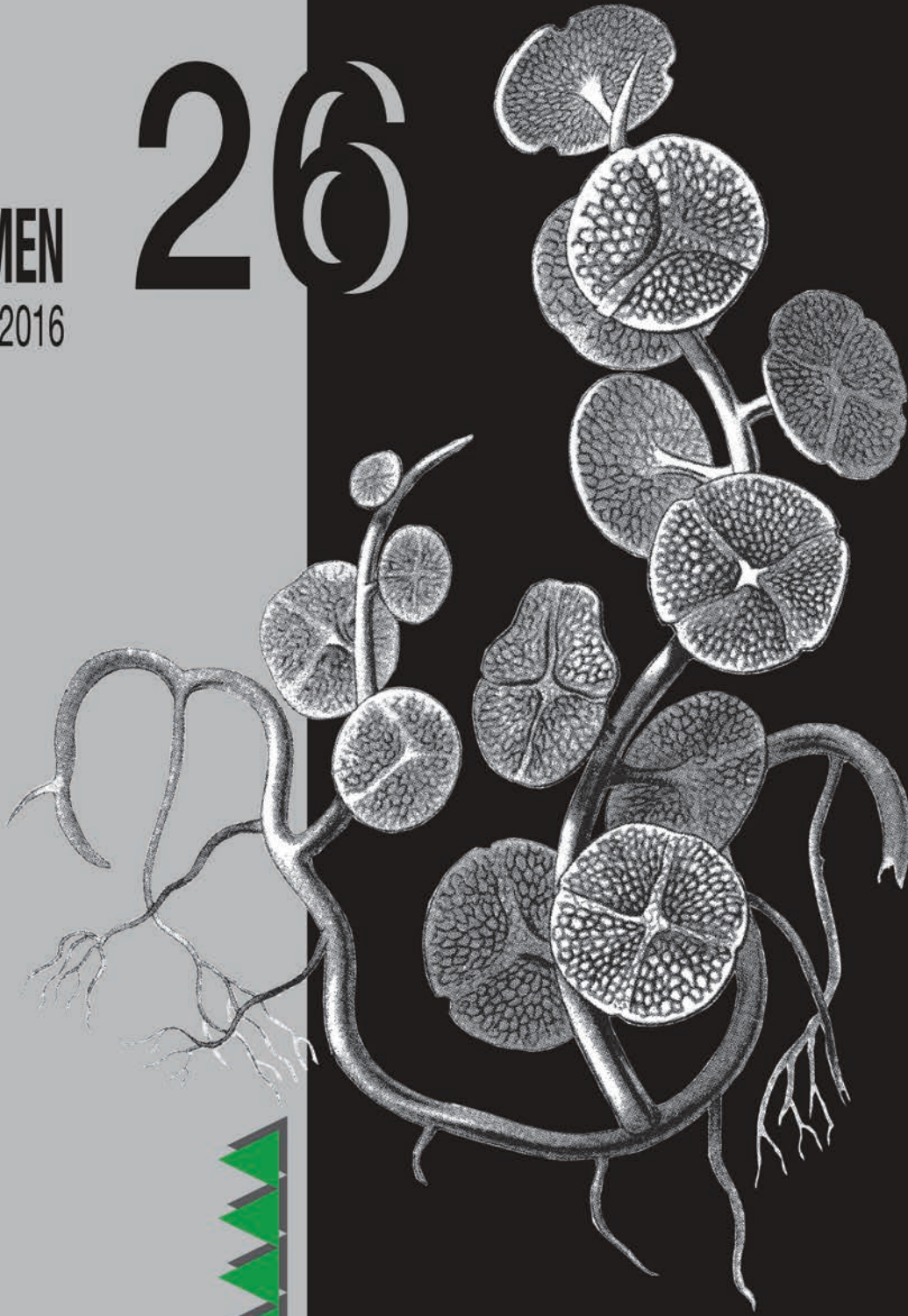


# HIDROBIOLÓGICA

# 26

VOLUMEN  
Número 2, 2016



**UAM**  
Casa abierta al tiempo  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
Unidad Iztapalapa



# **HIDROBIOLÓGICA**

**Revista del Departamento de Hidrobiología**

VOLUMEN 26

Número 2

2016

---

**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, acuicultura, pesquerías, contaminación y ecología de los recursos y sistemas acuáticos, realizados en México y en todo el mundo.

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

PERIÓDICA. Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.

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

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

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA).

Web of Science/Thomson Reuters

E&M Biology (Elsevier)

SCOPUS (Elsevier)

**Página electrónica:** <http://investigacion.izt.uam.mx/rehb/>

**Portal OJS:** <http://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/index>

**HIDROBIOLÓGICA**, Vol. 26 No. 2, Mayo-Agosto 2016, 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://investigacion.izt.uam.mx/rehb/> y dirección electrónica [rehb@xanum.uam.mx](mailto: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 agosto de 2016, 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**

Área de Ficología Comparada

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud.

