissolved solids, pH and conductivity). There are no studies on groundwater quality assessment in the MORCA area. However, Peinado-Guevara *et al.* (2011) studied the Sinaloa River coastal aquifer (SIRCA), the northern neighbor basin (between 25° 16' 38" and 25° 41' 13" N and from 108° 25' 02" to 108° 41' 22" W), and concluded that the SIRCA is highly sensitive to salinization due to its coastal condition, with a latent threat of saltwater intrusion during droughts, as well as the occurrence of evaporitic rocks away from the coast line.

MATERIALS AND METHODS

Study area. The Mocorito River Coastal Aquifer (MORCA), with an area of 1180 km², lies between 24° 56' 17" N and 25° 47' 26" N, and 107° 38' 07" and 108° 23' 35" W (Fig. 1.), in the central portion of the state of Sinaloa, Mexico, adjacent to important cities. It is an unconfined aquifer with fluvial and alluvial sediments (Cretaceous to Tertiary) lying on a consolidated conglomerate of low permeability, which in turn overlies volcanogenic materials (acid igneous rocks with the presence of Au, Ag, Cu, Pb and Fe) (Anonymous, 1978). MORCA's recharge is approximately 208 x 10⁶ m³/year (Comisión Nacional del Agua, 2009a). The Mocorito River basin (180 km in length) has its origin in the town of Terrero (Cerro San Pedro-Sierra Madre Occidental), at 1950 m AMSL, and its river mouth is on the Santa María La Reforma coastal lagoon, Playa Colorada bay (INEGI, 1995).

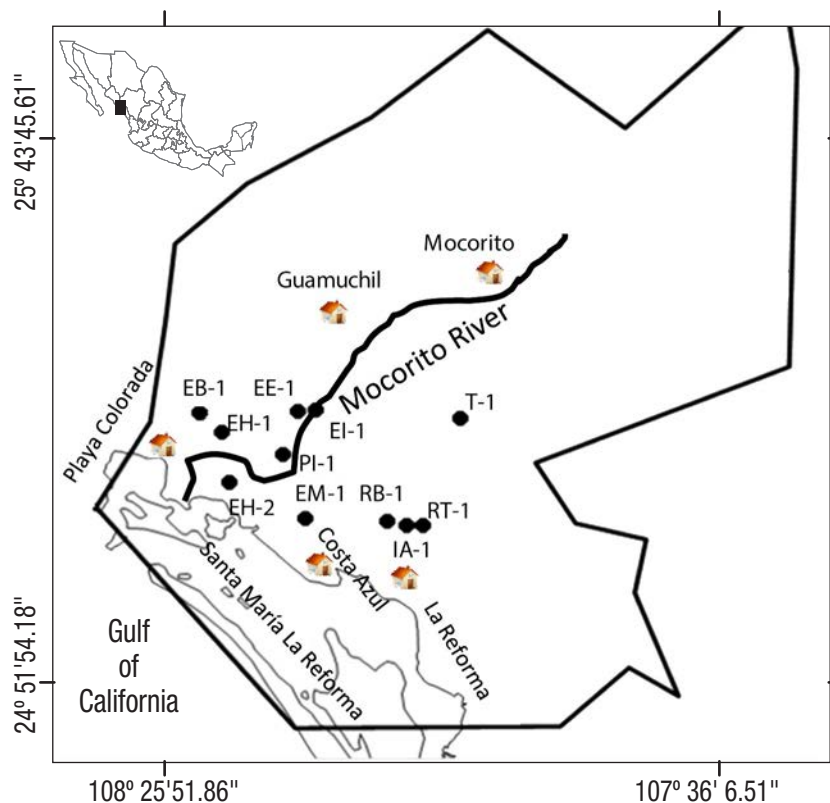


Figure 1. Location of the Mocorito River coastal aquifer area (Sinaloa, Mexico) and sampling stations.

The Culiacan Valley, where the MORCA is located, is the most important agricultural region in Sinaloa, with intensive agriculture activity (193,481 ha irrigated and 184,547 ha rain-fed) (Páez-Osuna *et al.*, 2007), growing vegetables such as corn, tomatoes, chili, and sorghum. Thus the main use for MORCA's groundwater, mainly in the dry season, is for irrigation; however, during drastic climatic events like drought or hurricanes, some communities employ groundwater for their drinking water consumption.

According to the Köppen Climate Classification System, modified by García (1964), the MORCA area has a warm, very dry climate, with an average annual temperature of 22 °C, and the rainy season occurs during summer (BW (h') W (e')). The precipitation on the MORCA region was 846.7 mm in 2013; however, significant variations were observed between both dry (0.1 and 0.2 mm in March and April, respectively) and rainy (169.4, 197.2 and 298.6 mm in July, August, and September) seasons (CONAGUA, 2014).

The main objective of this study was to evaluate the groundwater quality for both human consumption and agricultural suitability of the Mocorito River Coastal Aquifer in two different climatic seasons, using hydro-geochemical tools. Groundwater in this region is employed for irrigation and drinking water.

Sampling. Using a Bailer sampler, groundwater samples were collected from a network of 22 coastal wells (on average, the water table was 7 m below ground level) in two different climatic seasons, i.e., April (dry) and July (rainy) 2013 (Fig. 1). All the groundwater samples were collected 1 m below the water table. Sampling wells were selected based on the National Water Commission (CONAGUA, for its acronym in Spanish) (CONAGUA) well network. In addition, depending on their accessibility, we also took samples on private property, in houses and agriculture fields. Samples were collected in 60 mL high-density polyethylene (HDPE) bottles for chemical elements (cations and anions) and stored at 4 °C until they could be chemically analyzed in the laboratory. Auxiliary environmental parameters (pH, temperature, total dissolved solids (TDS), and Electrical conductivity (CE)) were measured *in situ* with previously calibrated potentiometers (HANNA models HI98127 and HI98130). Cation and anion concentrations were volumetrically (Ca²⁺, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻), gravimetrically (Mg²⁺, SO₄²⁻) with drying of residue, and flamometrically (Na⁺ y K⁺) defined in the Water, Soil and Plant Analysis Laboratory of the Irrigation District 010 Culiacán-Humaya of CONAGUA, a federal agency. Procedures were based on the soil and water analysis manual from the Agriculture and Hydric Resources Ministry of Mexico (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1974). Quality assessment for cations and anions concentrations was carried out according to the following ionic balance error expression proposed by Cabrera-Sansores *et al.* (2002):

$$\% \text{ Error} = (\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}) / (\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}) * 100 \quad (1)$$

where % Error must be less than 10 %.

Total dissolved solids (TDS) content, soluble sodium percentage (% Na⁺), the sodium-adsorption-ratio (SAR), and total hardness (TH) were determined following the equations:

$$\text{TDS} = \text{EC} / 1.65 \text{ in mhos/cm} \quad (2)$$

$$\text{TH} = 2.497 \text{ Ca}^{2+} + 4.115 \text{ Mg}^{2+} \quad (3)$$

$$\% \text{ Na}^+ = \text{Na}^+ + \text{K}^+ \times 100 / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ \quad (4)$$

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2} \quad (5)$$

where all ionic concentrations are expressed in meq/L for eqs. (3), (4), and (5).

Equation (2) was described by Peinado-Guevara *et al.* (2011) from a database compiled during more than 20 years, which takes into account the electrical conductivity (EC) of each sample. Equations 3, 4, and 5 were used by Vasanthavigar *et al.* (2010).

Once all the values were obtained, hydrochemical facies and the geochemical processes involved were identified using the Piper (1953) and Gibbs (1970) diagrams. Quality of drinking water was evaluated using two indices, WQI (Vasanthavigar *et al.*, 2010; Krishna-kumar *et al.*, 2014) and PHASECH (Peinado-Guevara *et al.*, 2011). Agriculture suitability was evaluated with the diagrams proposed by Richards (1954) and Wilcox (1948).

RESULTS

Results of laboratory and *in situ* measurements, data of environmental and hydrochemical parameters, TDS, and secondary parameters (% Na⁺, SAR and TH) are reported in Table 1. Overall, pH values were within an acceptable range that is suitable for human consumption (Secretaría de Salud, 2000), i.e., 6.8 and 8.4, averaging 7.6, during the dry season and 7.3 to 8.5, averaging 7.9 during the rainy season. The temperature of MORCA's groundwater averaged 26.6 and 28.3 °C in dry and rainy seasons, respectively. Likewise, EC high values were measured in both climatic seasons; they oscillated between 1,023 and 5,310 μS cm⁻¹, averaging 2,223 μS cm⁻¹ in the dry season; and from 54 to 6,070 μS cm⁻¹, with an average of 2,343 μS cm⁻¹ in the rainy season. TDS values (Table 1) during the dry season (1,688-8,761.5 mg L⁻¹) were higher than those in the rainy season (89-10,015.5 mg L⁻¹). Total hardness (TH) values were found between 180 to 2,001 mg L⁻¹ in the dry season and 25 to 1,750 mg L⁻¹ in the rainy season.

The concentrations of Ca²⁺ ranged between 2.3-20.8 meq L⁻¹ in the dry season and 0.3-7.3 meq L⁻¹ in the rainy season. Mg²⁺ fell below 19.2 meq L⁻¹, with a minimum of 0.5 meq L⁻¹ in the dry season and 31.9 and 0.2 meq L⁻¹ in rainy season. Na⁺ varied from 2.7 to 14.7 meq L⁻¹ in the dry season and from not detectable to 34.4 meq L⁻¹ in the rainy season. Anions had a lower content, except the case of Cl⁻, which had a minimum of 0.8 meq L⁻¹, with a maximum of 34 meq L⁻¹ in the dry season, and a minimum of 0.1 meq L⁻¹ and a maximum of 35 meq L⁻¹ in the rainy season.

DISCUSSION

Groundwater chemistry. A wider variation of EC was found in the rainy season, which can be related with dilution and/or differential rock-water interactions during water infiltration from the surface to the aquifer. According to Sánchez-Pérez and Trémolières (2003), Choi *et al.* (2005), and Murkute (2014), groundwater with high EC and large variations of this parameter are attributed to an ion exchange and solubilization processes within the aquifers (geochemical processes through water-rock interaction), as well as anthropogenic activities in aquifers. Peinado *et al.* (2011) have registered the occurrence of salt domes or lenses in the region. This kind of geological bodies can also produce the high EC values, especially in sites far from the coastline. In accordance with the irrigation water EC classification proposed by Richards (1954),

Table 1. Environmental and physicochemical parameters of groundwater samples from the Mocerito River coastal aquifer (MORCA), Sinaloa, Mexico. Units: Major ions (meq/L), T = temperature (°C), S = salinity (‰), EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$), TDS (mg/L), TH (mg/L), SAR (Sodium-Adsorption-Ratio, no units), and %Na (%).

ID	pH	T	S	EC	TDS	TH	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SAR	%Na	%Error
Dry season																
EH-1	8.3	27.7	1	1104	1821.6	200.1	7.04	2.3	1.7	2.4	4.2	3.6	0.8	5	63.8	0
EH-2	7	23.8	2	2460	4059	700.3	10.6	6.7	7.3	13.8	5.6	4.8	0.4	4	43.1	0
EB-1	8.4	24.3	1	2250	3712.5	390.2	14.7	4	3.8	12.8	5.5	3.8	0.4	7.4	65.3	0
PI-1	7.5	27.4	1	1023	1688	290.1	4.4	3.1	2.7	3.8	1.6	4	0.8	2.6	43.3	0
EE-1	6.9	26.6	0	1132	1867.8	430.2	2.7	3.3	5.3	2.6	3.3	4.6	0.8	1.3	24	0
EI-1	7.6	27.6	5	5310	8761.5	2000.9	13.1	20.8	19.2	34	14.1	5	0	2.9	24.7	0
EM-1	8.4	24.8	2	1657	2734.1	250.2	11.6	4.2	0.8	4.4	3	7.2	2	7.3	69.8	0
IA-1	6.8	29.6	0	1476	2435.4	450.1	5.8	2.3	6.7	7.2	2.6	4.6	0.4	2.7	39	0
RB-1	7.6	28.4	0	1042	1719.3	180.1	6.8	3.1	0.5	3	3.8	2.8	0.8	5.1	65.5	0
RT-1	8	26.2	2	3210	5296.5	980.4	12.5	7.3	12.3	12.6	13.7	5	0.8	4	38.9	0
T-1	7.4	26.1	5	3790	6253.5	1520.7	7.5	15	15.4	20.6	13.5	3.4	0.4	1.9	19.8	0
Rainy season																
EH-1	8.5	27	1	1084	1788.6	170.1	7.4	2.1	1.3	3	2.4	3.8	2.6	5.7	68.6	0
EH-2	7.3	27	0	2030	3349.5	520.2	9.9	3.1	7.3	10	5.1	4.8	0.4	4.3	48.8	0
EB-1	7.5	27	1	731	1206.2	150.1	4.3	1	2	2.8	1.9	2.2	0.4	3.5	59	0
PI-1	8.3	28	0	1112	1834.8	300.1	5.1	2.1	3.9	3.8	2.3	3	2	3	46	0
EE-1	7.8	27	0	54.2	89.4	25	0.0	0.3	0.2	0.1	0	0.2	0.2	0.1	7.8	0
EI-1	7.7	34	4	6070	10015.5	1750.4	25.7	3.1	31.9	35	22.7	1	2	6.1	42.3	0
EM-1	7.8	27	1	1576	2600.4	140.1	13	1.3	1.6	4	2	5.8	4	11	82.2	0
IA-1	8.5	33	1	1715	2829.8	450.1	8.2	2.3	6.7	8.8	2.2	4.2	2	3.8	47.5	0
RB-1	8.2	27	2	4140	6831	350.7	34.4	5.2	1.8	15	20.4	4	2	18.4	83.1	0
RT-1	8.1	27.5	3	3500	5775	1000.4	15	7.3	12.7	13.2	15.8	2.8	3.2	4.7	42.9	0
T-1	7.7	27	2	3760	6204	1400.3	9.6	3.1	24.9	21	14.2	1.6	0.8	2.6	25.5	0

on average, MORCA groundwater was classified as having very high salinity (2,250-5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$).

Krishna-Kumar *et al.* (2014) suggested that waters with low TDS (373-895 mg L⁻¹) are influenced by rock-water interaction related to recharge, while waters with high TDS (959-4,669 mg L⁻¹) are influenced by anthropogenic sources. A classification of the type of groundwater based on TDS content (Heath, 1983) is shown in Table 2. Most of the samples from both seasons can be classified as slightly to moderately saline, except for one sample (EI-1) took during the rainy season, which was classified as highly saline, and another (EE-1) from the same period that was classified as freshwater. According to the desirable maximal value of TDS suggested by the World Health Organization (WHO 2006; 500 mg L⁻¹) and NOM-127-SSAI-1994 (Secretaria de Salud, 2000; 1,000 mg L⁻¹), only 4.5 % of the samples (site EE-1) during both seasons are considered suitable for human consumption.

Following Sawyer & McCarty's classification (1967), all samples collected in the dry season are hard to very hard, while of those collected in the rainy season, 9 % are soft, 9 % are moderately hard, 18 % are hard, and 64 % are very hard (Table 3). Significant differences were not found for any of the aforementioned parameters in either climatic season. The World Health Organization (WHO 2006) and NOM-127-

SSAI-1994 (Secretaria de Salud, 2000) indicate that the maximal value of TH tolerated by human beings is 500 mg L⁻¹. In this regard, most of the MORCA samples showed a good degree of hardness (< 500 mg L⁻¹), except for the EH-2, EI-1, RT-1, and T-1 sites (> 500 mg L⁻¹) in both seasons.

On average, the ionic order observed was Cl⁻ > Na⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺ > SO₄²⁻ > HCO₃⁻ > CO₃²⁻ and Na⁺ > Cl⁻ > Mg²⁺ > SO₄²⁻ > HCO₃⁻ > Ca²⁺ > CO₃²⁻ for dry and rainy seasons, respectively. A special concern involved the low observed SO₄²⁻ concentrations (Table 1) in all samples (max= 22.7 mg/L, in well EI-1), which may indicate reduction processes occurring in the system that produce sulfide minerals precipitates. Unfortunately, tests for NO₃, NO₂, and oxidation-reduction potential, some trace elements, and microbiological composition, which might serve as proxies for specifying the oxidation-reduction condition of water, were not carried out.

Hydrochemical facies and geochemical processes involved. The triangular Piper's diagram is commonly used in water chemistry studies to show the percentage of ionic composition and to identify water types. The study area showed significant variations in the concentrations of cationic and anionic composition (Figure 2). Na⁺ and Mg²⁺ dominated over Ca²⁺; while prevalence of HCO₃⁻ and Cl⁻ was evident in the anionic

Table 2. Mocorito River coastal aquifer groundwater classification based on TDS content (Classification suggested by Heath, 1983).

	EH-1	EH-2	EB-1	PI-1	EE-1	EI-1	EM-1	IA-1	RB-1	RT-1	T-1
Dry season											
TDS (mg L ⁻¹)	1821.6	4059	3712.5	1688	1867.8	8761.5	2734.1	2435.4	1719.3	5296.5	6253.5
Classification	■	▲	▲	■	▲	▲	■	■	■	▲	▲
Rainy season											
TDS (mg L ⁻¹)	1788.6	3349.5	1206.2	1834.8	89.4	10015.5	2600.4	2829.8	6831	5775	6204
Classification	■	▲	■	■	●	★	■	■	▲	▲	▲

● Fresh= (0-1000), ■ Slightly saline=(1000-3000), ▲ Moderately saline = (3000-10000), ★ Highly saline= (10000-35000), ✱ Briny= (>35000 (mg L⁻¹)).

group. Most of MORCA's groundwater in the dry season fell within the area of non-dominant type B; however, a few samples can be classified as sodium (cation triangle) and bicarbonate and chloride (anion triangle) types. During the rainy season, groundwater can be classified as calcium, magnesium, and sodium cationic types, and as bicarbonate and chloride anionic types (Fig. 2). Similar results were recorded by CONAGUA (2009a y b), which noted that groundwater from the MORCA belongs to the sodium, calcium, and bicarbonate types (Na-Ca-HCO₃).