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX. México

### 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. José Francisco Flores Pedroche

Dpto. Ciencias Ambientales

División Ciencias Biológicas y de la Salud

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma (UAML)

Lerma de Villada, Edo. de México. México.

Dr. Abel Sentías Granados

Área de Ficología Comparada

Departamento de Hidrobiología

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX. México.

Dra. Mariana Cabral de Oliveira

Laboratório de Algas Marinhas "Édison José de Paula".

Departamento de Botânica, Instituto de Biociências

Universidade de São Paulo (USP)

São Paulo, Brasil.

Dra. Dení Claudia Rodríguez Vargas

Laboratorio de Ficología

Departamento de Biología

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional Autónoma de México

CDMX. México.

Dra. Ana María Suárez Alfonso

Centro de Investigaciones Marinas

Universidad de la Habana

La Habana, Cuba.

### 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. Daniel Robledo Ramírez

Departamento de Recursos del Mar

Laboratorio de Ficología Aplicada

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

Instituto Politécnico Nacional

Mérida, Yucatán. México.

### ÁREA AMBIENTAL

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. 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. 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.

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.

Dr. Felipe Omar Tapia Silva

Laboratorio Geomática Aplicada

Dpto. de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI)

CDMX. México.

Dra. Elvira Perona Urizar

Departamento de Biología

Facultad de Ciencias

Universidad Autónoma de Madrid

Madrid, España.

### ÁREA ECOLOGÍA

Dr. Derik Castillo Guajardo

Área Biología de la Conservación

Departamento 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.

Dr. Enrique Cantoral Uriza

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI),

Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Querétaro, Querétaro México.

Dr. José Antolín Aké-Castillo

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías

Universidad Veracruzana

Boca del Río, Veracruz. México.

Dra. Rosa Luz Tavera Sierra

Departamento de Ecología y Recursos Naturales

Especialidad: Ecología de algas de agua dulce

Facultad de Ciencias

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

CDMX. México.



## CONSEJO EDITORIAL

Dr. Saúl Álvarez Borrego  
Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada  
México.

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

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

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

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

Dr. Luis Fernando Bückle Ramírez  
Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada  
México.

Dr. Carlos Cáceres Martínez  
Universidad Autónoma de Baja California Sur  
México.

Dr. Roberto Civera Cerecedo  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste  
México.

Dra. Laura Dávalos Lind  
Baylor University, 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  
México.

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

Dr. Francisco J. García de León  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste  
México.

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

Dr. Brian E. Hartwick  
Simon Fraser University  
Canada.

Dr. Antonio Lot Helgueras  
Instituto de Biología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México.

Dr. Jordi Leonart  
Institut de Ciències del Mar  
España.

Dr. Fabio Massa  
Experto FAO  
Italia.

Dr. Alejandro Toledo Ocampo  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México.

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

Dra. Marisa Mazari Hiriart  
Instituto de Ecología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México.

Dr. Juan José Morrone Lupi  
Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México.

Dr. Federico Páez Osuna  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología - Mazatlán  
México.

Dra. Gabriela Parra Olea  
Instituto de Biología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México.

Dra. Dolores Planas  
Département des Sciences Biologiques  
Université du Québec à Montréal  
Canada.

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

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

Dr. Paul C. Silva  
University of California  
Berkeley, USA.

Dr. Michael J. Smith  
Simon Fraser University  
Canada.

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

Dr. Martin F. Wojciechowski  
Arizona State University  
USA.

Dr. Giuseppe C. Zuccarello  
Victoria University of Wellington  
New Zealand.

# HIDROBIOLÓGICA

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

ÍNDICE AL VOLUMEN 26, NÚMERO 2 • 2016

---

**Chacana M. E., P. C. Silva, F. F. Pedroche y K. A. Miller**

Las especies del género *Codium* (Chlorophyta) presentes en las Islas Galápagos.....151-159

**Almanza Álvarez J. S., I. Israde Alcántara y V. Segura-García**

Diatomeas perifíticas del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México.....161-185

**Segura-García V., J. S. Almanza Álvarez y J. Ponce-Saavedra**

Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México .....187-202

**Fujii M. T., A. Senties, A. C. Jover, J. Díaz-Larrea y A. Areces**

Evidencias morfológicas y moleculares para *Osmundea coelenterata* comb. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) del Océano Atlántico tropical.....203-211

**Quiñones-Peyro B. C., F. O. López-Fuerte, A. Mazariegos Villareal, E. Serviere-Zaragoza, M. Casas Valdez y R. Yabur Pacheco**