A dominance of Na was found in the EH-2, EB-1, EE-1, EI-1, RT-1, and T-1 wells, attributable to the occurrence of salt domes or lenses in the region (Peinado-Guevara *et al.*, 2011), as well as the coastal condition of the study area, with a possible saline intrusion from the shore.

In fact, Mtoni *et al.* (2012) indicated that water Cl⁻ and Na⁺-Cl⁻ chemical types are due to a saline intrusion process caused by stronger interaction between fresh water and seawater in many coastal aquifers, such as MORCA. Since chloride is a dominant anion in seawater and bicarbonate in groundwater, they can be used as end-members of these two water types and can indicate salt-water intrusion (Jamshidzadeh & Mirbagheri, 2011). Figure 3 shows the Cl⁻ versus HCO₃⁻ plots for both climatic seasons. A line with a slope of 2.8 was drawn on the plots to represent the threshold for this process (Raghunath, 1990). For both seasons, Cl⁻ concentration in samples EI-1 and T-1 were markedly more than 2.8 times higher than HCO₃⁻ concentration, probably due to Cl⁻ external sources. The sites where these samples were collected are the farthest wells from the seacoast and no evidence of salt-water intrusion

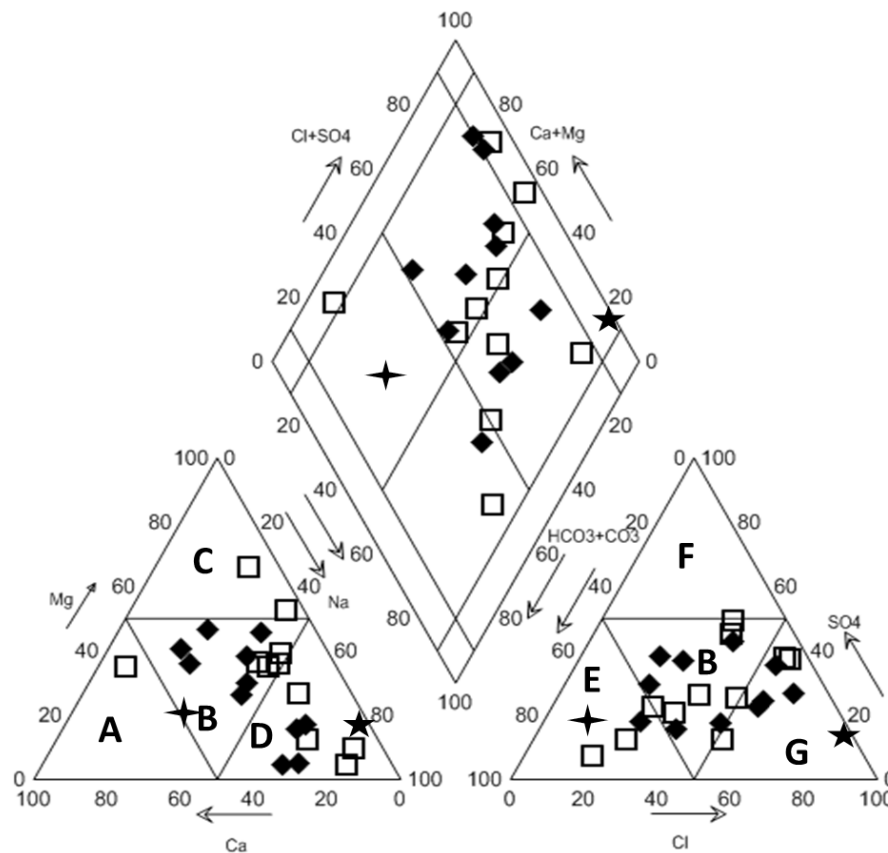
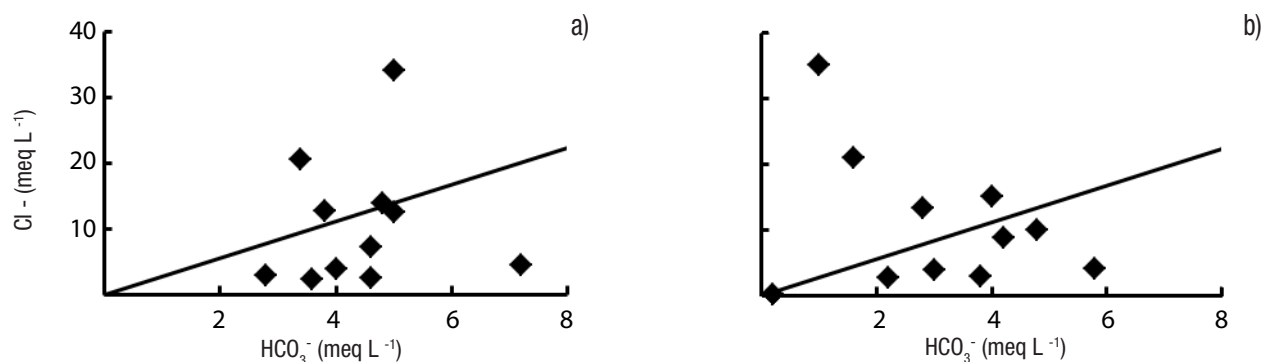


Figure 2. Piper-Hill-Langelier diagram for groundwater samples from the Mocorito River coastal aquifer (Sinaloa Mexico) taken in dry (◆) and rainy season (□). A = Calcium Type, B = no dominant type, C = Magnesium type, D = Sodium and potassium type, E = Bicarbonate type, F = Sulfate type and G = Chloride type. Typical seawater (★) and groundwater (▲). Data were also plotted as references (Millero & Sohn, 1992).



Figures 3a-b. Chlorine versus bicarbonate content in groundwater samples from the Mocerito River coastal aquifer (Sinaloa, Mexico). a) Dry season. b) Rainy season.

was observed in the coastal wells. According to Peinado-Guevara *et al.* (2011), low-quality water in terms of its salt content was observed in the Sinaloa River coastal aquifer (SIRCA), sufficiently away from the coastline due to occurrence of Pleistocene saline lenses.

We used a Gibbs diagram (1970) in order to understand the geochemical processes (precipitation, rock-interaction, and evaporation dominance) that affect the chemical composition (source of dissolved chemicals) of the MORCA's groundwater. According to this diagram (Fig. 4), the chemical composition of MORCA's groundwater is controlled by processes of evaporation and weathering in both climatic seasons. Similar results have been observed in different studies (Drago & Quiros, 1996; Subba-Rao, 2006; Peinado-Guevara *et al.*, 2011; Murkute, 2014; Krishna-Kumar *et al.*, 2014), that state that the prevalence of evaporation processes is related to the climate conditions of the region. In semi-dry regions, such as the one where MORCA is located, these climate conditions increase the evaporation rate, raising Na^+ , Cl^- and TDS contents and, therefore, salinity, such as the waters we studied herein. Likewise, these authors indicate that the dominance of a weathering process is due to water percolating into the subsoil, as well as the lack of good drainage conditions and long residence time of the groundwater that increase rock-water interaction, releasing different ions into the water. Moulla *et al.* (2013) studied the hydro-geochemistry of the Wadi Nador alluvial aquifer in the Western Algiers Coastal Area. They plotted the Na^+/Cl^- ratio vs Cl^- concentration and observed two trends; one was related to matrix dissolution, where the ratio variability seems to be independent of chlorinity, and the other, where the ratio increased with chlorine, suggesting marine intrusion. Data from our study were also plotted (Fig. 5) and a matrix dissolution trend was observed, with Na^+/Cl^- ratio independent of Cl^- concentration.

Water quality for human consumption. Groundwater chemistry has been used as a tool to evaluate water quality for human consumption and agriculture suitability (Subba-Rao, 2006; Vasanthavigar *et al.*, 2010; Krishna-Kumar *et al.*, 2014). For human consumption, two water quality indices were used in this study: (1) WQI proposed by Krishna-Kumar *et al.* (2014) and, (2) PHASECH, developed by Peinado-Guevara *et al.* (2011). Both indices take into account the standard values of several key parameters of groundwater chemistry established by the WHO (2006).

To calculate the WQI, weights (from 1 to 5) were assigned according to the relative importance of each physicochemical parameter in water quality as suggested by Vasanthavigar *et al.* (2010) and Krishna-Kumar *et al.* (2014): $\text{TDS} = 5$; pH , EC , and $\text{SO}_4^{2-} = 4$; HCO_3^- and $\text{Cl}^- = 3$; Ca^{2+} and $\text{Na}^+ = 2$; $\text{Mg}^{2+} = 1$. The relative weights were calculated with the following equation:

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (6)$$

where W_i is the relative weight and w_i is the weight of each parameter. The quality rating of each parameter (q_i) was calculated by dividing its concentration in a groundwater sample (C_i) by its respective standard value (S_i) and multiplying by 100:

$$q_i = (C_i / S_i) \times 100 \quad (7)$$

After that, the quality sub-index (SL_i) was computed for each i th parameter:

$$SL_i = W_i \times q_i \quad (8)$$

Finally, WQI is determined for each groundwater sample:

$$\text{WQI} = \sum SL_i \quad (9)$$

Table 3. Mocerito River coastal aquifer groundwater classification based on total hardness (TH). (Classification suggested by Sawyer and McCarty, 1967).

TH (mg/L)	Water type	Number of Samples		Percentage of samples (%)	
		Season		Season	
		Dry	Rainy	Dry	Rainy
<75	Soft	-	1	-	9
75 – 150	Moderately hard	-	1	-	9
150 – 300	Hard	4	2	36	18
>300	Very hard	7	7	64	64

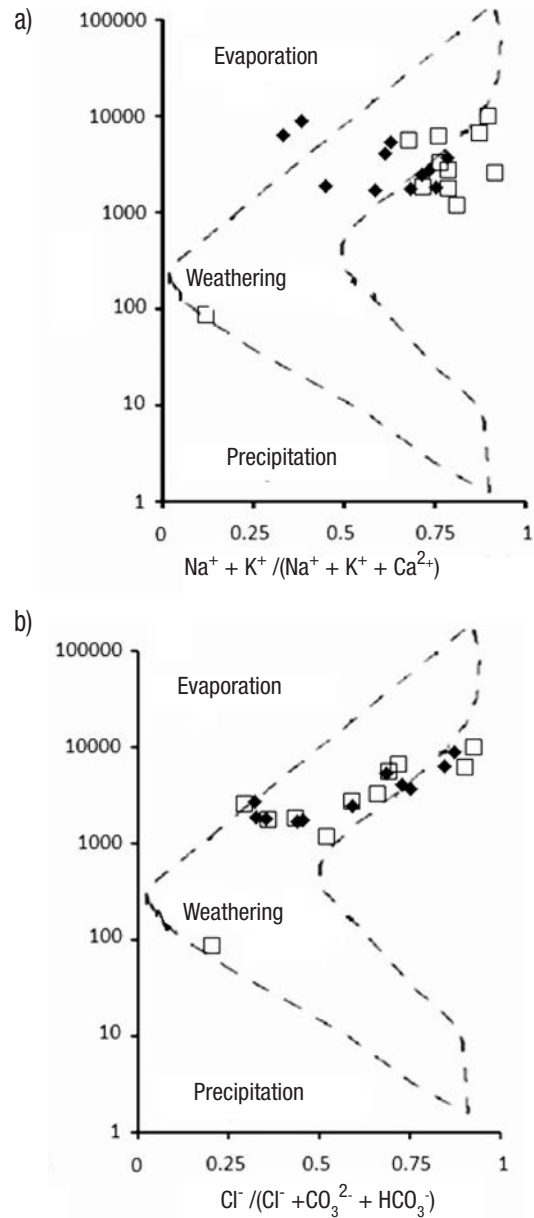
Water quality classification ranges and types of water based on WQI values suggested by Vasanthavigar *et al.* (2010) and Krishna-Kumar *et al.* (2014) are shown in Table 4. According to this classification, most of the MORCA's groundwater is of poor quality, with samples from both climatic seasons falling in the range of poor quality to water unsuitable for drinking purposes; except for samples EB-1 and EE-1 in the rainy season, which were classified as good and excellent water, respectively (Table 5). Onwuika *et al.* (2013) attributed the contamination of groundwater during the dry season to ion leaching and lower groundwater flow; in the rainy season, water table on the aquifers become shallower, allowing infiltration and percolation of surficial runoff loaded with municipal and agricultural wastewater, which can alter the quality of the receiving water body.

Moreover, the PHASECH index suggested by Peinado-Guevara *et al.* (2010) considers only five parameters (pH, TH, Na⁺, Cl⁻ and TDS), assigning a value of 1 to those parameters that fulfill the World Health Organization quality guideline. The higher the PHASECH value, the better the water quality in terms of the evaluated parameters. The PHASECH values obtained after comparing the values of each parameter measured against the WHO guideline are shown in Table 6. Like the WQI, in terms of the PHASECH index, over 50% of MORCA groundwater samples can be classified as low to intermediate quality water; while only a few samples had high quality (fulfilled with more than 4 parameters).

According to Paez-Osuna *et al.* (2007), there are 169,232 inhabitants in the study area, with only 40,945 living in Angostura county, where most of the water samples for this study were collected (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010). Some of the sampled wells were located inside private houses, where, because of hurricanes and droughts, their owners, as well as the Angostura County Union for Potable Water and Sewage Pipeline System (JUMAPAANG), use groundwater to supply the entire community and cover almost all of human needs for domestic and drinking consumption. Given this use of groundwater, assessing water quality is very important.

For drinking water, several researches have studied groundwater quality (Vasanthavigar, 2010; Nagarajan, 2010; Murkute, 2014; Varol & Davraz, 2015). In their investigation of water quality in the Tefenni aquifer plain, Turkey, Varol and Davraz (2015) employed WQI and multivariate analysis and showed that close to 90% of the 52 sampled wells had excellent quality, suitable for human drinking water in both climatic seasons (dry and wet). These authors concluded that the groundwater chemistry of the Tefenni aquifer is affected by two factors: 1) water-rock interaction; and 2) agricultural activities in the area. On the other hand, in Mexico, Peinado-Guevara *et al.* (2011) studied the quality and suitability of SIRCA water for agricultural and domestic use found that the sites with better quality, in terms of the PHASECH index, were located close to the banks of the Sinaloa River, but tended to decrease in quality the closer to the coastline they were. They explained this behavior due to the presence of evaporitic bodies and to the potential effect of the saline intrusion from the seawater. Our study was carried out in the more coastal portion of the MORCA, where the effects of saline intrusion or intensive agriculture can be the main factors affecting water quality.

Water quality for irrigation uses. The assessment of groundwater quality for irrigation purposes was based on the estimation of two secondary parameters: sodium absorption ratio (SAR) and soluble sodium percentage (%Na⁺), as well as EC values, which are related to the amount of soluble salts in irrigation water. According to Khodapanah *et al.* (2009) and Onwuika *et al.* (2013), reduction in water uptake by plant



Figures 4a-b. Mechanism affecting the chemical composition of the groundwater samples from the Mocorito River coastal aquifer (Sinaloa, Mexico) in Dry season (◆) and Rainy season (□). TDS vs a) cations and b) anions contents (Classification suggested by Gibbs, 1970).

Table 4. Classification of water type suggested by Vasanthavigar *et al.* (2010).

Range	Water type
<50	Excellent water
50 – 100	Good water
100 – 200	Poor water
200 – 300	Very poor water
>300	Water unsuitable for drinking purposes

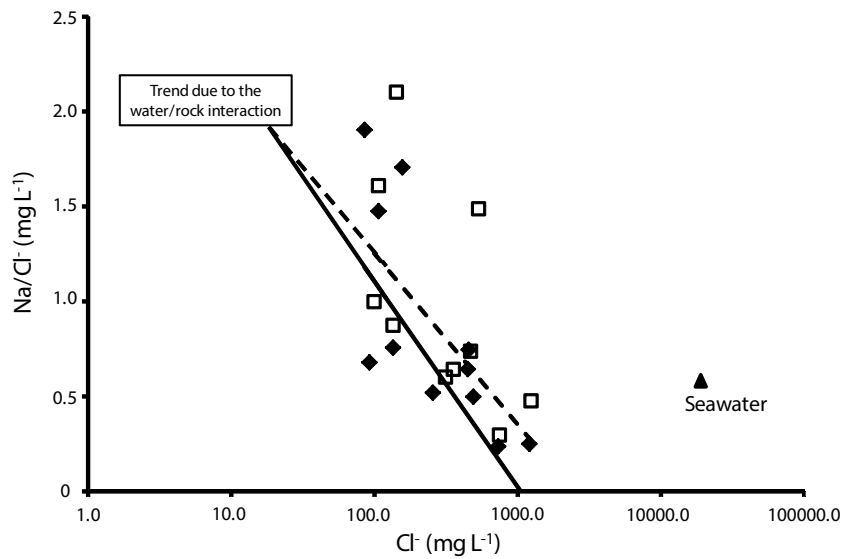


Figure 5. Na⁺/Cl⁻ vs Cl⁻ content plots for dry (◆) and rainy season (□) in samples from the Mocerito River coastal aquifer (Sinaloa, Mexico). Seawater data were taken from Millero & Sohn (1992).

roots may be due to an increase in the osmotic pressure of the soil, which is due to an excess of dissolved solids in the water.

Sodium Absorption Ratio (SAR), %Na and EC values for MORCA's groundwater samples are shown in Table 1. SAR oscillated between 1.3 and 7.4, with an average of 4.0 for the dry season and from 0.1 to 18.4, with an average of 5.7 in the rainy season. Similar results were recorded by Vasanthavigar *et al.* (2010), who indicated that groundwater with SAR > 2 is unsuitable for irrigation. A higher average of %Na⁺ was found in the rainy season (50.3%) than in the dry season (45.2%). The variation in %Na⁺ between both periods may be due to the residence time of water in the aquifer and the dissolution of minerals from the lithological composition.

Richards (1954) and Wilcox (1948) diagrams were applied to assess water quality for irrigation (Fig. 6 and 7, respectively). Richards (1954) plots the EC values on the "X" axis, which are classified based

on salinity (alkali) hazards as follows: low (C1), medium (C2), high (C3), and very high (C4); the SAR values are placed on the "Y" axis and are classified as low (S1), medium (S2), high (S3), and very high sodium hazards (S4). On the other hand, the Wilcox diagram is obtained by plotting the EC values on the "X" axis and %Na⁺ values on the "Y" axis. This diagram classified water from unsuitable to excellent for irrigation.