Macroalgas marinas bentónicas de Isla Guadalupe, Baja California, México .....213-223

**Lozano-Orozco J. G., A. Senties, F. F. Pedroche y J. Díaz-Larrea**

*Dictyota chalcicueyecanensis* sp. nov. (Dictyotales; Phaeophyceae) en el Golfo de México: evidencias moleculares y morfológicas .....225-231

**Bernardi J., E. R. T. P. P. de Vasconcelos, C. Lhullier, T. Gerber, P. Colepicolo Neto y F. M. Pellizzari**

Datos preliminares de la actividad antioxidante de algas verdes (Ulvophyceae) del Atlántico del Sur y de las islas marítimas de Antártida.....233-239

**Vouilloud A. A., Y. Plata-Díaz, E. Pedraza, A. Pimienta, S. Heguilor, A. Lamaro y S. E. Sala**

Distribución de *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) en ríos neotropicales (Colombia) y su implicancia en la taxonomía de la especie .....241-250

**Rodríguez-Gómez C. F. y J. A. Aké-Castillo**

Cálculo del contenido celular de carbono de cuatro taxones de diatomeas: biovolumen y espectrofotometría.....251-257

**Vázquez-Machorro A., J. L. Godínez-Ortega, A. Granados-Barba y P. Ramírez-García**

Estructura y composición de la macroflora dominante del pecio Ana Elena, Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México .....259-267

**García Granados R. U., F. Alarcón Aguilar, M. Gallegos Martínez y G. De Lara-Isassi**

Tratamiento subcrónico en ratones diabéticos con *Caulerpa sertularioides* (Chlorophyta) y *Spyridia filamentosa* (Rhodophyta) .....269-276

**Mosquera-Murillo Z. y E. J. Peña-Salamanca**

Efecto de la salinidad sobre el crecimiento del alga verde *Caulerpa sertularioides* (Bryopsidales, Chlorophyta) en condiciones de laboratorio .....277-282

**Beraldi-Campesi H., C. Arenas-Abad, L. Auque-Sanz, M. Vázquez-Urbez y G. Pardo-Tirapu**

Diatomeas bentónicas en tufas fluviales del Río Mesa, Cordillera Ibérica, España.....283-297

**Marín Salgado H. y E. J. Peña Salamanca**

Macroalgas bénticas de la Bahía de Tumaco, Pacífico colombiano .....299-309

**Hernández Melchor D. J., J. Carmona Jiménez, M. E. Hidalgo Lara, L. Dendooven, R. Marsch Moreno y R. O. Cañizares Villanueva**

Identificación morfológica y filogenética de un consorcio microbiano fotosintético de posible interés biotecnológico .....311-321

**Martínez-Daranas B., M. Esquivel, P. M. Alcolado y C. Jiménez**

Composición específica y abundancia de macroalgas y angiospermas marinas en tres arrecifes coralinos de la plataforma Sudoccidental de Cuba (1987) .....323-337

Instrucciones para autores.....339-342

# HIDROBIOLÓGICA

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

VOLUME INDEX 26, NUMBER 2 • 2016

---

**Chacana M. E., P. C. Silva, F. F. Pedroche and K. A. Miller**

*Codium* (Chlorophyta) species presented in the Galápagos Islands.....151-159

**Almanza Álvarez J. S., I. Israde Alcántara and V. Segura-García**

Periphytic diatoms of Lake Pátzcuaro, Michoacán, Mexico .....161-185

**Segura-García V., J. S. Almanza Álvarez and J. Ponce-Saavedra**

Diversity of epilithic diatoms communities related to physico-chemical parameters in the headwaters of the Zinapecuaro River, Mexico.....187-202

**Fujii M. T., A. Senties, A. C. Jover, J. Díaz-Larrea and A. Areces**

Morphological and molecular evidence for *Osmundea coelenterata* comb. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) from the tropical Atlantic Ocean .....203-211

**Quiñones-Peyro B. C., F. O. López-Fuerte, A. Mazariegos Villareal, E. Serviere-Zaragoza, M. Casas Valdez and R. Yabur Pacheco**

Bentic marine macroalgae from Guadalupe Island, Baja California, Mexico.....213-223

**Lozano-Orozco J. G., A. Senties, F. F. Pedroche and J. Díaz-Larrea**

*Dictyota chalcicueyecanensis* sp. nov. (Dictyotales; Phaeophyceae) in the Gulf of Mexico: molecular and Morphological Evidence .....225-231

**Bernardi J., E. R. T. P. P. de Vasconcelos, C. Lhullier, T. Gerber, P. Colepicolo Neto and F. M. Pellizzari**

Preliminary data of antioxidant activity of green seaweeds (Ulvoephyceae) from the Southwestern Atlantic and Antarctic Maritime islands.....233-239

**Vouilloud A. A., Y. Plata-Díaz, E. Pedraza, A. Pimienta, S. Heguilor, A. Lamaro and S. E. Sala**

Distribution of *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) in Neotropical rivers (Colombia) and its implication on the species' taxonomy .....241-250

**Rodríguez-Gómez C. F. and J. A. Aké-Castillo**

Calculation of the cell carbon content of four taxa of diatom: biovolume and spectrophotometry .....251-257

**Vázquez-Machorro A., J. L. Godínez-Ortega, A. Granados-Barba and P. Ramírez-García**

Structure and composition of the dominant macroflora of the Ana Elena shipwreck, Veracruz Reef System, Gulf of Mexico.....259-267

**García Granados R. U., F. Alarcón Aguilar, M. Gallegos Martínez and G. De Lara-Isassi**

Sub-chronic treatment in diabetic mice with *Caulerpa sertularioides* (Chlorophyta) and *Spyridia filamentosa* (Rhodophyta) .....269-276

**Mosquera-Murillo Z. and E. J. Peña-Salamanca**

Effect of salinity on growth of the green alga *Caulerpa sertularioides* (Bryopsidales, Chlorophyta) under laboratory conditions .....277-282

**Beraldi-Campesi H., C. Arenas-Abad, L. Auque-Sanz, M. Vázquez-Urbez and G. Pardo-Tirapu**

Benthic diatoms on fluvial tufas of the Mesa River, Iberian Range, Spain .....283-297

**Marín Salgado H. and E. J. Peña Salamanca**

Seaweed checklist of Tumaco's bay, Colombian Pacific .....299-309

**Hernández Melchor D. J., J. Carmona Jiménez, M. E. Hidalgo Lara, L. Dendooven, R. Marsch Moreno and R. O. Cañizares Villanueva**

Phylogenetic and morphological identification of a photosynthetic microbial consortium of potential biotechnological interest .....311-321

**Martínez-Daranas B., M. Esquivel, P. M. Alcolado and C. Jiménez**

Specific composition and abundance of macroalgae and marine angiosperms in three coral reefs from the Southwest Cuban shelf (1987) .....323-337

Instructions for authors .....343-346



# EDITORIAL

Estimados colegas, finalmente y después de casi año y medio, tienen en sus manos el número especial de Hidrobiológica que reúne dieciséis contribuciones seleccionadas, por arbitraje de revisores externos, de aquellos autores que respondieron a la convocatoria publicada previo a la realización del X Congreso de Ficología de Latinoamérica y el Caribe y VIII Reunión Iberoamericana de Ficología que se realizó en la Ciudad de Metepec, Estado de México durante Octubre del 2014.

En este volumen participan 61 autores procedentes de 23 Instituciones de educación superior e investigación. Los países representados son: Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, España, Estados Unidos y México.

De los ambientes, se puede mencionar el marino con 12 contribuciones, principalmente en las zonas meso y submareal y cuatro del dulceacuícola, cubriendo ríos, lagos y tufas fluviales. Las regiones geográficas, de donde proceden los organismos objeto de estudio, son el Pacífico, el Atlántico y la Antártica, en el caso de las marinas y de las de agua dulce: Colombia, España y México. La mayoría de los organismos son eucariontes y solo una contribución es sobre procariontes. En los primeros destacan miembros de las Divisiones Chlorophyta, Phaeophyta, Rhodophyta y Bacillariophyta; entre los segundos Proteobacteria y Bacteria.

Los temas oscilan desde la taxonomía clásica, basada en morfología y anatomía, la florística, ecología, aspectos de biología molecular aplicados a la sistemática, fisiología y limnología hasta el uso de técnicas muy particulares como la espectrofotometría y biovolumen, la exploración de pecios, ficología aplicada en diabetes y biotecnología.

Nomenclaturalmente destaca la descripción de una especie nueva para la ciencia: *Dictyota chalcicueyecanensis* y la combinación nueva *Osmundea coelenterata*.

Este número es un reflejo de la situación que guarda la Ficología latinoamericana *sensu lato* (Ibero y El Caribe) en un momento crucial para esta disciplina. Un momento en el que se requiere de trabajo colaborativo y de sumar esfuerzos y recursos, entre todos los miembros de esta región geográfica, para evaluar, diagnosticar, aprovechar racionalmente y conservar a las “algas” como patrimonio de la humanidad. La formación de nuevos ficólogos, requiere de un plan orquestado a largo plazo y con el compromiso de las Sociedades locales, regionales y mundiales.