In general, groundwater samples from MORCA have combinations of high (C3) to very high salinity risk (C4) and a low (S1) to medium sodium risk (S2) for both climatic seasons; except for two samples from the rainy season that are classified as C3 - S3 and C4 - S4 (Fig. 6). This means that most MORCA's water cannot be used for irrigation in agricultural soils with restricted drainage. For agriculture to be profitable in this region, the soil must have a coarse texture or be organic, with high permeability to allow leachate of irrigation water, with crops and plants appropriately selected for high salinity tolerance (Richards 1954; Wilcox 1955; Ackah *et al.* 2011).

Table 5. Water quality index (WQI) classification for individual water samples from the Mocerito River coastal aquifer (Sinaloa, Mexico).

ID	Dry season		Rainy season	
	WQI	Water type	WQI	Water type
EH-1	121	Poor water	116	Poor water
EH-2	251	Very poor water	207	Very poor water
EB-1	231	Very poor water	82	Good water
PI-1	110	Poor water	118	Poor water
EE-1	121	Poor water	18	Excellent water
EI-1	540	Water unsuitable for drinking purpose	600	Water unsuitable for drinking purpose
EM-1	170	Poor water	154	Poor water
IA-1	151	Poor water	173	Poor water
RB-1	115	Poor water	421	Water unsuitable for drinking purpose
RT-1	331	Water unsuitable for drinking purpose	358	Water unsuitable for drinking purpose
T-1	393	Water unsuitable for drinking purpose	379	Water unsuitable for drinking purpose

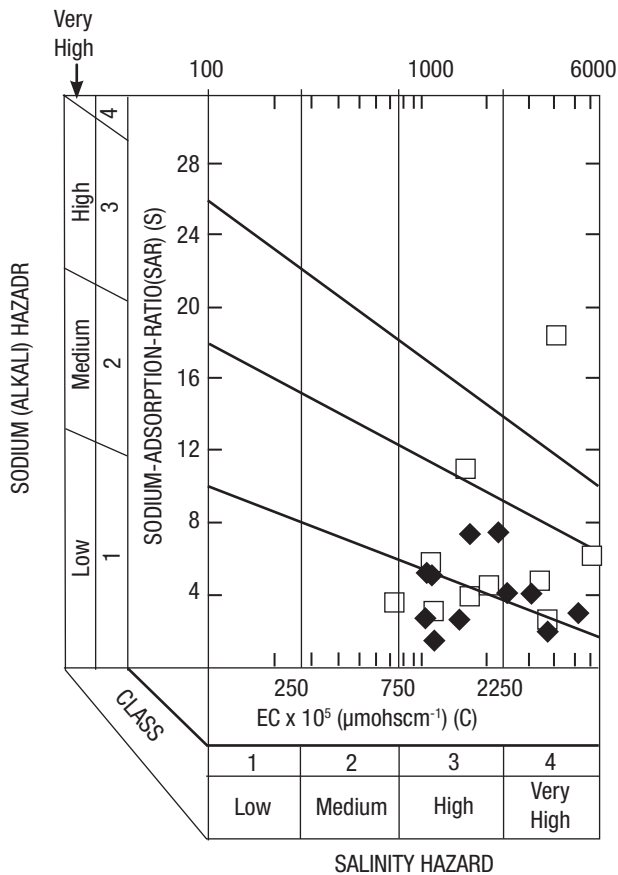


Figure 6. US salinity diagram for classification of the groundwater samples from the Mocorito River coastal aquifer (Sinaloa, Mexico) (◆ = Dry season; □ = Rainy season).

To confirm the above, a Wilcox diagram (Fig. 7) revealed that only 5% of the groundwater samples (for both seasons) fell in the excellent to good classification for irrigation, 23 % were classified as good to permissible for irrigation, 27 % were permissible to doubtful water, and the remaining 45 % were classified as doubtful to unsuitable for irrigation.

Paez-Osuna *et al.* (2007) reported that 378,028 ha of agricultural fields lie on the MORCA, a part of the Santa Maria La Reforma Coastal Lagoon sub-basin. About 193,481 ha are used for agricultural irrigation; seasonal agriculture occurs on the remaining 184,547 ha. The extraction of groundwater from the MORCA becomes necessary during severe droughts.

Peinado-Guevara *et al.* (2011) studied the Sinaloa River aquifer, which is adjacent to the northern portion of MORCA, and observed that almost 35% of their groundwater samples fell inside the C3 (high salinity hazard) – S1 (low sodium hazard) zone in the US Salinity diagram, suggesting that they are suitable for irrigation. In addition, these authors observed that 52% of the evaluated water samples were classified as unsuitable for irrigation according to the Wilcox diagram ($EC > 3000 \mu S cm^{-1}$). Water with low SAR but high EC can be used for irrigation only where fields have efficient drainage.

Nagarajan *et al.* (2010) state that the concentration of sodium in irrigation water is very important, because a high Na^+ concentration has the ability to increase the exchange of this ion with the soil and affect its permeability. These authors also indicate that a high combination of Na^+ and CO_3^{2-} in the water leads to the formation of alkaline soils, while a high combination of Na^+ and Cl^- leads to the formation of saline soils. These two types of soils prevent normal plant growth.

They conclude that MORCA's groundwater has a neutral-alkaline pH in both dry and rainy seasons, with an average temperature of 26.6 and 28.3 °C, respectively. Most of the MORCA's groundwater can be classified as light to highly saline and moderately to very hard. Ionic concentrations follow the sequence $Cl^- > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > SO_4^{2-} > HCO_3^- > CO_3^{2-}$ and $Na^+ > Cl^- > Mg^{2+} > SO_4^{2-} > HCO_3^- > Ca^{2+} > CO_3^{2-}$ for dry and rainy seasons, respectively. The Piper diagram revealed hydro-chemical facies such as sodium, bicarbonate, and chloride during the dry season; during the rainy season, the facies were calcium, magnesium, sodium, bicarbonate, and chloride types. Furthermore, the Gibbs diagram indicated that the chemistry of MORCA's groundwater is determined by water evaporation and rock-weathering processes.

In terms of water quality, more than 50 % of the groundwater samples were unsuitable for human consumption during both climatic periods; however, two samples had good to excellent quality for consumption. Most of MORCA's groundwater cannot be used for irrigation, since, according to the Richards (1954) diagram samples from most of the sites were classified as C3-S1, C3-S2, C4-S1, and C4-S2. In addition, the Wilcox diagram showed that almost 45% of the groundwater samples are not suitable for irrigation use.

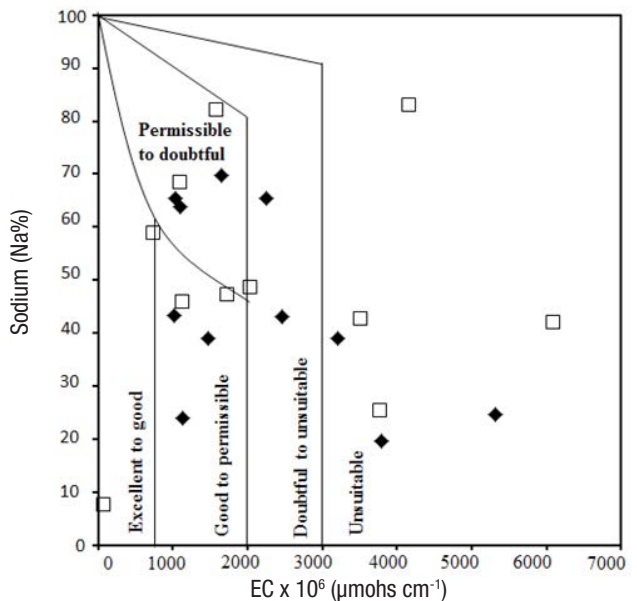


Figure 7. Wilcox diagram for classification of the groundwater samples from the Mocorito River coastal aquifer (Sinaloa, México) for irrigation uses (◆ = Dry season; □ = Rainy season).

Table 6. Mocorito River coastal aquifer (Sinaloa, Mexico) water quality index (PHASECH) classification.

ID	pH		TH (mg L ⁻¹)		Na ⁺ (mg L ⁻¹)		Cl ⁻ (mg L ⁻¹)		TDS (mg L ⁻¹)		PHASECH*	
	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy
EH-1	√	√	√	√	√	√	√	√	×	×	4	4
EH-2	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×	1	1
EB-1	√	√	√	√	×	√	×	√	×	×	2	4
PI-1	√	√	√	√	√	√	√	√	×	×	4	4
EE-1	√	√	√	√	√	√	√	√	×	√	4	5
EI-1	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×	1	1
EM-1	√	√	√	√	×	×	√	√	×	×	3	3
IA-1	√	√	√	√	√	√	×	×	×	×	3	3
RB-1	√	√	√	√	√	×	√	×	×	×	4	2
RT-1	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×	1	1
T-1	√	√	×	×	√	√	×	×	×	×	2	2

√ Under the standard; × Over the standard; *Peinado-Guevara *et al.* (2011).

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded by the Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica from the Universidad Nacional Autónoma de México, PAPIIT IN107813, and partially funded by the Programa de Mejoramiento del Profesorado de la Secretaría de Educación Pública, Red Temática de Colaboración Académica, “Contaminación acuática: Niveles y efectos.” J. Rivera-Hernández had a Ph. D. fellowship from CONACYT. L. Pelling-Salazar and A. Trejo-Alduenda had Sc. Ms. fellowships from CONACYT. The authors thank Ariel Campo Quintana from the Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)-Culiacán for his analytical work and Francisco Montes from CONAGUA-Guamúchil, Nuria Alonso, and Hernán Quiroga for their support in collecting samples.

REFERENCES

- ANONYMOUS, 1978. Atlas geológico y evaluación geológica minera del Estado de Sinaloa. Rodríguez R., Córdoba D. (Eds). Instituto de Geología. Univ. Nat. Autón. México. Hojas I “Mocorito”; II “Culiacán”; III “Tamazula” y IV “La Peña”, México.
- ACKAH, M., O. AGYANG, A. K. ANIM, J. OSEI, N. O. BENTIL, L. KPATTAH, E. T. GYAMFI & J. E. K. HANSON. 2011. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation: the case study of Teiman-Oyarifa Community, Ga East Municipality, Ghana. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Science* 1(3-4): 186-194.
- BRINDHA, K. & L. ELANGO. 2011. Hydrochemical characteristics of groundwater for domestic and irrigation purpose in Madhurantakam, Tamil Nadu, India. *Earth Sciences Research Journal* 15(2): 101-108.
- CHOI, B. Y., S. T. YUN, S. Y. YU, P. K. LEE, S. S. PARK, G. T. CHAE & B. MAYER. 2005. Hydrochemistry of urban groundwater in Seoul, South Korea: effect of landuse and pollutant recharge. *Environmental Geology* 48(8): 979-990.
- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2009a. *Acuerdo por el que se da a conocer la ubicación geográfica de 371 acuíferos del territorio nacional, se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de 282 acuíferos, y se modifica, para su mejor precisión, la descripción geográfica de 202 acuíferos.* (Diario Oficial de la Federación, 28 de agosto de 2009, Gobierno Federal de los Estados Unidos Mexicanos, Segundo, Tercera y Cuarta Secciones. pp. 2-402.
- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2009b. Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea y modificación, para su mejor precisión, de la descripción geográfica del acuífero del río Mocorito. *Diario Oficial de la Federación*, 28 de agosto de 2009, Gobierno Federal de los Estados Unidos Mexicanos. 27 p.
- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2014. *Información histórica, temporada de ciclones 2014.* Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en línea en: <http://smn.cna.gob.mx/tools/DATA/Climatología/Pronóstico%20climático/Temperatura%20y%20Lluvia/PREC/2013.pdf> (consultado el 7 de febrero de 2017).
- DAR, F. A., J. PERRIN, SH. AHMED, A. C. NARAYANA & J. RIOTTE. 2014. Hydrogeochemical characteristics of karst aquifer from a semi-arid region of southern India and impact of rainfall recharge on groundwater chemistry. *Arabian Journal of Geosciences* 8 (5): 2739-2750. DOI: 10.1007/s12517-014-1440-9
- DAVRAZ, A. & A. ÖZDEMİR. 2013. Groundwater quality assessment and its suitability in Çeltikçi plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Sciences* 72 (4): 1167-1190. DOI: 10.1007/s12665-013-3036-1
- DRAGO, E. & R. QUIROS. 1996. The hydrochemistry of the inland waters of Argentina: a review. *International Journal of Salt Lake Research* 4 (4): 315-325.
- GARCÍA, E. 1964. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.* Offset Larios, México. 71 p.
- GIBBS, R. J. 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science* 170 (3962): 1088-1090.
- HEATH, R. C. 1983. *Basic ground-water hydrology.* U.S. Geological Survey. Geological Survey Water-supply paper 2220. Reporte técnico. 84 p.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). 1995. *Estudio Hidrológico del Estado de Sinaloa.* Gobierno del Estado de Sinaloa. 40 p.

- JAMSHIDZADEH, Z. & S. A. MIRBAGHERI. 2011. Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. *Desalination* 270: 23-30. DOI:10.1016/j.desal.2010.10.067
- KHODAPANAH, I., W. N. A. SULAIMAN & N. KHODAPANAH. 2009. Groundwater quality assessment for different purposes in Eshtehard District Tehran-Iran. *European Journal of Scientific Research* 36 (4): 543-553.
- KRISHNA-KUMAR, S., A. LOGESHKUMARAN, N. S. MAGESH, P. S. GODSON & N. CHANDRASEKAR. 2014. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science* 5 (4): 335-343. DOI: 10.1007/s13201-014-0196-4.
- MILLERO, F. J. & M. L. SOHN. 1992. The Composition of the Major Components of Seawater. In: Millero F. J. (Ed). *Chemical Oceanography*. CRC Press Inc. United States of America. 59-113 p.
- MOULLA, A. S., A. GUENDOUZ, M. BELAJDI, H. MAAMAR & S. OUAREZKI. 2013. Hydrogeochemical and Isotopic Assessment of Seawater Intrusion into wadi Nador Alluvial Aquifer in the Western Algiers Coastal Area (Tipaza, Algeria). Applied Isotopic Geochemistry Conference (AIG10-10th). Available online at: https://www.researchgate.net/profile/Adnane_Moulla/publication/268786366_Hydrogeochemical_and_Isotopic_Assessment_of_Seawater_Intrusion_into_wadi_Nador_Alluvial_Aquifer_in_the_Western_Algiers_Coastal_Area_Tipaza_Algeria/links/5475c9300cf2778985af1145/Hydrogeochemical-and-Isotopic-Assessment-of-Seawater-Intrusion-into-wadi-Nador-Alluvial-Aquifer-in-the-Western-Algiers-Coastal-Area-Tipaza-Algeria.pdf (downloaded February 20, 2017).
- MTONI, Y., I. MJEMAH, K. MSINDAI, M. VAN-CAMP & K. WALRAEVENS. 2012. Salt-water intrusion in the quaternary aquifer of the Dar Es Saalam Region, Tanzania. *Geologica Belgica* 15 (1-2): 16-25.
- MURKUTE, Y. A. 2014. Hydrogeochemical characterization and quality assessment of groundwater around Umrer coal mine area Nagpur District, Maharashtra, India. *Environmental Earth Sciences* 72 (10): 4059-4073. DOI: 10.1007/s12665-014-3295-5.
- NAGARAJAN, R., N. RAJMOHAN, U. MAHENDRAN & S. SENTAMILKUMAR. 2010. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agriculture use in Thanjavur City, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 171 (1-4): 289-308. DOI: 10.1007/s10661-009-1279-9.
- ONWIKA, O. S., O. V. OMONONA & O. C. ANIKA. 2013. Hydrochemical characteristics and quality assessment of regolith aquifers in Enugu metropolis, southeastern Nigeria. *Environmental Earth Sciences* 70 (3): 1135-1141. DOI: 10.1007/s12665-012-2200-3.
- PÁEZ-OSUNA, F., G. RAMÍREZ-RESÉNDEZ, A. C. RUIZ-FERNÁNDEZ & M. F. SOTO-JIMÉNEZ. 2007. *La Contaminación por Nitrógeno y Fósforo en Sinaloa: Flujos, Fuentes, Efectos y Opciones de manejo*. In: Páez-Osuna F. (Ed.). *La Serie Las Lagunas Costeras de Sinaloa*. UNAM, El Colegio de Sinaloa, México, D.F. 304 p.
- PEINADO-GUEVARA, H. J., C. R. GREEN-RUIZ, J. HERRERA-BARRIENTOS, O. A. ESCOLERO-FUENTES, O. DELGADO-RODRÍGUEZ, S. I. BELMONTE-JIMÉNEZ & M. A. LADRÓN-DE GUEVARA. 2011. Calidad y aptitud de uso agrícola y doméstico del agua del acuífero del río Sinaloa, porción costera. *Hidrobiológica* 21 (1): 63-76.
- PIPER, A. M. A. 1953. *Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis*. Groundwater Note 12. United State Geological Survey. 914-928 p.
- RAGHUNATH, H. M. 1990. *Groundwater*. Wiley Eastern Limited. New Delhi, p. 563.
- RICHARDS, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Handbook. No. 60. US Govt. Press, Washington, DC, 160.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J.M. & M. TRÉMOLIÈRES. 2003. Change in groundwater chemistry as a consequence of suppression of floods: the case of the Rhine floodplain. *Journal of Hydrology* 270 (1-2): 89-104. DOI: 10.1016/S0022-1694(02)00293-7.
- SAWYER, C. N. & D. L. McCARTY. 1967. *Chemistry of sanitary engineers*. New York: McGraw-Hill. 518 p.
- SARH (SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS). 1974. *Manual para análisis de suelos y aguas*. Centro de capacitación en irrigación y drenaje Benito Juárez, El Carrizo, Sinaloa, México. 241 p.
- SECRETARIA DE SALUD. 2000. *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que deben someterse el agua para su potabilización*. Diario Oficial de la Federación Tomo DLXVI No. 15 Primera Sección 73-79 (publicado 22 de noviembre de 2000).
- SUBBA-RAO, N. 2006. Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology* 49: 413-429. DOI: 10.1007/s00254-005-0089-9.
- VASANTHAVIGAR, M., K. SRINIVASAMOORTHY, K. VIJAYARAGAVAN, R. RAJIV-GANTHI, S. CHIDAMBARAM, P. ANADHAN, R. MANIVANNAN & S. VASUDEVAN. 2010. Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin Tamilnadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 171 (1): 595-609. DOI: 10.1007/s10661-009-1302-1.
- VAROL, S. & A. DAVRAZ. 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni Plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Science* 73 (4): 1725-1744. DOI: 10.1007/s12665-014-3531-z.
- WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). 2006. Guidelines for drinking-water quality. First addendum to volume 1. 3a. Ed. 515 p
- WILCOX, L. V. 1948. The quality of water for irrigation Use. *Technical Bulletin* 962: 1-40.
- WILCOX, L. V. 1955. *Classification and use of irrigation waters*. United States Department of Agriculture, Circular 969. 21 p.