Particularmente, en el transcurso de esta edición conmemorativa, se dieron tres sucesos tristes para la Ficología latinoamericana. Los fallecimientos de la Dra. Noemi Yamaguishi Tomita de Brasil, del Dr. Ignacio Sánchez Rodríguez y recientemente, del Dr. Rafael Riosmena Rodríguez, estos últimos de México, han dejado un gran hueco en nuestra asociación. Se incorporan en este volumen los obituarios de la Dra. Yamaguishi y del Dr. Riosmena.

Finalmente, es necesario el agradecimiento a la editora en Jefe de la revista Hidrobiológica y a su equipo, así como a los editores asociados, quienes con el seguimiento en la evaluación y corrección de los textos hicieron posible la conformación del volumen. Los revisores externos, como siempre, juegan un papel trascendental en mantener la calidad de los manuscritos que se publican y son el cimiento de toda publicación científica, su trabajo solidario y comprometido merece el reconocimiento de la comunidad académica.

Con este fruto se concluye con el compromiso asumido por la mesa directiva de la Sociedad Ficológica de América Latina y El Caribe (SOFILAC), en su sede México durante el periodo 2012-2015. Ahora, aprovecho la oportunidad para invitarlos a sumarse a los trabajos y a la organización del próximo Congreso en Colombia, por la nueva mesa directiva encabezada por el Dr. Enrique Peña Salamanca.

**Dr. Francisco F. Pedroche**  
ExPresidente SOFILAC  
Presidente SOMFICO



## *In memoriam*

(1935-2015)

### **DRA. NOEMY YAMAGUISHI-TOMITA**



Noemy Yamagushi Tomita nos deixou aos 80 anos de idade, no dia 16 de setembro de 2015, depois de uma vida profícua e laboriosa de dedicação à pesquisa científica e à regulamentação da profissão de Biólogos. Como presidente da Associação Paulista de Biologista (Apab), Noemy desencadeou o movimento pelo reconhecimento da profissão de Biólogo, que agora completa 37 anos. Mentora e fundadora dos CRBios (Conselhos Regionais de Biologia), ela também lutou para criar o CFBio (Conselho Federal de Biologia), do qual foi presidente e reconhecida como a madrinha dos biólogos no país e homenageada, conferindo-lhe nome à Plenária do CRBio-01 de “Sala Dra. Noemy Yamagushi Tomita”.

Para a Noemy, a Biologia proporciona a oportunidade de conhecer e entender a vida e o meio ambiente, de modo a criar subsídios para que o homem possa estabelecer os caminhos a serem seguidos para futuras gerações. Nos anos em que se dedicou aos Conselhos regional e federal, houve uma constante preocupação com o futuro da profissão, sempre em busca de novos campos de atuação para o biólogo, a

inserção dos biólogos em novos setores de atividade, a importância da participação em atividades multidisciplinares, por exemplo. “*Não é pequeno o desafio. O presente está repleto de questões a serem respondidas, de problemas cujas soluções são urgentes*”, palavras deixadas como se fossem o seu testamento (CRBio-01, 2015, Ano IX - nº 35 - Jul/Ago/Set 2015).

Noemy nasceu em São Paulo, em 20 de março de 1935 e formou-se em História Natural pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, em 1961. Foi contemporânea da também falecida pesquisadora do Instituto de Botânica (IBt), Dra. Marilza Cordeiro Marino, ambas discípulas do Professor Dr. Aylthon Brandão Joly, no Departamento de Botânica da USP, que é considerado o pai da Ficologia no Brasil. Em 1976, obteve o título de Doutor em Ciências pelo Departamento de Morfologia e Sistemática Vegetal da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), com a tese “Contribuição ao conhecimento do gênero *Sporolithon* (Corallinaceae, Cryptonemiales) no Brasil”, sob a responsabilidade do Dr. Hermógenes de Freitas Leitão Filho, após o falecimento do Dr. Joly. No Brasil, ela foi pioneira nos estudos do gênero *Sporolithon*, tendo identificadas oito espécies, sendo duas sob novas combinações. Assim, a tese representa a primeira referência do gênero para o oceano Atlântico Sul. O material estudado foi proveniente de dragagens realizadas no litoral brasileiro do trecho compreendido entre as latitudes 1°30’S e 23°50’S, nas profundidades de 16 a 116 m. Dando continuidade aos estudos de coralináceas in-crustantes, em 1990, ela realizou curso de atualização em “Algas vermelhas Corallinaceae”, na Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Ciudad de México.