Reconstrucción filogenética de *Sphaeriidae* (Veneroidea: Bivalvia) y la posición filogenética de *Pisidium chilense*Phylogenetic reconstruction of *Sphaeriidae* (Veneroidea: Bivalvia) and phylogenetic position of *Pisidium chilense*Carmen Fuentealba-Jara¹, Guillermo D'Elia², Fidelina González³ y Cristian Franco-Jaccard⁴¹Instituto de Ciencias Naturales, Universidad de las Américas. Campus el Bodal, Av. Jorge Alessandri N° 1160 Concepción, Bío-Bío, Chile.²Instituto de Ciencias Ambientales y Evolutivas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile. Campus Isla Teja s/n, Valdivia, Los Ríos, 5090000, Chile³Departamento de Biología Celular, Facultad de Ciencias Biológicas Universidad de Concepción. Campus Concepción, Barrio Universitario, Concepción, Bío-Bío, 4070386, Chile⁴Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Concepción. Campus Concepción, Av. Esteban S. Iturra s/n, Barrio Universitario,

Concepción, Bío-Bío, 4070386, Chile

e-mail: cfuntea@udec.cl

Recibido: 27 de enero de 2015.**Aceptado:** 28 de julio de 2016.Fuentealba-Jara, C., G. D'Elia, F. González y C. Franco-Jaccard. 2017. Reconstrucción filogenética de *Sphaeriidae* (Veneroidea: Bivalvia) y la posición filogenética de *Pisidium chilense*. *Hidrobiológica* 27(1): 115-117.

RESUMEN

Antecedentes. La subfamilia Sphaeriinae de bivalvos de agua dulce está formado por tres géneros, *Musculium*, *Pisidium* y *Sphaerium*. Sin embargo, la monofilia de los dos últimos ha sido cuestionada en diferentes análisis filogenéticos. **Objetivos.** En este estudio se incorpora al análisis filogenético a *Pisidium chilense*, basado en secuencias del espaciador interno (ITS-1) nuclear ribosomal. **Métodos.** La matriz de datos se analizó bajo inferencia bayesiana y máxima parsimonia. Los resultados apoyan la monofilia de Sphaeriinae. **Resultados.** Los géneros *Pisidium* y *Musculium* son monofiléticos, mientras *Sphaerium* es parafilético respecto a *Musculium*. Al interior de *Pisidium*, las especies de América del Sur, y únicos representantes del subgénero *Afropisidium* incluido en el análisis, forman un grupo monofilético. **Conclusiones.** Antes de proponer escenarios biogeográficos o taxonómicos para Sphaeriinae es necesario realizar un muestreo taxonómico más intenso, al igual que ampliar el muestreo de caracteres para incluir *loci* nucleares. **Palabras clave:** *Afropisidium*, Chile, *Musculium*, Sphaeriidae, *Sphaerium*.

Palabras clave: *Afropisidium*, Chile, *Musculium*, Sphaeriidae, *Sphaerium*.

ABSTRACT

Background. The subfamily Sphaeriinae of freshwater bivalves is formed by three genera, *Musculium*, *Pisidium*, and *Sphaerium*. However, the monophyly of the latter two has been questioned in different phylogenetic analyses. **Goals.** In this study, we added *Pisidium chilense* to the phylogenetic analysis, based on sequences of nuclear ribosomal,

an internal transcribed spacer (ITS-1). **Methods.** The data matrix was analyzed with maximum parsimony and Bayesian inference. Results support the monophyly of Sphaeriinae. The genera *Pisidium* and *Musculium* are monophyletic, while *Sphaerium* is paraphyletic with respect to *Musculium*. Within *Pisidium*, the South American species and sole representatives included in this analysis of the subgenus *Afropisidium* formed a monophyletic group. **Conclusions.** Before advancing new biogeographic or taxonomic scenarios for Sphaeriinae, further analyses based on denser taxonomic and character sampling are needed.

Key words: *Afropisidium*, Chile, *Musculium*, Sphaeriidae, *Sphaerium*.

La familia *Sphaeriidae* de almejas “uña de dedo” se distribuye en Chile entre los 18°S y 56°S y habita en una gran variedad de ecosistemas dulceacuícolas (Fuentealba *et al.*, 2010). Actualmente, en Chile se reconoce un total de once especies, incluidas en los géneros *Sphaerium* (2 spp.), *Musculium* (2 spp.) y *Pisidium* (7 spp.). A pesar de que en los últimos años el conocimiento sobre los *Sphaeriidae* de Chile ha presentado avances considerables (e.g., Sobarzo *et al.*, 2002; Ituarte, 2007; Parada *et al.*, 2009; Jara-Sequel *et al.*, 2010, 2011), la familia aún no ha sido estudiada filogenéticamente. Los estudios filogenéticos de *Sphaeriidae* (e.g., Lee & ÓFoighil, 2003) han incorporado sólo a dos representantes sudamericanos, uno de Argentina y otro de Ecuador.

El presente estudio propone hipótesis filogenéticas para *Sphaeriidae* (basadas en caracteres moleculares), en las cuales se incorpora la especie endémica de Chile *Pisidium chilense* (d'Orbigny, 1846). Este muestreo taxonómico permite poner a prueba la monofilia de los géneros *Musculium*, *Pisidium* y *Sphaerium*, clásicamente reconocidos en la subfamilia *Sphaeriidae*.

Los análisis realizados se basaron en secuencias nucleotídicas del gen nuclear transcrito interno (ITS-1). Se incluyeron 42 especies de los géneros *Musculium*, *Pisidium* y *Sphaerium*, obtenidas de la base de datos del Genbank. Además, se incluyó la muestra de *Pisidium chilense*, colectada en la Laguna Chica de San Pedro, Región del Bio-Bío, Chile (73° 05' S; 73°10' O). El muestreo se completó con secuencias de los euperinos *Eupera cubensis* y *E. platensis*, que se usaron para conformar el grupo externo. En la Fig. 1 se indican los detalles de las secuencias analizadas. La reconstrucción filogenética se realizó mediante Máxima Parsimonia (MP) (Farris, 1982) e Inferencia Bayesiana (IB) (Rannala & Yang, 1996). El análisis de MP se realizó en el programa PAUP* 4.0b10 Swofford (2000), por medio de la interfaz gráfica PaupUp (Calendini &

Martín, 2005), con una búsqueda heurística (500 réplicas de adición de secuencias al azar) y el algoritmo de reconexión de ramas TBR. El soporte de los nodos fue evaluado mediante un análisis de *bootstrap* con 1000 réplicas. El análisis de IB se implementó en Bayes Phylogenies v 1.0 (Pagel & Meade, 2004), basado en el modelo General de Tiempo Reversible (GTR) (Rodríguez *et al.*, 1990). Fueron generadas nueve cadenas independientes (se obtuvieron aproximadamente 100'000,000 de árboles filogenéticos), muestreando cada 10,000 árboles para asegurar la independencia de los muestreos. El programa Bayes Trees 1.0 (Meade & Pagel, 2009) se utilizó para visualizar los árboles y estimar los valores de probabilidad posterior bayesiana (PPB).

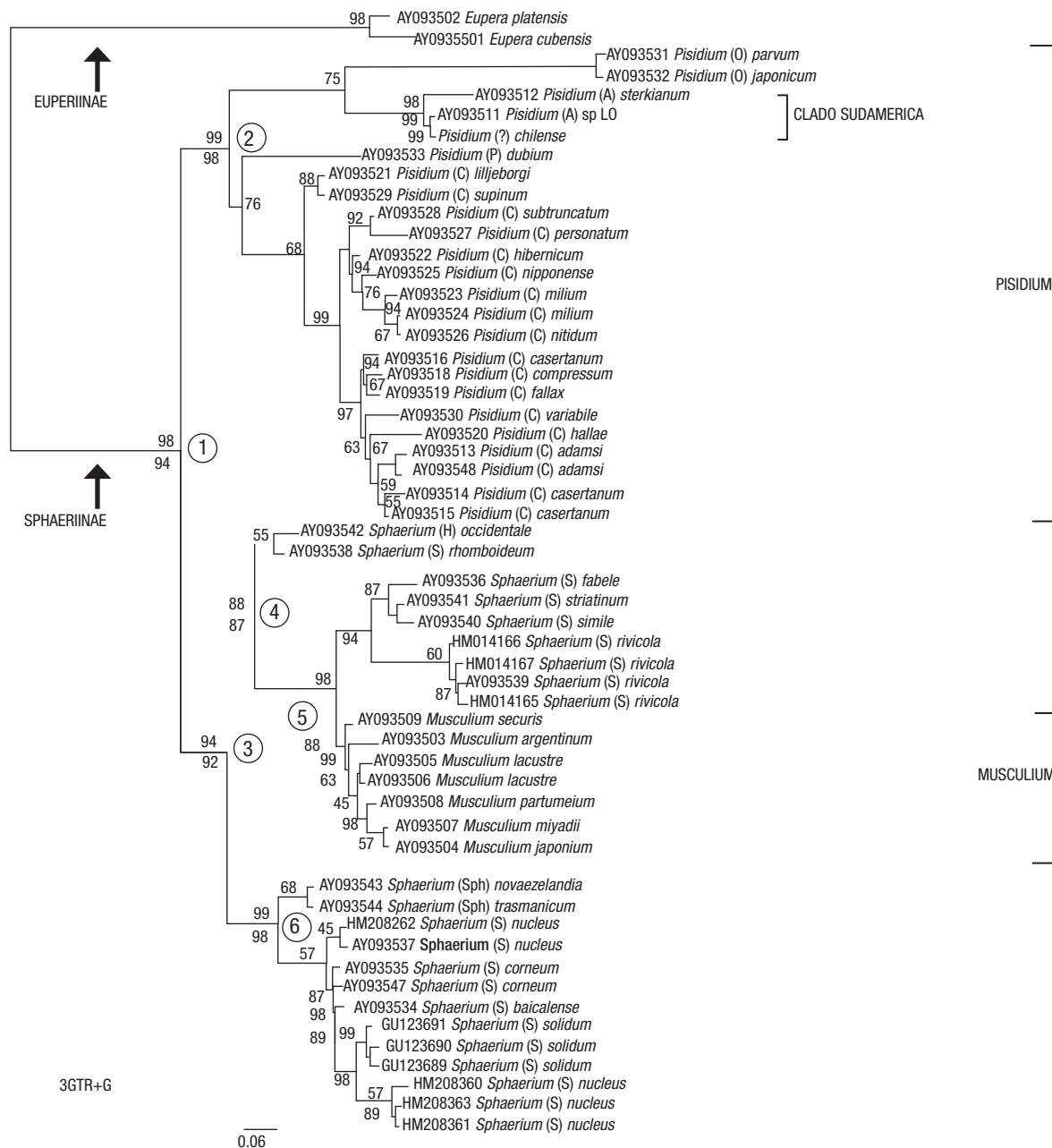


Figura 1. Árbol bayesiano consensuado por regla de la mayoría de Sphaeriidae. Sobre los nodos se muestran los valores de probabilidad a posteriori (PP) y bajo los nodos los valores de bootstrap (BS). Los círculos corresponden a los nodos de interés. Las flechas indican las subfamilias de Sphaeriidae.

En los dos análisis filogenéticos realizados se recuperó la misma topología (Fig. 1). *Sphaeriidae* es monofilética (PPB = 98, BS = 94), lo que es consistente con las reconstrucciones filogenéticas basadas en caracteres morfológicos (Dreher-Mansur & Meier-Brook, 2000; Korniuschin & Glaubrecht, 2002, 2006) y en secuencias nucleares y mitocondriales (Cooley & ÓFoighil, 2000; Lee & ÓFoighil, 2003). Los géneros *Musculium* (PPB = 99, BS = 98) y *Pisidium* (PP = 88, BS = 99) resultaron monofiléticos, y el género *Sphaerium* es parafilético respecto a *Musculium*. Cooley y O' Foighil (2000) y Lee y O'Foighil (2003) sólo recuperaron como monofilético a *Musculium* (anidado dentro de *Sphaerium*), lo que sugiere que *Musculium* sea reconocido como un subgénero de *Sphaerium*.

Las especies de *Sphaerium* forman cuatro clados principales, correspondientes a los subgéneros *Amesoda*, *Herringtonium*, *Sphaerinova* y *Sphaerium*, los que se relacionan entre sí y con *Musculium* de la siguiente forma: (*Sphaerium*, *Sphaerinova*) (*Herringtonium* (*Musculium*, *Amesoda*)). Esta topología sugiere que se deberían formalizar cambios taxonómicos, elevar a género los actuales subgéneros de *Sphaerium* o subsumir (como fue sugerido por Lee y O'Foighil, 2003) a *Musculium* bajo *Sphaerium*, lo que permite reconocer cinco subgéneros al interior del último.

La incorporación de *Pisidium chilense* en el análisis, permitió recuperar con fuerte soporte la monofilia de *Pisidium* s.l. Esto no invalida el uso de los géneros *Afropisidium*, *Cyclocalyx*, *Odhneripisidium* y *Pisidium* s.s., ni tampoco su reconocimiento como subgéneros de *Pisidium*, ya que el presente análisis también los recupera como monofiléticos. De igual forma, se recupera con fuerte apoyo un clado integrado por las tres especies sudamericanas de *Pisidium* incluidas en el análisis: *P. chilense* de Chile, *P. sterkiianum* Pilsbry, 1897 de Argentina y *Pisidium* sp. de Ecuador; i.e., el clado *Afropisidium*. Sin embargo, antes de proponer escenarios biogeográficos o taxonómicos para *Sphaeriidae* es necesario realizar un muestreo taxonómico más intenso y ampliar el muestreo de caracteres para incluir *loci* nucleares.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue parcialmente financiado por FONDECYT 1141055.

REFERENCIAS

- CALENDINI, F. & J. F. MARTIN. 2005. Paup UP versión, 1.0.3.1. A free graphical frontend for PAUP* software. Available at: <http://www.agromontpellier.fr/sppe/Recherche/JFM/PaupUp> (downloaded January 5, 2015).
- COOLEY, L. R. & D. O. FOIGHIL. 2000. Phylogenetic analysis of the Sphaeriidae (Mollusca: Bivalvia) based on partial mitochondrial 16S rDNA gene sequences. *Invertebrate Biology* 119: 299-308. DOI: 10.1111/j.1744-7410.2000.tb00016.x
- DREHER-MANSUR, M. C. & C. MEIER-BROOK. 2000. Morphology of *Eupera Bourguignat*, 1854 and *Byssanodonta Orbigny*, 1846 with contributions to the phylogenetic systematics of Sphaeriidae and Corbiculidae (Bivalvia, Veneroidea). *Archiv für Molluskenkunde* 128: 1-59.
- FARRIS, J. S. 1982. The logical basis of phylogenetic analysis. In: Platnick, N. & V. Funk, (Eds.). *Advances in Cladistics*: Proceedings of the Second Meeting of the Willi Hennig Society. Columbia University Press, New York, USA, pp. 7-36.
- FUENTEALBA, C., J. J. MORRONE & R. FIGUEROA. 2010. Análisis de endemismo de moluscos dulceacuícolas de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 289-298. DOI: 10.4067/S0716-078X2010000200009
- ITUARTE, C. 2007. Las especies de *Pisidium* Pfeiffer de Argentina, Bolivia, Chile, Perú y Uruguay (Bivalvia-Sphaeriidae). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 9 (2): 169-203.
- JARA-SEGUEL, P., E. PARADA, S. PEREDO, C. PALMA-ROJAS & E. VON BRAND. 2010. Nuclear DNA content in two Chilean species of *Pisidium* (Veneroidea: Sphaeriidae). *Journal of Shellfish Research* 29 (1): 101-106. DOI: 10.2983/035.029.0102
- JARA-SEGUEL, P., S. PEREDO, E. VON BRAND & E. PARADA. 2011. Some aspects of the reproductive biology of two populations of *Musculium argentinum* (D'Orbigny, 1835) (Bivalvia: Sphaeriidae) from southern Chile. *Journal of Shellfish Research* 30 (2): 287-294. DOI: 10.2983/035.030.0214
- KORNIUSHIN, A. V. & M. GLAUBRECHT. 2002. Phylogenetic analysis based on the morphology of viviparous freshwater clams of the family Sphaeriidae (Mollusca, Bivalvia, Veneroidea). *Zoologica Scripta* 31 (5): 415-459. DOI: 10.1046/j.1463-6409.2002.00083.x
- KORNIUSHIN, A. & M. GLAUBRECHT. 2006. Anatomy and reproduction of viviparous *Pisidium* (*Parapisidium*) *reticulatum* Kuiper, 1966: implications for the phylogeny of Sphaeriidae (Mollusca: Bivalvia: Heterodonta). *Organism, Diversity and Evolution* 6: 185-195. DOI: 10.1016/j.ode.2005.09.003
- LEE, T. & D. Ó FOIGHIL. 2003. Phylogenetic structure of the Sphaeriinae, a global clade of freshwater bivalve molluscs, inferred from nuclear (ITS-1) and mitochondrial (16S) ribosomal gene sequences. *Zoological Journal of the Linnean Society* 137: 245-260. DOI: 10.1046/j.1096-3642.2003.00047.x
- MEADE, A. & M. PAGEL. 2009. Software Bayes trees V.1.3. Available on line at: <http://www.evolution.reading.ac.uk/BayesTrees>. (downloaded February 25, 2012).
- PAGEL, M. & A. MEADE. 2004. A phylogenetic mixture model for detecting pattern-heterogeneity in gene sequence or character-state data. *Systematic Biology* 53: 571-581. DOI: 10.1080/10635150490468675
- PARADA, E., S. PEREDO & P. JARA-SEGUEL. 2009. Registro actual de especies del género *Musculium* link, 1807 (Bivalvia: Sphaeriidae) en Chile con notas sobre morfología y biometría de sus poblaciones. *Gayana* 73:49-56. DOI: 10.4067/S0717-65382009000100008
- RANNALA, B. & Z. YANG. 1996. Probability distribution of molecular evolutionary trees: a new method of phylogenetic inference. *Journal of Molecular Evolution* 43: 304-311. DOI: 10.1007/BF02338839
- RODRIGUEZ, F., J. F. OLIVER, A. MARIN & J. R. MEDINA. 1990. The general stochastic model of nucleotide substitution. *Journal of Theoretical Biology* 142: 485-501. DOI: 10.1016/S0022-5193(05)80104-3.
- SOBARZO, C., P. JARA-SEGUEL, S. PEREDO & E. PARADA. 2002. Primer registro de *Musculium argentinum* (d'Orbigny, 1835) (Bivalvia: Sphaeriidae) en aguas continentales chilenas. *Gayana Zoología* 66 (1): 39-43. DOI: 10.4067/S0717-65382002000100006
- SWOFFORD, D. 2000. PAUP: Phylogenetic Analysis Using Parsimony (and other Methods), version 4.0. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA, USA.

Recent observations supporting the hypothesis of the colonization of thrombolite platforms by mangroves

Observaciones recientes que apoyan la hipótesis sobre la colonización de plataformas trombolíticas por mangles

David Alfaro Siqueiros Beltrones¹, Janette Magally Murillo Jiménez² and Rubén Esteban García Gómez³

¹Instituto Politécnico Nacional. Departamento de Plancton y Ecología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) Av. Instituto Politécnico Nacional S/N, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, BCS. 23096. México

²Instituto Politécnico Nacional. Departamento de Oceanología. CICIMAR

³Instituto Politécnico Nacional. Departamento de Servicios Educativos. CICIMAR
e-mail: dsiquei@gmail.com

Recibido: 23 de febrero de 2016. **Aceptado:** 19 de octubre de 2016.

Siqueiros Beltrones, D. A., J. M. Murillo Jiménez and R. E. García Gómez. 2017. Recent observations supporting the hypothesis of the colonization of thrombolite platforms by mangroves. *Hidrobiológica* 27(1): 119-121.

ABSTRACT

Background. Thrombolites are sedimentary structures formed by precipitation, consolidation, and lithification of sediments generated by the evolution of cyanophyte mats that are responsible for coastal ground formation. Mangroves, however, are opportunist that colonize said substratum, in this case thrombolite platforms. **Goals.** To provide recent evidence of mangrove colonization of thrombolite platforms. **Methods.** Photographic images were taken of specimens of mangroves found fixed on the first thrombolite platform described in 2005. The platform was examined and samples were collected to analyze their mineralogical composition. **Results.** Evidence was gathered of two mangrove species colonizing a thrombolite platform. Specimens that had reached significant heights, indicating healthy juveniles, were found fixed on the first thrombolite platform. Collected platform structures were identified as rhizoliths belonging to mangrove trees. **Conclusions.** Evidence is presented that, besides this colonizing event, an earlier colonization on a thrombolite platform occurred at an inferior level. A secondary hypothesis that micrite would be a significant component of the rhizolith structure was proven through the mineralogical analysis of rhizolith fragments.

Key words: Colonization, mangroves recruits, micrite, microbial mats, pro-thrombolites.

RESUMEN

Antecedentes. Los trombolitos son estructuras sedimentarias formadas por precipitación, consolidación y litificación de sedimentos debido

a la actividad y crecimiento de tapetes de cianofitas y son considerados responsables de la formación de suelo costero; mientras que los mangles son oportunistas que colonizan las plataformas trombolíticas. **Objetivos.** Proporcionar evidencias de que ocurre colonización de plataformas trombolíticas por mangles. **Métodos.** Se tomaron imágenes fotográficas de especímenes de mangle presentes en la primera plataforma trombolítica descrita en 2005. Se examinó la plataforma y se tomaron muestras para analizar su composición mineralógica. **Resultados.** Se reunieron evidencias de colonización de una plataforma trombolítica por mangles. Los especímenes observados sobre la plataforma trombolítica son juveniles saludables con alturas notables. Las muestras de plataforma resultaron estructuras sedimentarias conocidas como rizolitos de raíces de mangle. **Conclusiones.** Se presentan evidencias de que, además de este evento de colonización, existió una colonización anterior en una plataforma localizada en un estrato inferior. Mediante el análisis mineralógico se probó la hipótesis de que la micrita sería un componente significativo de la estructura de los rizolitos.

Palabras clave: Colonización, reclutas de mangle, micrita, protrombolitos, tapetes microbianos.

This short report was generated by a casual observation of the first pro-thrombolite platform discovered in 2005 in La Paz lagoon (Baja California Sur, Mexico) that was later described together with similar formations (Siqueiros Beltrones, 2008), although not before fully lithified structures or thrombolites in this area were recorded (Siqueiros Beltrones *et al.*, 2006). Thrombolites are sedimentary structures formed by precipitation, consolidation, and lithification of sediments generated by evolution of cyanophyte mats into pro-thrombolites and eventually

thrombolites. A seven-year study went idle after the publication of the proposed theory about the origin of thrombolite and pro-thrombolite formations and their ecological and geomorphological consequences (Siqueiros Beltrones *et al.*, 2012). Unlike the serendipity behind the whole theory of pro-thrombolite processes, this report is supported by the above theory and includes the required testing of a derived hypothesis, i.e., mangroves are actually opportunistic plants that take advantage of the available substrate (Siqueiros Beltrones *et al.*, 2012), with effective recruiting occurring in any of the following three stages: mat formation mainly by filamentous cyanophytes; development of pro-thrombolites; conformation of thrombolite platforms (Figs 1a-b). In the originally described pro-thrombolite platform, no mangrove plants were observed (Figs 1c-d). The first published images from which said platform was discovered showed only marsh vegetation such as *Salicornia* sp. (Siqueiros Beltrones, 2008). Ten years have gone by so that any mangrove recruits show evidence of having established themselves on the platform. Although abundant germlings have been observed in the area affixed on cyanophyte mats, many of them turned out to be ephemeral (Siqueiros Beltrones *et al.*, 2012); in fact, only some of those observed on thrombolite platforms may eventually develop into fully grown mangrove trees. Here we provide photographic evidence that depict healthy juveniles of two species of mangrove: two specimens of *Avicennia germinans* (L.) Stearn, and one of *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn (Fig. 1e) that have reached significant heights on the originally described pro-thrombolite platform. Likewise, another *L. racemosa* recruit, about the same size, had grown on the second thrombolite platform observed around 200m away, close to an *A. germinans* adult (Fig. 1b); the young specimens reached heights of between 120 cm and 160 cm.

Examination of the (first) platform fragmented by erosion revealed structures identified as rhizoliths belonging to mangrove trees (Fig. 1f), similar to those recorded earlier from across the La Paz lagoon in the El Mogote sandbar (Siqueiros Beltrones, 2008). We considered the former to be evidence that an earlier colonization on a thrombolite platform occurred at an inferior level. Said levels have been documented earlier eastward at Calerita (Baja California Sur), east of El Mogote, a non-lacunar environment were no mangroves are found but alleged evidences of their earlier presence was discussed (Siqueiros Beltrones *et al.*, 2012). In order to gather more sound evidence on the process involved in the evolution of this platform, mineralogical analysis of rhizolith fragments was conducted to test the hypothesis that micrite would be a significant component of the rhizolith structure, proposed earlier as the main cementing agent in thrombolite formation (Siqueiros Beltrones, 2008; Siqueiros Beltrones *et al.*, 2012). To identify the micrite, vertical and horizontal thin sections of two rhizolith fragments were prepared and analyzed under a petrographic microscope. Because of their poor consolidation, they had to be fixed with epoxy resin. The cross section revealed no alignment or any other type of arrangement, as in Johnson *et al.* (1999). Their form and composition, however, suggested an ichnofossil derived from plant roots, i.e., of a rhizolith. We concluded that both samples were initially the same type of muddy sand-rock with a calcareous matrix; the mud component consisting of micrite (aragonite), was most likely produced by disintegration or erosion of bivalve shells or calcareous algae. These observations support our earlier hypothesis. Moreover, the mineralogical analysis showed diagenetic characteristics such as neomorphism in the aragonite and calcite, which allows us to place the samples at the beginning of a deep diagenetic range, although,

due to a differential degree of diagenesis the amount of substituted matrix varied between the samples. In addition, the presence of aragonitic oolites corresponds with a shallow lacunar or estuarine environment, where thrombolite processes and mangroves are common.

Previously, it was accepted that mangroves functioned as sediment traps that eventually cause ground formation (Dawes, 1981; Kathiresam, 2003). According to our previous studies (Siqueiros Beltrones, 2008; Siqueiros Beltrones *et al.*, 2012), ground formation is initially carried out by cyanobacterial mats through binding, stabilizing, and clotting of sediments, leading to the development of pro-thrombolite platforms, and that these substrates are opportunistically colonized by mangrove recruits; it is thus a preexisting process that is accelerated by mangroves after colonizing suitable areas (Woodroffe, 1992) such as those provided by pro-thrombolite and thrombolite platforms. Our observations provide further evidence that thrombolite and pro-thrombolite platforms are, along with thick cyanophyte mats, the substrates most likely to promote colonization by mangroves (Siqueiros Beltrones *et al.*, 2012), evolving from an organic mat, and passing through the stages of conglomerate mats and pro-thrombolite platforms, into sedimentary rock by micrite deposition (Siqueiros Beltrones, 2008; Siqueiros Beltrones *et al.*, 2012). The characteristic calcareous matrix and micritic (aragonite) mud of the analyzed rhizolith samples suggests a similar process that generates thrombolite platforms in a shallow lacunar environment. Micrite may be considered an adequate element to trace the early formation of thrombolites inland. For example, it could be useful to confirm the mangrove origin of other rhizoliths, such as those recorded by Johnson *et al.* (1999) that showed an internal concentric structure, while ours did not and were identified by external form and site association as described by these authors. Because much of the ground formation has to be attributed to growth of non-consolidated pro-thrombolites with much less cementing micrite (Siqueiros Beltrones *et al.*, 2012), we are impelled to seek still another element relating the three stages of thrombolite evolution in coastal ground formation.

ACKNOWLEDGEMENTS

Rhizolith samples were processed by L. J. Cota. DASB is COFAA and EDI fellow of the Instituto Politécnico Nacional.

REFERENCES

- DAWES, C. J. 1981. *Marine Botany*. John Wiley & Sons Ltd. 628 p. DOI: 10.1017/S0025315400019913
- JOHNSON, M. E., J. LEDESMA-VÁZQUEZ, M. A. MAYALL & J. MINCH. 1997. Upper Pliocene stratigraphy and depositional systems: The Peninsula Concepción basins in Baja California Sur, México. In: Johnson, M.E. & J. Ledesma-Vázquez (Eds.). *Pliocene carbonates and related facies flanking the Gulf of California, Baja California, México*. Special paper 318, Geological Society of America. pp. 57-72.
- KATHIRESAM, K. 2003. How do mangrove forests induce sedimentation? *Revista de Biología Tropical* 51 (2): 355-360.
- SIQUEIROS BELTRONES, D. A. 2006. Diatomeas bentónicas asociadas a trombolitos recientes en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. *CICIMAR-Oceánides* 21 (1-2): 113-143.



Figures 1a-f. **a)** Adult specimen of *Avicennia germinans* living on thrombolitic substrate next to an extended pro-thrombolite platform at El Mogote, La Paz lagoon. **b)** Adult *A. germinans* and recently settled juvenile of *L. racemosa* West. **c), d)** East views of the first described thrombolite platform in 2005 where settlement of mangrove trees has occurred ten years after. **e)** East view of platform showing short mangrove trees in 2015. **f)** Rhizoliths found beneath the thrombolite platform.

SIQUEIROS BELTRONES, D. A., U. ARGUMEDO HERNÁNDEZ & O.U. HERNÁNDEZ ALMEIDA. 2006. Trombolitos litificados dentro de la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. *CICIMAR-Oceánides* 21 (1, 2): 155-158.

SIQUEIROS BELTRONES, D. A. 2008. Role of pro-thrombolitic processes in the geomorphology of a coastal lagoon. *Pacific Science* 62 (2): 257-269. DOI: 10.2984/1534-6188(2008)62[257:ROPITG]2.0.CO;2

SIQUEIROS BELTRONES, D. A., O. U. HERNÁNDEZ ALMEIDA & J. MURILLO JIMÉNEZ. 2012. Pro-thrombolites and the origin of coastal lagoons in

Northwestern México. *Hidrobiológica* 22 (3): 244-257.

SIQUEIROS-BELTRONES, D. A., E. F. FÉLIX-PICO & O. U. HERNÁNDEZ ALMEIDA. 2009. Stratigraphic evidence of pro-thrombolitic ground formation around the La Paz lagoon (México). *CICIMAR-Oceánides* 24 (1): 59-63.

WOODROFFE, C. 1992. Mangrove sediments and geomorphology. In: Robertson, A.I. & D.M. Alongi (Eds.). *Tropical mangrove ecosystem*. American Geophysical Union. Washington DC. pp. 7-41. DOI: 10.1029/CE041

New bathymetric record for the fish bighead mora, *Laemonema verecundum* (Gadiformes: Moridae) in the Gulf of California, Mexico

Nuevo registro batimétrico para el pez carbonero cabezón *Laemonema verecundum* (Gadiformes: Moridae) en el Golfo de California, México

Rufino Morales-Azpeitia¹, Juana López-Martínez¹ and José Eduardo Valdez-Holguín²

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Unidad Sonora, Campus Guaymas, Km 2.35 Carretera a las Tinajas S/N, Colonia Tinajas, Guaymas, Sonora 85454. México

²Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), Luis Donaldo Colosio s/n, entre Sahuaripa y Reforma, Colonia Centro, Hermosillo, Sonora, 83000. México
e-mail: mmorales04@cibnor.mx

Recibido: 10 de diciembre de 2015.

Aceptado: 29 de agosto de 2016.

Morales-Azpeitia R., J. López-Martínez and J. E. Valdez-Holguín. 2017. New bathymetric record for the fish bighead mora, *Laemonema verecundum* (Gadiformes: Moridae) in the Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica* 27(1): 123-126.

ABSTRACT

Background. The presence of *Laemonema verecundum* (Jordan & Cramer, 1897) had not been previously reported at depths less than 666 m. **Goals.** The objective of the research was to study the bathymetric distribution of *L. verecundum*. **Methods.** In the eastern continental shelf of the Gulf of California, 648 specimens of *L. verecundum* were collected during two experimental research cruises in September 2004 and February 2005. **Results.** Specimens were collected at depths between 165 and 483 m, where temperatures ranged between 9.5 and 19.9° C, and average oxygen concentration was 1.7 mg/l. **Conclusions.** This new record expands the known bathymetric distribution range of this species inhabiting shallow waters in the gulf.

Key words: Depth, distribution, Eastern Central Pacific, *Laemonema verecundum*, Mexico.

RESUMEN

Antecedentes. La presencia de *Laemonema verecundum* (Jordan & Cramer, 1897) no había sido reportada a profundidades menores de 666 m. **Objetivos.** El objetivo de esta investigación fue estudiar la distribución batimétrica de *L. verecundum*. **Métodos.** Se recolectaron 648 ejemplares de *L. verecundum* del talud continental oriental del Golfo de California, durante dos cruceros de investigación realizados en septiembre de 2004 y febrero de 2005. **Resultados.** Los organismos fueron colectados en un rango de profundidad de 165 a 483 m, donde la temperatura varió de 9.5 a 19.9 °C y la concentración de oxígeno disuelto promedio fue de 1.7 mg/l. **Conclusiones.** Este nuevo registro

extiende el intervalo de distribución batimétrica de esta especie, habiendo aguas menos profundas del golfo.

Palabras clave: Distribución, *Laemonema verecundum*, México, Pacífico oriental central, profundidad.

The bighead mora *Laemonema verecundum* (Jordan & Cramer, 1897) is a relatively poorly-known species belonging to the order Gadiformes, family Moridae. This family currently has 111 species, 17 of which belong to the genus *Laemonema* (Paulin, 1995). *L. verecundum* is an oviparous species with planktonic larvae and to date has a maximum recorded size of 11 cm (Paulin, 1995). It is mesopelagic and endemic to the Eastern Central Pacific with a distribution from 28° N to 14° N (Inada, 1995; Ambrose, 1996). Previous studies have reported the species in marine waters off Sinaloa and Jalisco, Mexico (Inada, 1995; Ambrose, 1996) and in the outer shelf and continental slope of the Gulf of California (Castro-Aguirre & Balart, 1996).

López-Martínez *et al.* (2012) have recently mentioned that the species is relatively abundant in the Gulf of California. However, a record of bathymetric distribution had only been found in deep waters from 666 to 2600 m (Bogutskaya, 2007) where hypoxia and anoxic conditions have prevailed (Hendrickx, 2001; Allen, 2008). Until now, the presence of bighead mora had not been reported at depths less than 666 m (Robertson & Allen, 2002).