No Instituto de Botânica, Noemy iniciou a carreira profissional como Biologista extranumerária, na Divisão de Fitotaxonomia, em 20 de junho de 1962, época em que o IBt pertencia à Coordenação da Pesquisa de Recursos Naturais, da Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura. Em 1973, ingressou na recém-criada carreira de Pesquisador Científico (PqC), e aposentou-se em 12 de dezembro de 1995, como PqC-VI. Durante a sua carreira publicou 22 artigos, 1 livro e 1 capítulo de livro, e orientou 1 estudante de mestrado, 1 de doutorado, além de 2 coorientações de mestrado e colaboração na formação de vários outros estudantes do Brasil e do exterior. Mas a maior dedicação da Noemy no Instituto de Botânica foi como Assistente Técnico de Direção, função ligada à Administração de Pesquisa da Instituição, dedicando-se 13 anos de sua carreira (1970-1983).

**Dra. Mutue T. Fujii**

Núcleo de Pesquisa em Ficologia, Instituto de Botânica

**Dra. Olga Yano**

Núcleo de Pesquisa em Briologia, Instituto de Botânica

**Dra. Nair S. Yokoya**

Núcleo de Pesquisa em Briologia, Instituto de Botânica

**Dr. Carlos Wallace N. Moura**

Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana

## *In memoriam*

(1966-2016)



### **DR. RAFAEL RIOSMENA RODRÍGUEZ**

Conocimos por primera vez a Rafael durante el curso de actualización “Coralline red algae” impartido por el Dr. William Woelkerling en 1990, en las instalaciones de la UAM-Iztapalapa. En ese entonces, se encontraba trabajando en su tesis de Licenciatura sobre el género *Amphiroa* en la Península de Baja California y obtendría su título de Biólogo Marino en 1991 por la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Rafael fue, durante ese curso, un estudiante con entusiasmo y gran curiosidad, atributos que lo caracterizaron durante toda su vida profesional. Estableció, a partir de ese momento, un lazo académico con Bill quien fungió más adelante como miembro de su comité durante sus estudios de maestría en San José State University. Obtuvo su grado en 1997 con trabajo realizado en rodolitos del género *Lithophyllum* en los laboratorios marinos de Moss Landing, bajo la dirección de Michael Foster. Posteriormente logró uno de sus sueños al ser aceptado, como alumno del Doctorado, en la Universidad La Trobe de Melbourne, Australia y formarse bajo la dirección del Dr. Woelkerling

con estudios sobre el Orden Corallinales del Golfo de California. En 2002 recibió el grado de doctor en Ciencias con especialidad en Botánica.

Ya desde épocas tempranas (1996), mostró interés por los pastos marinos, interés que fue ampliándose para incorporar los entornos biológicos relacionados con un grupo de coralinas no articuladas conocidas como rodolitos y que conformaron su campo de especialidad. Aunque de oficio ficólogo incursionó, como anotábamos arriba, en los campos de la botánica marina fanerogámica con estudios en los géneros *Zoostera* y *Ruppia*, así como en los manglares de Baja California Sur. Las esponjas, equinodermos y otros invertebrados relacionados con los rodolitos, fueron objetos de su atención. También realizó investigaciones sobre tortugas marinas, hongos, oceanografía física, sedimentología, y en general flora y fauna costera y estuarina. Patrones de variación espacial en playas rocosas, en particular la zona intermareal y recientemente, los temas candentes como la conservación y el cambio climático ocuparon su visión de integración.

Recibió varios premios entre los que destacan: el otorgado por el Instituto Smithsonian en Panamá, el Premio Estatal de Ciencia y Tecnología y la Medalla al Mérito Científico y Tecnológico, Baja California Sur en 2013. Fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1998 y actualmente ostentaba el Nivel III, tenía el reconocimiento al grado por PROMEP-SEP y recibió el estímulo a la Productividad en la UABCS desde que inició el programa en 1999. Publicó 13 libros, participó en 57 capítulos de libros, 196 publicaciones científicas en revistas arbitradas/indexadas, siete publicaciones en memorias de congresos, 10 publicaciones en revistas de difusión y 50 participaciones en columnas periodísticas. Llegó a reunir 800 citas bibliográficas directas (no autocitas) a su trabajo. Fue miembro del consejo editorial de seis publicaciones (dos son indexadas) y editor/ revisor de cuatro casas editoriales de libros. También participó como revisor de 52 revistas indexadas con un total de 200 arbitrajes. En cuanto a la formación de recursos humanos dirigió a cinco estudiantes en estancias posdoctorales, ocho de doctorado concluidos y tres en desarrollo; 22 estudiantes de maestría y tres por terminar y 35 de licenciatura. Fue responsable de dos redes internacionales y dos nacionales. Dirigió 50 proyectos de investigación como responsable con financiamiento internacional y nacional. Participó como colaborador en otros 20, todos con financiamiento externo. En la parte administrativa fue Consejero Universitario, Consultivo y se desempeñó como miembro del Consejo Consultivo de Desarrollo Sustentable tanto del Estado de Baja California Sur como de la región Noroeste donde se encargó de coordinar la agenda verde.