The specimens (N= 648) of *L. verecundum* were captured during two research cruises onboard the BIP XII vessel in the Gulf of California in September 2004 and February 2005 (Fig. 1). Trawls were carried out at depths of 85-251, 252-419, 420-585, and 587-752 m, with a bottom trawl net of 96.5/86.4 cm length, head rope of 38 m, mesh size of 2.54

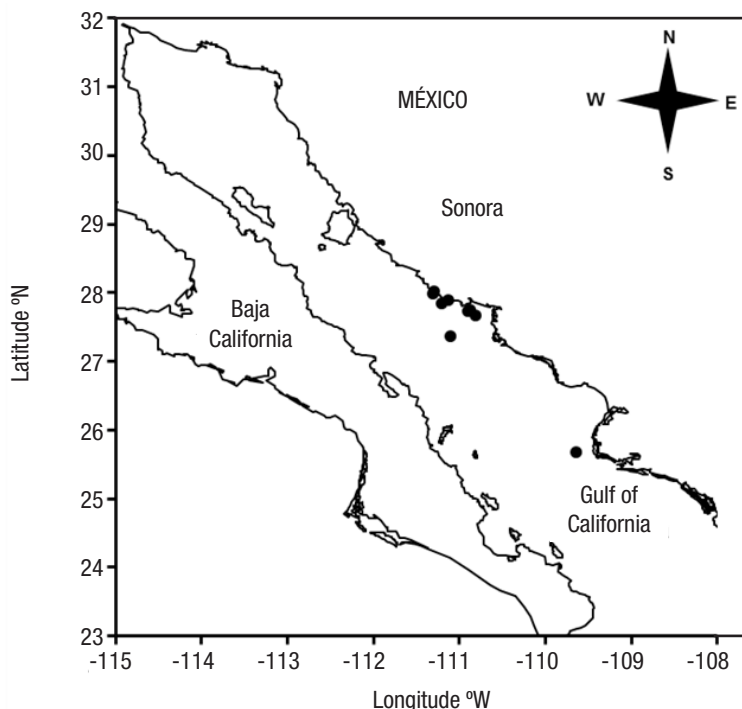


Figure 1. Study area of *Laemonema verecundum* during the exploration cruises in the Gulf of California, Mexico, during September 2004 and February 2005. Black points represent sampling stations.

cm, and mouth perimeter of 68 m; duration of hauls were about an hour at an average speed of 5 km per hour. Environmental variables, such as temperature and concentration of dissolved oxygen in the water column, were measured at each station with a CTD. A subsample of 20 kg was taken randomly and kept frozen until subsequent processing in the laboratory. Members of the family Moridae were separated and identified to species level using keys and descriptions by Fitch & Barker (1972); Paulin (1995), and Robertson and Allen (2002). *Laemonema verecundum* differs from the other members of the family in the area for having a microscopic chin; it also has a row of vomerine teeth, and the pelvic fins are reduced to two rays; the belly is without spots and devoid of scales (Inada, 1995).

Voucher specimens were fixed in 10% formaldehyde and were subsequently preserved in 70% ethanol (Fig. 2). The material was deposited at the fish collection of the Laboratory of Fisheries of the Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Unidad Sonora, Guaymas campus.

Specimens of *L. verecundum* ranged in size from 75 to 247 mm total length (TL), with an average size of 157.5 mm TL, and a modal size of 150 mm TL. Females (N = 226) ranged in size from 100 to 240 mm TL and males (N = 80) from 70 to 200 mm TL, two folds greater than the maximum length reported by Paulin (1995); 324 specimens were immature (Fig. 3, Table 1).

Table 1. Capture dates and geographical coordinates of *Laemonema verecundum* during the two research exploration cruises in the Gulf of California, Mexico. O₂ = oxygen, T= temperature; material examined in number of organisms, and TL = total length.

Cruise date	Throws number	Latitude °N	Longitude °W	Depth (m)	O ₂ (mg/l)	T (°C)	Material examined
01/09/2004	6	28°09'05"	111°18'10"	165	3.70	19.9	100 (TL 75-247 mm)
01/02/2005	3	25°40'12"	109°35'21"	483	0.29	9.5	1 (TL 160 mm)
09/01/2005	11	27°45'27"	110°52'31"	214	1.81	15.0	67 (TL 87-170 mm)
11/02/2005	18	27°40'24"	110°48'28"	278	0.58	12.4	100 (TL 112-113 mm)
12/02/2005	19	27°44'26"	110°54'32"	318	0.70	12.7	90 (TL 130-215 mm)
13/02/2005	20	27°54'32"	111°08'04"	198	2.14	14.4	21 (TL 124-175 mm)
13/02/2005	21	27°51'30"	111°12'07"	285	0.47	12.0	100 (TL 115-182 mm)
12/02/2005	22	27°59'35"	111°18'18"	289	6.91	18.1	100 (TL 113-190 mm)
14/02/2005	27	27°22'13"	111°06'06"	245	0.92	11.5	69 (TL 111-240 mm)



Figure 2. Specimen of *Laemonema verecundum* (12.78 cm) collected in the Gulf of California, Mexico, during September 2004 and February 2005.

Specimens of *L. verecundum* were collected at depths from 165 to 483 m and the greatest abundance was recorded at 280 m. Temperature $\leq 18^\circ\text{C}$ and salinity ≤ 35.0 were recorded at these depths, which are characteristic of the subtropical subsurface water mass (Torres-Orozco, 1993). The distribution of organisms was not homogeneous bathymetrically; 60% of the total catch was at a depth range from 260 to 300 m (Fig. 4), which was lower than zero reported by Bogutskaya (2007) by a difference of 500 m. The catch area of the organisms went from $25^\circ 40'12''\text{ N}$ and $109^\circ 35' 21''\text{ W}$ up to $28^\circ 09'05''\text{ N}$ and $111^\circ 18' 10''\text{ W}$, based on nine stations where the species was present. The maximum catch was located between $27^\circ 22'$ and $27^\circ 59'$ N south of Guaymas, Sonora (Table 1). Temperature and dissolved oxygen fluctuated at these stations from 9.5 to 18.1°C , with an average of 13.1°C , and from 0.29 to 6.9 mg/l , with an average of 1.7 mg/l , respectively.

The minimum catch was obtained at greater depths where temperature and dissolved oxygen were at a minimum level, 9.5°C and 0.29 mg/l (Table 1). The population structure of *L. verecundum* showed a high presence of young and adult organisms, which suggests that

this species might be established in shallower waters (a still deeper continental shelf) of the Gulf. This type of distribution changes in reports of various marine species has been attributed to the effects of global climate change. However, the presence of this species in adjacent shallower waters suggests an expansion of its distribution.

This new record of *L. verecundum* reveals the distribution and size of its population in shallower waters, contributing to the understanding of the biology and ecology of a relatively poorly known deep-sea species of the Gulf of California.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge that this research was part of a SAGARPA-CONACYT-2003 00-024 grant and the EP from the CIBNOR project. We wish to thank CIBNOR staff Eloisa Herrera Valdivia from the Laboratory of Fisheries at the CIBNOR Sonora Unit, Guaymas Campus and Diana Dorantes at CIBNOR La Paz for English editorial services.

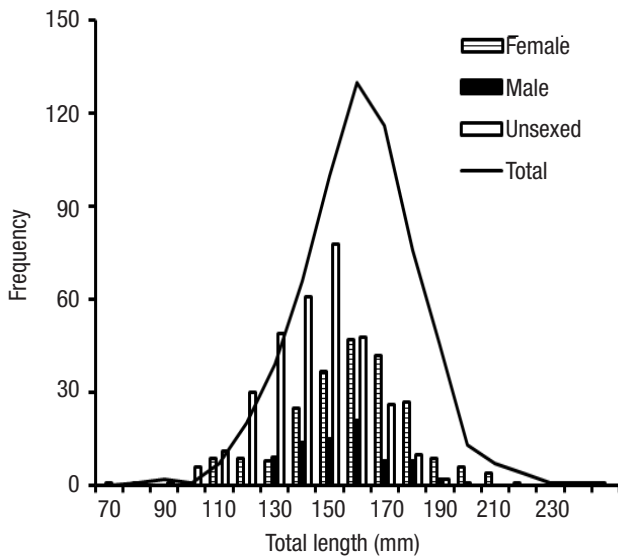


Figure 3. Size frequency by sex of *Laemonema verecundum* during the exploration cruises in the Gulf of California, Mexico, in September 2004 and February 2005.

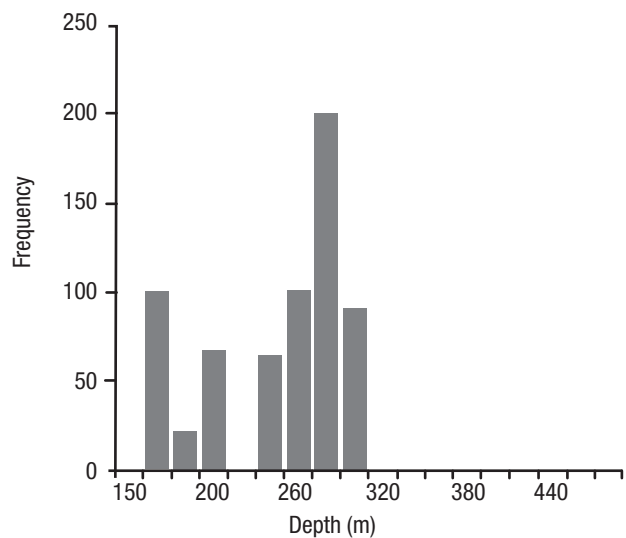


Figure 4. Organisms per hour of throws of *Laemonema verecundum* by depth during the exploration cruises in the Gulf of California, Mexico, in September 2004 and February 2005.

REFERENCES

- ALLEN, M. J. 2008. *Bathymetric responses in functional structure of southern California demersal fish communities to Pacific Decadal Oscillation regimes and an El Niño*. Southern California coastal water research project report 2008. Westminster, California, pp. 211-228.
- AMBROSE, D. A. 1996. Moridae: codlings. p. 500-507. *In*: H.G. Moser (Ed.). *The early stages of fishes in the California Current region*. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI) Atlas No. 33. 1505.
- BOGUTSKAYA, N. G. 2007. Preliminary assignment of coordinates to type localities in the Catalog of Fishes. Unpublished dbf file.
- CASTRO-AGUIRRE J. L. & E. F. BALART. 1996. Contribución al conocimiento del origen y las relaciones de la ictiofauna de aguas profundas del Golfo de California, México. *Hidrobiológica* 6: 67-76.
- FITCH, J. E., & BARKER, L. W. 1972. The fish family Moridae in the eastern North Pacific with notes on morid otoliths, caudal skeletons, and the fossil record. *Fishery bulletin* 70 (3): 565-584.
- HENDRICKX, M. E. 2001. Occurrence of a continental slope deepwater decapod crustacean community along the edge of the minimum oxygen zone in the southeastern Gulf of California, México. *Belgian Journal of Zoology* 131: 71-86.
- INADA, T. 1995. Merlucciidae. Merluzas. *In*: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter and V. Niem (Eds.). *Guía FAO para Identificación de especies para los fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental*. 3 Vols. FAO, Rome. pp. 1272-1274.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ J., A. ACEVEDO-CERVANTES, E. HERRERA-VALDIVIA, J. RODRÍGUEZ-ROMERO & D. S. PALACIOS-SALGADO. 2012. Composición taxonómica y aspectos zoogeográficos de peces de profundidad (90-540m) del Golfo de California, México. *Biología Tropical* 60 (1): 347-360.
- ROBERTSON D. R. & G. R. ALLEN. 2002. *Shore fishes of the tropical Eastern Pacific; an Information System*. CD-ROM. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panamá.
- PAULIN, C. 1995. Moridae. Moras, Molleras, Carboneros. *In*: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter and V. Niem (Eds.). *Guía FAO para Identificación de Especies para los fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental*. 3 Vols. FAO, Rome. pp. 1281-1288.
- TORRES-OROZCO, R. E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de maestría, CICESE, Ensenada, Baja California, México 80 p.

Length-weight relationship and relative condition factor of the Stone Scorpionfish *Scorpaena mystes* in the central area of the Gulf of California, Mexico

Relación longitud-peso y factor de condición relativo del pez escorpión roquero *Scorpaena mystes* en la parte central del Golfo de California, México

Uliyanov Jakes-Cota¹, Arturo Tripp-Valdez¹ and Francisco O. López-Fuerte²

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Departamento de Pesquerías y Biología Marina. A.P. 592. La Paz, Baja California Sur, 23096. México

²Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento Académico de Economía, Laboratorio de Sistemas Arrecifales. Carretera al Sur, km. 5.5., A.P. 19-B, La Paz, Baja California Sur, 23080. México
email: atrippv@ipn.mx

Recibido: 17 de junio de 2016.

Aceptado: 7 de diciembre de 2016

Jakes-Cota U., A. Tripp-Valdez, and F. O. López-Fuerte. 2017. Length-weight relationship and relative condition factor of the Stone Scorpionfish *Scorpaena mystes* in the central area of the Gulf of California, México. *Hidrobiológica* 27(1): 127-129.

ABSTRACT

Background. In recent years (since 2012) there has been an increase in the commercial exploitation of *Scorpaena mystes* Jordan & Starks, 1985 in the central area of the Gulf of California and there is no information on the basic biology of this species that serve as a basis to determine the current population status and, in the future, assess any changes associated with exploitation and environmental factors. **Goals.** Determine the length-weight (LWR) and length-length (LLR) relationships, and the relative condition factor of *S. mystes*. **Methods.** Fish specimens ($n = 258$) were collected monthly from May 2015 through April 2016 in waters off Santa Rosalía, Baja California Sur. Each fish was measured for standard length (SL) and total length (TL), and weighed (W). **Results.** LWR and LLR were highly significant ($p < 0.05$) with a determination coefficient higher than 0.9. The b -value ($b = 3.06$) of LWR was not significantly-different from 3. Monthly variation in the relative condition factor was also significant ($p < 0.05$) with the highest value in August (1.34). **Conclusions.** The growth of *S. mystes* is isometric. The monthly variation in the condition factor may be associated with maturation of the gonads of the species.

Key words: Condition factor, isometric growth, LLR, LWR, *Scorpaena mystes*.

RESUMEN

Antecedentes. En años recientes (desde 2012) ha existido un aumento en la explotación comercial de *Scorpaena mystes* Jordan & Starks, 1895 en la parte central del Golfo California y no existe información

sobre su biología básica que sirva de base para determinar el estado actual de la población y, en el futuro, evaluar cualquier cambio asociado con la explotación del recurso y factores ambientales. **Objetivos.** Determinar las relaciones longitud-peso (LWR) y longitud-longitud (LLR), así como el factor de condición relativo de *S. mystes*. **Métodos.** Los peces ($n = 258$) fueron capturados mensualmente de mayo de 2015 a abril de 2016 en aguas costeras de Santa Rosalía, Baja California Sur. De cada pez se registraron la longitud estándar (LE) y total (LT), y el peso (P). **Resultados.** Las LWR y LLR fueron altamente significativas ($p < 0.05$) con un coeficiente de determinación mayor a 0.9. El valor de b ($b = 3.06$) de la LWR no fue significativamente diferente de 3. La variación mensual del factor de condición relativo también fue significativa ($p < 0.05$), con el valor más alto en agosto (1.34). **Conclusiones.** El crecimiento de *S. mystes* es isométrico. La variación mensual del factor de condición puede estar asociada a la maduración de las gónadas de la especie.

Palabras clave: Crecimiento isométrico, factor de condición, LLR, LWR, *Scorpaena mystes*.

The Stone Scorpionfish, *Scorpaena mystes* Jordan & Starks, 1895, is a shallow-water species that occurs commonly on seaweed-covered reefs and in open, sandy areas. It is the most abundant species of the Scorpaenidae family along the eastern coast of the Baja California Peninsula, and ranges widely from southern California to Chile, including Isla Guadalupe, Gulf of California, Galápagos Islands, and other offshore islands (Thomson *et al.*, 2000; Butler *et al.*, 2012). Although the flesh is of excellent quality, Stone Scorpionfish is only a minor species for artisanal fisheries in the Gulf of California due to the venomous spines,

which can cause painful wounds and respiratory disorders (Poss, 1995). However, the central portion of the east coast of the Baja California peninsula, particularly the area around Santa Rosalía, Baja California Sur, has witnessed an increase in its commercialization in recent years (since 2012), as it has moved quickly from being considered a third-class, low-priced fish to gaining a reputation as a top-quality product that has increased in both price and capture volume (López-Fuerte, *Comm. pers.*). For these reasons, and because there is no information on the basic biology of this species, it is important to conduct studies such as this one, that serve as a basis to determine the current population status and, in the future, assess any changes associated with exploitation (artisanal fisheries) and environmental factors.

Evaluating the population size of a commercially-important fish species for its rational exploitation requires knowledge of the individual body length-weight relationship (LWR) (Dulčić *et al.*, 1994) because this provides important information on the condition of the fish and determines whether somatic growth is isometric or allometric. This is also very useful for determining the mean weight for a group of a given length, converting length observations into weights to provide a measure of biomass, and permitting the conversion of growth-in-length to growth-in-weight equations (Froese, 2006; Le Cren, 1951; Ricker, 1975). Hence, the aim of this study was to determine the LWR and relative condition factor of *S. mystes* from the central area of the west coast of the Gulf of California.

Fish specimens were collected monthly from May 2015 through April 2016 in waters off Santa Rosalía, Baja California Sur (27°19'45.14" N, 112°15'13.40" W). Fish were caught manually with handheld spears using semi-autonomous diving equipment (hookah) in waters up to 30 m depth. Each fish was measured for standard length (SL) and total length (TL) to the nearest 0.1 cm, and weighed (*W*) to the nearest 0.1 g.

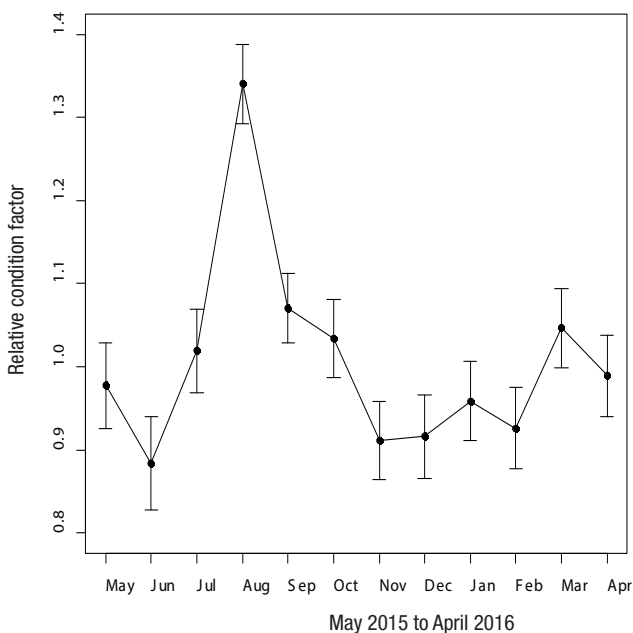


Figure 1. Monthly variation in the relative condition factor (*Kn*) of *Scorpaena mystes* from the central area of the Gulf of California, Mexico. Vertical lines indicate 95% confidence intervals of *Kn*.