El Dr. Riosmena Rodríguez, con todo lo polémico y criticado de su personalidad, es seguramente uno de los biólogos marinos nacionales que más contribuciones ha tenido en los últimos años, su trabajo sostenido, constante y diverso, para promover el conocimiento de la vida marina y para asegurar el respeto a la Naturaleza lo coloca en un lugar importante en la ciencia del siglo XXI. ¡Descanse en paz!

**Dr. Francisco F. Pedroche**

Dpto. Ciencias Ambientales, División Ciencias Biológicas y de la Salud Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma

**Dr. Abel Sentíes Granados**

Área de Ficología Comparada, Departamento de Hidrobiología Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

*Codium* (Chlorophyta) species presented in the Galápagos IslandsLas especies del género *Codium* (Chlorophyta) presentes en las Islas GalápagosMax E. Chacana<sup>1</sup>, Paul C. Silva<sup>1</sup>, Francisco F. Pedroche<sup>1,2</sup> and Kathy Ann Miller<sup>1</sup><sup>1</sup>University Herbarium, University of California, Berkeley, CA 94720-2465. USA<sup>2</sup>Depto. Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, Estado de México, 52007. México

e-mail: fpedroche@correo.ler.uam.mx

Chacana M. E., P. C. Silva, F. F. Pedroche and K. A. Miller. 2016. *Codium* (Chlorophyta) species presented in the Galápagos Islands. *Hidrobiológica* 26 (2): 151-159.**ABSTRACT**

**Background.** The Galápagos Islands have been the subject of numerous scientific expeditions. The chief source of information on their marine algae is the report published in 1945 by the late William Randolph Taylor on collections made by the Allan Hancock Pacific Expedition of 1934. Prior to this work, there were no published records of *Codium* from the Galápagos. Taylor recorder six species of *Codium* of which *C. isabelae* and *C. santamariae* were new descriptions. **Goals.** On the basis of collections made since 1939, we have reviewed the registry of *Codium* in these islands. **Methods.** Comparative analysis based on morphology and utricle anatomy. **Results.** *Codium isabelae* and *C. santamariae* are combined under the former name. Records of *C. cervicorne* and *C. dichotomum* also are referred to *C. isabelae*, those of *C. setchellii* are based partly on representatives of *C. picturatum*, a recently described species from the Mexican Pacific, Panama, Colombia, and Hawaii, and partly on representatives of a species similar if not identical to *C. arabicum*. The presence of *C. foveolatum* is corroborated. *Codium fernandezianum*, which was also reported by Taylor from the mainland of Ecuador, has been collected on Isla Santa Cruz. **Conclusions.** Five species of *Codium* are recognized from Galápagos Islands: *C. arabicum*, *C. fernandezianum*, *C. foveolatum*, *C. isabelae* and *C. picturatum*.

**Key words:** Codiaceae, Colon archipelago, morphology, taxonomy.

**RESUMEN**

**Antecedentes.** El archipiélago de las Galápagos ha sido objeto de numerosas expediciones científicas. La fuente principal de información, sobre algas marinas en estas islas, es la expedición de la Allan Hancock realizada en 1934 y cuyos resultados fueron comunicados por William Randolph Taylor en 1945. Previo a este trabajo, no existían registros publicados de especies del género *Codium* para las Galápagos. Este autor reconoció seis especies, de las cuales *C. isabelae* y *C. santamariae* fueron descritas como nuevas para la ciencia. **Objetivos.** Con las colecciones conservadas desde 1939, se presenta la diversidad específica actual del género *Codium* para estas islas. **Métodos.** Estudios comparativos de morfología y anatomía utricular. **Resultados.** Como resultado, *Codium isabelae* y *C. santamariae* se conjuntan bajo el nombre de la primera especie. Registros previos, bajo las denominaciones de *C. cervicorne* y *C. dichotomum* también son referidas a *C. isabelae*; aquellos considerados como *C. setchellii* están basados parcialmente en representantes de *C. picturatum*, una especie, descrita hace poco, proveniente del Pacífico mexicano, Panamá, Colombia y Hawái, otra parte corresponden a una especie, similar mas no idéntica: *C. arabicum*. Se corrobora la presencia de *C. foveolatum*. *Codium fernandezianum*, que fue registrada también por Taylor para la costa de Ecuador, ha sido recolectada en Isla Santa Cruz. **Conclusiones.** Cinco especies del género *Codium* se reconocen como presentes en las Islas Galápagos: *C. arabicum*, *C. fernandezianum*, *C. foveolatum*, *C. isabelae* y *C. picturatum*.