LWR was described using the allometric equation: $W = aTL^b$, where *W* is the weight (g), *TL* is total length (cm), and *a* and *b* represent the intercept and slope of the regression line, respectively (Froese, 2006), which were estimated using a simple linear regression analysis of log-transformed data ($\log W = \log a + b \log TL$). In order to evaluate whether the *b*-value was significantly different from isometric growth (*b* = 3), a Student's *t*-test was performed (Zar, 2010). In addition, the SL vs. TL relationship (LLR) was determined by simple linear regression ($TL = a + b SL$). Finally, the relative condition factor (*Kn*) for each month was calculated by the equation $Kn = W \cdot W_e^{-1}$, where *W* is the observed weight of the fish and *W_e* is the predicted weight derived from the LWR (Le Cren, 1951). One-way analysis of variance was used to assess differences in mean monthly *Kn*. All statistical analyses were performed using R programming language (R Core Team, 2016).

A total of 258 Stone Scorpionfish were measured and weighed during the sampling period (21-22 per month). TL ranged from 15.3-44.5 cm, with a mean of 26.76 cm, while SL varied from 12.5-36.5 cm, with a mean of 21.57 cm. The weight range was 64-1,870 g, with a mean of 470.59 g. The LLR was highly significant ($p < 0.001$) with a high determination coefficient ($r^2 = 0.98$), and was expressed by the following equation: $TL = 2.249 + 1.136 SL$.

The LWR was also highly significant ($p < 0.001$) with a high determination coefficient ($r^2 = 0.92$), and was expressed by the equation $\log W = \log -1.75 + 3.06 \log TL$, with a 95% confidence interval for *b* from 2.95 to 3.17. The estimated *b*-value of the LWR of *S. mystes* was within the expected range of values reported for fishes (*b* = 2.5-3.5) (Froese, 2006), and *b*-values outside this range are generally considered erroneous (Ricker, 1975). In addition, the results of the Student's *t*-test showed that the *b*-value was not significantly different than 3, proving that the growth of *S. mystes* is isometric (i.e. growth of all body parts is consistent and proportional throughout development) (Bagenal & Tesch, 1978).

Variation in the relative condition factor between months was significant ($F_{(11,246)} = 23.95$, $p < 0.001$). One significant peak (Tukey test, $p < 0.05$) was observed in August 2015, followed by a steady decline until November 2015 (Fig. 1). The second-highest value, not significantly different (Tukey test, $p > 0.05$) from other months, was recorded in March 2016, while the lowest value was recorded in June 2015. High values for the condition factor are usually due to a high rate of feeding or gonadal maturation, while low values may be associated with limited food availability and weight loss after spawning (Froese, 2006; Le Cren, 1951). In order to better understand the variation observed in the condition factor of this species, additional studies on feeding habits and reproduction, as well as additional analyses by sex, are needed.

Before this study, no LWR and LLR parameters were available for *S. mystes* (Froese & Pauly, 2016). Further studies need to be conducted, as no information exists on the impact of artisanal fishing on Stone Scorpionfish populations, or on basic aspects of the biology of this species.

ACKNOWLEDGEMENTS

FOLF currently holds a postdoctoral research grant from CONACYT. ATV thanks EDI from the Instituto Politécnico Nacional.

REFERENCES

- BAGENAL, T.B. & F.W. TESCH. 1978. Age and growth *In*: Bagenal, T.B. (Ed.) *Methods for assessment of fish production in freshwater*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England, pp. 101-136.
- BUTLER, J. L., M. S. LOVE & T.E. LAIDIG. 2012. A guide to the rockfishes, thornyheads, and scorpionfishes of the Northeast Pacific. University of California Press, California, USA. 185 p.
- DULČIĆ, J., M. KRALJEVIĆ & P. CETINIĆ. 1994. Length-weight relationship in damselfish (*Chromis chromis* L. 1758) from the Eastern Adriatic during spawning. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 2 (24): 147-154. DOI: 10.3750/AIP1994.24.2.14
- FROESE, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22 (4): 241-253. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x
- FROESE, R. & PAULY D. (Eds.) 2016. *FishBase*. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, versión (01/2016).
- LE CREN, E. D. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology* 20 (2): 201-219. DOI: 10.2307/1540
- POSS, S. G. 1995. Scorpaenidae. *In*: Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem (Eds.) *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental*. Volumen III. Vertebrados Parte 2. FAO, Rome, Italy, pp. 1544-1564
- R CORE TEAM. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- RICKER, W. E. 1975. *Computation and interpretation of biological statistics of fish population*. Department of the Environment Fisheries and Marine Service, Ottawa, Canada.
- THOMSON, D.A., L.T. FINDLEY & A.N. KERSTITCH. 2000. *Reef fishes of the Sea of Cortez: The rocky-shore fishes of the Gulf of California*. University of Texas Press, Austin, USA. 407 p.
- ZAR, J. H. 2010. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA. 944 p.

Distribución del coral arrecifal *Pocillopora inflata* (Scleractinia) en el Pacífico Mexicano y comentarios sobre su situación taxonómica

Distribution of the reef coral *Pocillopora inflata* (Scleractinia) in the Mexican Pacific and comments about its taxonomic status

Héctor Reyes-Bonilla¹, Andrés López-Pérez², David A. Paz-García³, Geraldine Parra-Madrado^{1,4}, Pedro Medina-Rosas⁵ y Eduardo F. Balart³

¹Laboratorio de Sistemas Arrecifales, Departamento de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al sur km 5.5., Col. El Mezquitito, La Paz, Baja California Sur, 23080. México

²Laboratorio de Ecosistemas Costeros, Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Ciudad de México, 09340. México

³Laboratorio de Necton y Ecología de Arrecifes, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096. México

⁴Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Kilómetro 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales, Zapopan, Jalisco, 45110. México

⁵Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Avenida UdG 203, Del. Ixtapa, Puerto Vallarta, Jalisco, 48280. México
e-mail: alopez@xanum.uam.mx

Recibido: 01 de octubre de 2015.

Aceptado: 27 de julio de 2016.

Reyes-Bonilla H., A. López-Pérez, D. A. Paz-García, G. Parra-Madrado, P. Medina-Rosas y E. F. Balart. 2017. Distribución del coral arrecifal *Pocillopora inflata* (Scleractinia) en el Pacífico Mexicano y comentarios sobre su situación taxonómica. *Hidrobiológica* 27 (1): 131-135.

RESUMEN

Antecedentes. La distribución de los corales del Pacífico Oriental está bien caracterizada, sin embargo prospecciones de campo siguen arrojando nuevos registros geográficos de los taxa. **Objetivos.** Presentar una recopilación detallada de las zonas de presencia del coral *Pocillopora inflata*, en México, aportar observaciones que extienden su ámbito de distribución y discutir algunos aspectos sobre la validez taxonómica de los registros de la especie en el país. **Métodos.** Se compilaron datos de distribución de la especie en el Pacífico Oriental y datos de campo del taxón en el Pacífico mexicano. **Resultados.** Los resultados indican que la distribución de *P. inflata* comprende el sur del Golfo de California (incluyendo nuevos registros en cuatro localidades de Baja California Sur, dentro del paralelo 24°N), Nayarit, Colima, Guerrero y Oaxaca (hasta Bahías de Huatulco; 15°N). Los nuevos datos modifican el mapa de distribución reconocido para el taxón en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. **Conclusiones.** Observaciones llevadas a cabo repetidamente en el Golfo de California evidencian que debido a la gran plasticidad fenotípica de otra morfoespecie (*P. damicornis*), puede haber confusiones al identificar *P. inflata* en el campo, ya que la forma general de esta especie y la de las ramas de *P. damicornis* afectadas por tormentas, llega a ser muy similar.

Palabras clave: Biogeografía, lista roja, Pacífico oriental, *Pocillopora damicornis*, variabilidad morfológica.

ABSTRACT

Background. The geographic distribution of reef corals in the eastern Pacific is well documented. However, field surveys still produce new geographic records of the taxa. **Goals.** The objective of this paper is to present a detailed compilation of the areas of occurrence of the *Pocillopora inflata* in Mexico, provide observations on its distribution range and comment on the taxonomic validity of the records of this species in the country. **Methods.** Data regarding distribution of the species in the Eastern Pacific and Mexican Pacific were gathered from published sources and field logs. **Results.** The distribution of *P. inflata* ranges from the southern Gulf of California (including new records for four locations of Baja California Sur, along the 24°N parallel), Nayarit, Colima, Guerrero and Oaxaca (to Huatulco Bays; 15°N). This new data call for a modification of the distribution map for the taxon in the Red List of the International Union for Conservation of Nature. **Conclusions.** Repeated observations in the Gulf of California revealed that, due to the remarkable phenotypic plasticity of another species (*P. damicornis*), confusion may arise with the identification of *P. inflata* in the field, since the general form of this species, is quite similar to the branches of *P. damicornis* affected by storms.

Key words: Biogeography, Eastern Pacific, red list, morphologic variability, *Pocillopora damicornis*.

La fauna de corales zooxantelados del Pacífico Oriental tropical está constituida por 42 especies pertenecientes a seis géneros y cinco familias (Reyes-Bonilla, 2002). La región abarca desde México hasta Ecuador, incluyendo varias islas oceánicas, y es considerada como una de las más pobres en lo que respecta a corales arrecifales, ya que las condiciones locales para su establecimiento y desarrollo no son muy adecuadas (Veron, 2000). El Pacífico Oriental se caracteriza por presentar una angosta plataforma continental, grandes extensiones de playas arenosas, desembocaduras de ríos, temperatura relativamente baja cuando se compara con zonas arrecifales del Pacífico Central y Occidental, y altas concentraciones de nutrientes y de clorofila en la columna de agua (Glynn & Ault, 2000).

La distribución de las especies coralinas del Pacífico Oriental está bien caracterizada (Glynn *et al.*, 2017), pero estudios de campo cada vez más precisos conducidos en la región arrojan nuevos registros geográficos de los taxa, los cuales son poco conocidos hasta el momento en que se llevan a cabo revisiones para conjuntarlos. Uno de los corales en esta situación es *Pocillopora inflata* Glynn, 1999 (Fig. 1), coral originalmente registrado para las Islas Galápagos, Ecuador, el norte de Costa Rica, y Oaxaca, México, pero cuyo rango de distribución ha sido ampliado posteriormente hacia otras zonas del Pacífico de México (López-Pérez *et al.*, 2012). El coral *P. inflata* es poco común, y dada su rareza y distribución limitada ha sido calificado como en estado "Vulnerable" en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN; Chiriboga *et al.*, 2008; Polidoro *et al.*, 2012). El

objetivo de la presente nota fue el de recopilar los registros de *P. inflata* para México, aportar nuevas observaciones que extienden su ámbito de distribución y modifican los mapas de presencia de la especie en la Lista Roja, y comentar algunos aspectos sobre su identificación en el campo.

El primer registro de *P. inflata* para México se hizo como parte de la descripción original de la especie, a partir de ejemplares recolectados en el arrecife La Entrega (Huatulco, Oaxaca), localizado en el sur del Pacífico mexicano (Glynn 1999). Posteriormente, Veron (2000) muestra un mapa que abarca desde las Islas Galápagos y América Central, hasta la costa de Oaxaca, y Reyes-Bonilla (2002) indicó que la especie reside en México; sin embargo, ninguno de los dos autores detalló las zonas precisas de su presencia en el país. López-Pérez & Hernández-Balasteros (2004) encontraron este coral en San Agustín (Huatulco, Oaxaca), y Reyes-Bonilla *et al.* (2005) compilaron una base de datos en formato electrónico donde además de incluir los datos sobre la distribución de *P. inflata* disponibles hasta 2004 en México, anotaron 20 nuevos registros georreferenciados de ejemplares para el estado de Oaxaca y, para Guerrero (Zihuatanejo) y Colima (Manzanillo). López-Pérez & López-García (2008) mencionan de nuevo al coral para Huatulco (sin aportar datos geográficos precisos), mientras que Reyes-Bonilla *et al.* (2009) indican la presencia de *P. inflata* en Guerrero, Oaxaca y Colima. Desafortunadamente en estas últimas publicaciones los autores no proporcionan datos georreferenciados, sino que incluyen la presencia de la especie

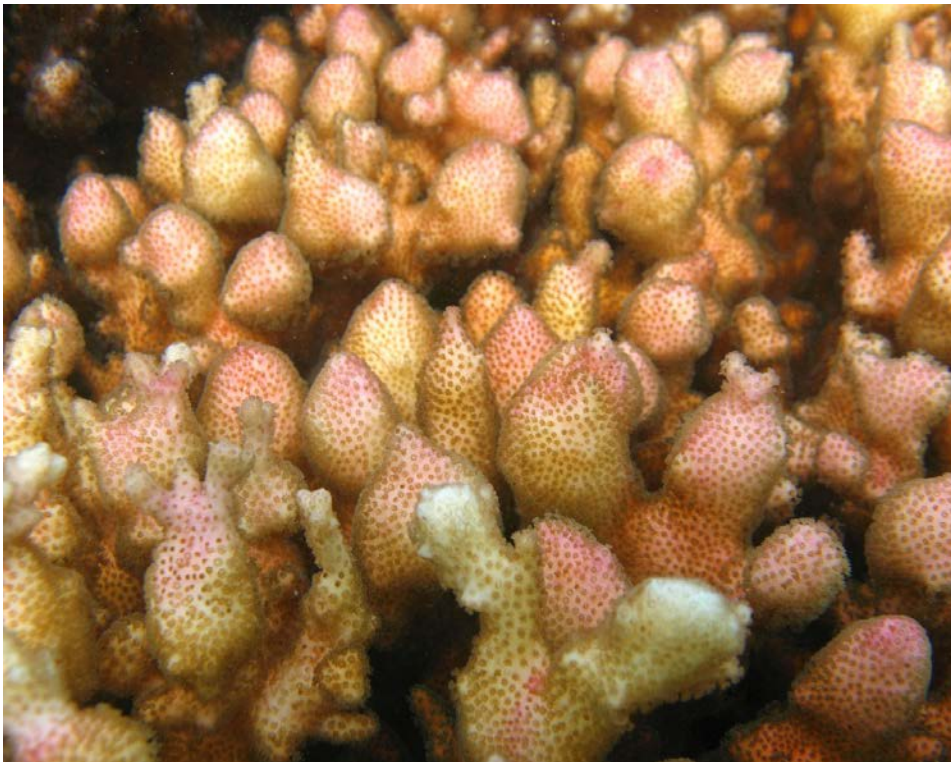


Figura 1. Fotografía del coral *Pocillopora inflata* en Isla Gaviota, al sur del Golfo de California, México (posición del registro: 24.287514° N, -110.337686° O). El espécimen no fue recolectado, pero se identificó con base en las características generales de la morfología colonial mencionadas en la descripción original de Glynn (1999).

dentro de grandes regiones o localidades. Durante la presente década, López-Pérez *et al.* (2012) observaron a *P. inflata* en dos arrecifes de la costa de Guerrero (Caleta de Chon y Playa Manzanillo, cerca de Zihuatanejo), mientras que Bastida-Zavala *et al.* (2013) vuelven a mencionar la presencia de *P. inflata* en el estado de Oaxaca y Rodríguez-Villalobos *et al.* (2014) anotaron la presencia del taxón en tres zonas: Huatulco, Manzanillo (bahías La Boquita y Carrizales, en Colima) e Isla Isabel, en Nayarit. La totalidad de las observaciones precisas de *P. inflata* en México se muestran en la Figura 2; muchos de estos registros han sido validados por agencias internacionales incluyendo Corals of the World (Veron *et al.* 2017), Ocean Biogeographic Information System (OBIS, 2015), y Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2015).

Con relación al Golfo de California, compilaciones de Reyes-Bonilla & López-Pérez (2009) y Reyes-Bonilla *et al.* (2009), así como la base de datos Macrofauna Golfo Invertebrate Data Base (Brusca & Hendrickx 2008) no mencionan la presencia de la especie; Rodríguez-Villalobos *et al.* (2014), por su parte, anotan su presencia en Isla Isabel, Nayarit; mientras que Aguilar-Medrano & Calderón-Aguilera (2016) la reportan en Cabo Pulmo, Baja California Sur, con una cobertura menor al 1% del fondo. Posteriormente, Paz-García *et al.* (2015a) y los autores de la presente nota observaron ejemplares de *P. inflata* en cuatro localidades de la Bahía de La Paz, Baja California Sur (Isla Gaviotas, Punta Galeras, Punta Diablo y San Gabriel, Fig. 2). Esas colonias han sido vistas desde 2010 a 2015 por lo que podrían representar una población permanente. Adicionalmente, durante un monitoreo realizado en Mayo y Junio de 2015 no se encontró al coral *P. inflata* al norte de la Bahía de La Paz o en las islas del Parque de Bahía de Loreto, lo que indicaría que su límite norte de distribución se encuentra aproximadamente a los 24.4206°N y -110.3530° W (Bahía San Gabriel, Golfo de California).

Con base en los registros bibliográficos y observaciones recientes en el Golfo de California, se puede depurar notablemente el mapa de distribución de *P. inflata* presentado en la Lista Roja (UICN, 2015) (Fig. 2). El área putativa de distribución en México de *P. inflata* para tal agencia, fue presentada de forma disjunta por Chiriboga *et al.* (2008) con una parte en Oaxaca y Guerrero y otra separada dentro del Golfo de California. Con base en los registros recientes, es posible que la distribución del taxón en el occidente de México sea mucho más continua, como lo muestran los puntos marcados en la Figura 2. Por otra parte, el mapa de UICN señala partes de la costa suroeste de la Península de Baja California y de la costa oriental del Golfo de California (el norte de Sinaloa y sur de Sonora) con presencia de este coral, pero a partir de los datos mostrados en la presente publicación puede afirmarse que tal información es errónea, sobre todo porque el área marcada en la costa oriental del golfo consiste, básicamente, de esteros, lagunas y manglares, y por consiguiente no es apta para la colonización y desarrollo de corales constructores de arrecife (Reyes Bonilla & López-Pérez, 2009). Los autores de la ficha de la Lista Roja (Chiriboga *et al.*, 2008) no reportan las fuentes de la información, sin embargo la falta de registros en bibliografía y en bases de datos biogeográficas, así como la fisiografía de esas localidades, pone en duda la presencia de *P. inflata* en la parte oeste de la península de Baja California, en el margen continental del Golfo de California, y en sitios al norte de la Bahía de La Paz. Por último, los nuevos registros en Guerrero, Colima y Nayarit contradicen la observación de Glynn (1999) quien indica que la especie solo se presenta en zonas con presencia de surgencias.

Para finalizar, es importante hacer una anotación de orden taxonómico. En la actualidad existe debate sobre la validez de muchas especies del género *Pocillopora* en el Pacífico Oriental, debido a que la forma de las ramificaciones y colonias de estos corales puede estar

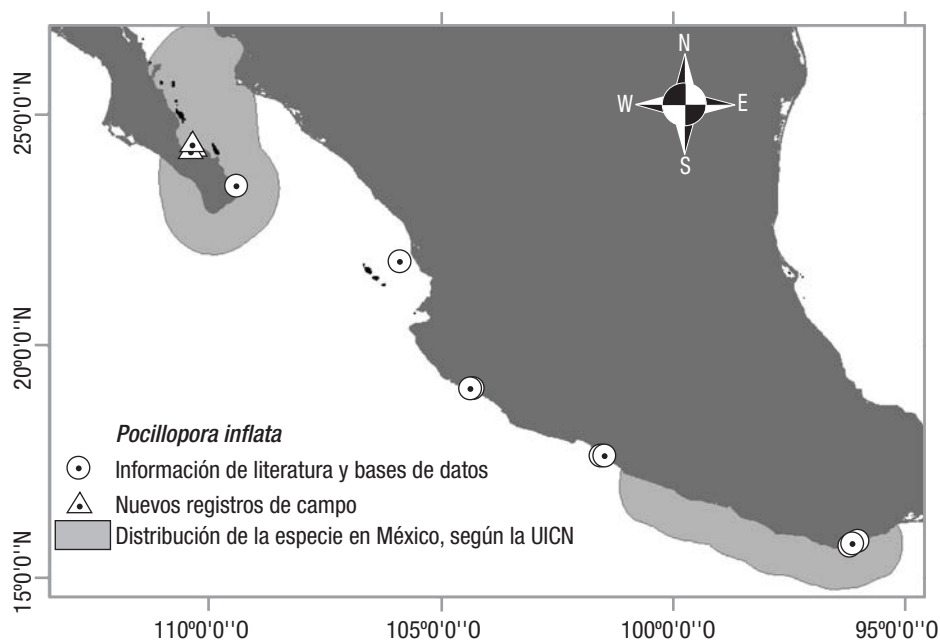


Figura 2. Distribución del coral *Pocillopora inflata* en el Pacífico Mexicano. El sombreado indica el área de presencia según la Lista Roja de UICN, los puntos señalan registros georreferenciados de la especie (obtenidos de literatura y trabajo de campo), y los triángulos indican nuevos registros aquí presentados.

influenciada por las condiciones circundantes de velocidad y dirección de las corrientes, y la penetración de la luz, creando un traslape de las características diagnósticas de los distintos taxa (Paz-García *et al.*, 2015a). En el caso que nos ocupa, observaciones de corales marcados en la Bahía de La Paz (Isla Gaviota) revelaron que en un intervalo de 20 meses, el 23% (N = 35) de las colonias de *Pocillopora damicornis* (Linnaeus, 1758) cambiaron su morfología hacia una análoga a la de *P. inflata* y luego recobraron la original (Paz-García *et al.*, 2015b). Estas variaciones coincidieron con un aumento en la velocidad de la corriente y en la turbidez, condiciones causadas por un periodo de alta incidencia de tormentas en la zona de estudio. Así, se abre la posibilidad que algunos registros de *P. inflata* en costas mexicanas puedan ser erróneos y tratarse de ejemplares de *P. damicornis* que están respondiendo a cambios en las condiciones ambientales. Esta observación no implica un problema de identidad taxonómica (la separación genética de ambas especies ha sido claramente demostrada; Combosch *et al.*, 2008), sin embargo, no es extrapolable a otras regiones del Pacífico Oriental donde no se presentan estos eventos meteorológicos (Galápagos, Panamá o Costa Rica). Lo anterior permite hacer un llamado de atención para que en México se haga una labor de confirmación de los registros y las identificaciones realizadas, y que a futuro la identificación en campo de la especie se haga apegada lo más posible a los caracteres diagnósticos del coralite sugeridos por Glynn (1999) y Veron (2000) para los ejemplares de América Central y las Galápagos, y no solo por la forma general de las ramificaciones. Particularmente se sugiere observar la presencia de una columella conspicua, estiliforme o fascicular, pocas verrugas (menos de 2 por cm²) y el hecho que los septos están ausentes, o bien presentan poco desarrollo.

Como conclusión, y con base en datos originales y en la literatura disponible, este trabajo confirma que el coral *P. inflata* se encuentra distribuido en el Pacífico Mexicano, desde el sur del Golfo de California hasta Oaxaca. Además, los resultados llaman a la modificación de los mapas de distribución de este taxón puestos a disposición por agencias internacionales como UICN. Por su parte, la aparición en México de morfotipos de *P. damicornis* que se asemejan a los de *P. inflata*, pero que parecen ser resultado de los efectos de la corriente, hacen importante recomendar que se haga una revisión de los materiales y registros disponibles para esta especie, y que registros futuros de *P. inflata* sean basados en caracteres diagnósticos de la especie a nivel coralite, y no solo en su forma colonial general.

REFERENCIAS

- VERON J. E. N., STAFFORD-SMITH M. G., TURAK E. AND DeVANTIER L. M. (2017). Corals of the World. Accessed 25/04/2017, version 0.01 (Beta). <http://www.coralsoftheworld.org/page/home/>.
- BRUSCA, R. C. AND M. E. HENDRICKX. 2008. The Gulf of California Invertebrate Database: The Invertebrate Portion of the Macrofauna Golfo Database. <http://www.desertmuseum.org/center/seaofcortez/database.php>.
- AGUILAR-MEDRANO, R. & L. E. CALDERÓN-AGUILERA. 2016. Redundancy and diversity of functional reef fish groups of the Mexican Eastern Pacific. *Marine Ecology* 37: 119-133. DOI: 10.1111/maec.12253.
- BASTIDA-ZAVALA, J. R., M. S. GARCÍA-SANDOVAL, E. F. ROSAS-ALQUICIRA, R. A. LÓPEZ-PÉREZ, F. BENÍTEZ-VILLALOBOS, J. F. MERAZ-HERNANDO, A. M. TORRES-HUERTA, A. MONTOYA-MÁRQUEZ, & N. A. BARRIENTOS-LUJÁN. 2013. Marine and costal biodiversity of Oaxaca, Mexico. *Check List* 9: 329-390. DOI: 10.15560/9.2.329.
- CHIRIBOGA, A., H. GUZMÁN, J. CORTÉS, C. HICKMAN, & G. EDGAR. 2008. *Pocillopora inflata*. The IUCN Red List of Threatened Species. Disponible en línea en: <http://www.iucnredlist.org/details/133309/0> (consultado el 1 de junio de 2015).
- COMBOSCH, D. J., H. M. GUZMÁN, H. SCHUHMACHER & S. V. VOLLMER. 2008. Interspecific hybridization and restricted trans-Pacific gene flow in the Tropical Eastern Pacific *Pocillopora*. *Molecular Ecology* 17:1304-1312. DOI:10.1111/j.1365-294X.2007.03672.x.
- GBIF (GLOBAL BIOGEOGRAPHIC INFORMATION FACILITY). 2015. Disponible en línea en http://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=2259466 (consultado el 1 de junio de 2015).
- GLYNN, P. W. 1999. *Pocillopora inflata*, a new species of scleractinian coral (Cnidaria: Anthozoa) from the Tropical Eastern Pacific. *Pacific Science* 53: 168-180. Disponible en <http://hdl.handle.net/10125/1647>.
- GLYNN, P. W., & J. S. AULT. 2000. A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. *Coral Reefs* 19: 1-23. DOI: 10.1007/s003380050220.
- GLYNN, P. W., J. J. ALVARADO, S. BANKS, J. CORTÉS, J. S. FEINGOLD, C. JIMÉNEZ, J. E. MARAGOS, P. MARTÍNEZ, J. L. MATÉ, D. A. MOANGA, S. NAVARRETE, H. REYES-BONILLA, B. RIEGL, F. RIVERA, B. VARGAS-ÁNGEL, E. A. WIETERS, & F. A. ZAPATA. 2017. Eastern Pacific coral reef provinces, coral community structure and composition: An overview. In: Glynn, P. W., D. Manzello & I. C. Enochs (Eds.). *Coral reefs of the Eastern Tropical Pacific: Persistence and loss in a dynamic environment*. Springer. Amsterdam, pp. 107-176. DOI: 10.1007/978-94-017-7499-4_5.
- LÓPEZ-PÉREZ, R. A. & L. M. HERNÁNDEZ-BALLESTEROS. 2004. Coral community structure and dynamics in the Huatulco area, Western Mexico. *Bulletin of Marine Science* 75:453-472.
- LÓPEZ-PÉREZ, R. A. & A. LÓPEZ-GARCÍA. 2008. Identificación de sitios prioritarios para la conservación de corales formadores de arrecife en el estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica* 18: 239-250.
- LÓPEZ-PÉREZ, R. A., L. E. CALDERÓN-AGUILERA, H. REYES-BONILLA, J. D. CARRIQUIRY, P. MEDINA-ROSAS, A. L. CUPUL-MAGAÑA, M. D. HERRERO-PÉREZ, H. HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, M. A. AHUMADA-SEMPOAL, & B. M. LUNA-SALGUERO. 2012. Coral communities and reefs from Guerrero, Southern Mexican Pacific. *Marine Ecology* 33: 407-416. DOI: 10.1111/j.1439-0485.2011.00505.x.
- OBIS (OCEAN BIOGEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM). 2015. Disponible en línea en <http://www.iobis.org/es> (consultado el 1 de junio de 2015).
- PAZ-GARCÍA, D. A., M. E. HELLBERG, F. J. GARCÍA-DE LEÓN, & E. F. BALART. 2015a. Switch between morphospecies of *Pocillopora* corals. *American Naturalist* 186: 434-440. DOI: 10.1086/682363.
- PAZ-GARCÍA, D. A., A. ALDANA-MORENO, R. A. CABRAL-TENA, F. J. GARCÍA-DE LEÓN, M. E. HELLBERG, & E. F. BALART. 2015b. Morphological variation and different branch modularity across contrasting flow conditions in

- dominant *Pocillopora* reef-building corals. *Oecologia* 178: 207-218. DOI: 10.1007/s00442-014-3199-9.
- POLIDORO, B. A., T. BROOKS, K. E. CARPENTER, G. J. EDGAR, S. HENDERSON, J. SANCIANGCO & D. R. ROBERTSON. 2012. Patterns of extinction risk and threat for marine vertebrates and habitat-forming species in the Tropical Eastern Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 448: 93-104. DOI: 10.3354/meps09545.
- REYES-BONILLA, H. 2002. Checklist of valid names and synonyms of stony corals (Anthozoa: Scleractinia) from the eastern Pacific. *Journal of Natural History* 36:1-13.
- REYES-BONILLA, H. & R. A. LÓPEZ-PÉREZ. 2009. Corals and coral reef communities in the Gulf of California. In: Johnson, A. & J. Ledezma-Vázquez (Eds.). *Atlas of coastal ecosystems in the western Gulf of California*. The University of Arizona Press. Tucson, pp. 45-57.
- REYES-BONILLA, H., L. E. CALDERÓN-AGUILERA, G. CRUZ-PIÑÓN, P. MEDINA-ROSAS, R. A. LÓPEZ-PÉREZ, M. D. HERRERO-PÉREZ, G. E. LEYTE-MORALES, A. L. CUPUL-MAGAÑA, & J. D. CARRIQUIRY-BELTRÁN. 2005. *Atlas de corales pétreos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico mexicano*. Guadalajara: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Universidad de Guadalajara/ Universidad del Mar. 124 p.
- REYES-BONILLA, H., L. E. CALDERÓN-AGUILERA, G. CRUZ-PIÑÓN, R. A. LÓPEZ-PÉREZ, & P. MEDINA-ROSAS. 2010. Evaluación de la diversidad gama de corales arrecifales (Scleractinia) en el Pacífico de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 113-121.
- RODRÍGUEZ-VILLALOBOS, J. C., A. ROCHA-OLIVARES, T. M. WORK, L. E. CALDERÓN-AGUILERA, & J. A. CÁCERES-MARTÍNEZ. 2014. Gross and microscopic pathology of lesions in *Pocillopora* spp. from the subtropical eastern Pacific. *Journal of Invertebrate Pathology* 120: 9-17. DOI: 10.1016/j.jip.2014.04.007.
- UICN (UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA). 2015. Disponible en línea en: <http://www.iucnredlist.org/details/133309/0> (consultado el 1 de junio de 2015).
- VERON, J. E. N. 2000. *Corals of the world*. Australian Institute of Marine Science. Townsville.

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 participan 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 29 dólares americanos) y \$1000 pesos por página a color (aproximadamente 58 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 remitidas a una de 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: mem@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.

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 300 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 (Key words), 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, 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.

Citas a documentos que se encuentran en la web.

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. *Entomobrasilia* 2 (1): 01-10. DOI: 10.12741/ebrazil.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.TIFF o 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 **KEY WORDS**, **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.

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 (\$29.00 USD, approximately) and \$1000 Mexican pesos per page in color (58 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 to one of the following email addresses:

Hidrobiológica: rehb@xanum.uam.mx

Assistant editor: enlacerevistahidrobiologica@gmail.com

Editor-in-chief: mem@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.**

Key words

Appropriate **key words** (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 chamigrene 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: laurol, 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, 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. México, D.F. 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

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: Mapa. TIFF or 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 key words in alphabetic order), **RESUMEN** (abstract in Spanish with key words (“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).

Copyrights

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-305.

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

HIDROBIOLÓGICA

Revista del Departamento de Hidrobiología

VOLUMEN 27

Número 1

2017

Sánchez-Serrano S. y J. Cáceres-Martínez

Primer registro helmintológico de la sardina monterrey *Sardinops sagax* en Baja California, México, durante dos estaciones del año 1-11

Wurl J., C. N. Martínez García y M. Á. Imaz Lamadrid

Respuesta hidrológica al cambio climático en regiones áridas: caso de estudio en los Comondú, Baja California Sur, México 13-22

López-Fuerte F. O., D. A. Siqueiros-Beltrones, L. Veleza and D. A. Huerta-Quintanilla

Species composition and assemblage structure of microfouling diatoms growing on fiberglass plates off the coast of Yucatán, Mexico 23-37

Hernández-Olascoaga A., L. D. Olivera-Gómez and B. Morales-Vela

Helminth parasites in feces of Antillean manatees *Trichechus manatus manatus* (Sirenia: Trichechidae) in Mexico: Gulf of Mexico and Caribbean 39-44

Godínez-Ortega J. L., M. G. Oliva-Martínez, M. A. Escobar-Oliva y B. Mendoza-Garfías

Diversidad algal del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México, excepto diatomeas 45-58

Trinidad-Ocaña C., J. F. Miranda-Vidal, J. Juárez-Flores y E. Barba-Macias

Distribución y densidad de moluscos invasores de la familia Thiaridae en diferentes ambientes dulceacuícolas de Tabasco, México 59-68

López-Rojas V. I., R. Flores-Garza, P. Flores-Rodríguez, C. Torreblanca-Ramírez y S. García-Ibáñez

La clase Bivalvia en sitios rocosos de las Regiones Marinas Prioritarias en Guerrero, México: riqueza de especies, abundancia y distribución 69-86

Guerrero-Jiménez G., R. Rico-Martínez y M. Silva-Briano

Monitoreo de una planta tratadora de aguas residuales mediante pruebas de toxicidad aguda con el cladóceros *Daphnia magna* y el rotífero de agua dulce *Lecane quadridentata* 87-92

Cony N. L., N. C. Ferrer and E. J. Cáceres

Dynamics of the phytoplankton community of an Argentine Pampean wetland in relation to water environmental variables 93-102

Rivera-Hernández J. R., C. Green-Ruiz, L. Pelling-Salazar and A. Trejo-Alduenda

Hydrochemistry of the Mocerito river coastal aquifer, Sinaloa, Mexico: water quality assessment for human consumption and agriculture suitability 103-113

NOTAS**Fuentealba-Jara C., G. D'Elia, F. González y C. Franco-Jaccard**

Reconstrucción filogenética de Sphaeriidae (Veneroidea: Bivalvia) y la posición filogenética de *Pisidium chilense* 115-117

Siqueiros Beltrones D. A., J. M. Murillo Jiménez and R. E. García Gómez

Recent observations supporting the hypothesis of the colonization of thrombolite platforms by mangroves 119-121

Morales-Azpeitia R., J. López-Martínez and J. E. Valdez-Holguín

New bathymetric record for the fish bighead mora, *Laemonema verecundum* (Gadiformes: Moridae) in the Gulf of California, Mexico 123-126

Jakes-Cota U., A. Tripp-Valdez and F. O. López-Fuerte

Length-weight relationship and relative condition factor of the Stone Scorpionfish *Scorpaena mystes* in the central area of the Gulf of California, Mexico 127-129

Reyes-Bonilla H., A. López-Pérez, D. A. Paz-García, G. Parra-Madrado, P. Medina-Rosas y E. F. Balart

Distribución del coral arrecifal *Pocillopora inflata* (Scleractinia) en el Pacífico Mexicano y comentarios sobre su situación taxonómica 131-135

Instrucciones para autores 137-140

Instructions for authors 141-144