**Palabras clave:** Archipiélago Colón, Codiaceae, morfología, taxonomía.



## INTRODUCTION

The Galápagos Islands, known officially as the Archipiélago de Colón, straddles the Equator about 960 km west of the coast of Ecuador. They comprise six relatively large islands, nine islets, and numerous rocks; they represent an area of 800 km<sup>2</sup>. All are volcanic with lava varying in age, including some from active volcanoes. Tomas de Berlanga, Bishop of Panama, while in route to Peru, discovered them in 1535. He named them “Las Islas Encantadas”, but there were few visitors to be enchanted during the ensuing three centuries. Although evidence of pre-Spanish habitation has been found, no one was present to greet the bishop. Spanish voyagers passed through the islands in the late 16th century, followed by buccaneers in the 17th and 18th centuries, giving way to whalers and seal-hunters in the 19th century. No country claimed the islands until Ecuador did so in 1832, soon after seceding from Colombia. The Galápagos Islands were brought to the attention of the scientific world by Charles Darwin’s publication of the observations that he had made while serving as naturalist on board the brig “Beagle” under the command of Robert Fitzroy. The voyage began in 1831 and ended in 1836, with six weeks of 1835 spent in the archipelago. The adaptive radiation filling several ecological niches displayed by the finches (Geospizinae), the subspecific differentiation between islands displayed by the giant tortoises (*Geochelone elephantopus*), and the total absence of amphibians were just part of the extraordinary picture that prompted the gestation of the Darwinian theory of evolution.

Darwin holds the distinction of having introduced the first Galápagos alga to the scientific community, an encrusting coralline dredged from a depth of 12 fathoms by the “Beagle”. This specimen (Darwin 3251) was sent to William Henry Harvey at Trinity College, Dublin, who identified it reluctantly as *Melobesia calcarea* (Pallas) Harvey, a name of uncertain application (Harvey 1849: 110). Lemoine (1929: 56) suggested possible determinations for this specimen, but to our knowledge a present-day specialist has not examined it. Although seaweeds were not as enchanting to the naturalists of subsequent expeditions as finches, tortoises, iguanas, or blue-footed boobies, a few were collected by the U.S. Coast Survey vessel “Hassler” in 1872 and the U.S. Bureau of Fisheries vessel “Albatross” in 1888. Except for *Lithophyllum farlowii* Heydrich (1901) and *Goniolithon frutescens* f. *galapagense* Foslie (1907), these algae were not published on until much later (Taylor, 1945).

The Italian corvette “Vettor Pisani” visited the Galápagos in March 1884 and returned with a few algae (Piccone 1886, 1889). The Hopkins-Stanford Expedition of 1898-1899 produced about 30 records (Farlow 1902; Foslie 1907). In 1924 Cyril Crossland, a member of the staff of the Saint-George Expedition and a specialist on coral reefs, collected many coralline algae from the Galápagos, which were published on by Lemoine (1929). John Thomas Howell, a skilled botanist on board the yacht “Zaca” during the Templeton Crocker Expedition of the California Academy of Sciences in 1932, obtained significant collections of marine algae, but unfortunately they were only partly published on Setchell (1937b) and Setchell and Gardner (1937). The first phycologist to collect in the archipelago was William Randolph Taylor, operating from the “Velero III” during the Allan Hancock Pacific Expedition in January 1934. Taylor (1945) synthesized previously published information on Galápagos seaweeds together with the results of his study of collections made by the Allan Hancock Pacific Expedition of 1934 supplemented by unpublished collections made by Waldo L. Schmitt of the United States

National Museum on various other expeditions. Prior to this work, there were no published records of *Codium* from the islands.

Taylor recognized, based on its morphology, six species of *Codium* from the Galápagos, of which *C. isabelae* W. R. Taylor and *C. santamariae* W. R. Taylor were newly described. With the aid of numerous collections of *Codium* made since 1934, we have revised Taylor’s treatment of the genus.

## MATERIALS AND METHOD

The chief sources of specimens were the Galápagos International Scientific Project in 1964 (Bowman, 1966), the R/V Searcher expedition to the Galápagos Islands sponsored by the Janss Foundation (Thousand Oaks, California) in 1972, and the “Lost Species Expedition” sponsored by Conservation International and the National Geographic Society in 2004. These specimens are housed at the Herbarium of the University of California, Berkeley (UC). Additional specimens resulted from collecting trips sponsored by the Smithsonian Institution. Material examined covers eighty years of collecting in these islands, from 1934 to 2014. It includes dry and formalin preserved specimens.

Anatomy was studied under a Zeiss light microscope. Samples were removed from the thallus with forceps and then teased out on a slide. A cover slip was not placed on the preparation to avoid distortion of the utricle and other anatomical structures. For comparative purposes, samples were taken about 1.5 cm below the tip of a branch or from the center of crustose forms. Drawings were made with the aid of a camera Lucida. Digital photographs were taken with a Canon Powershot A610 camera.

## RESULTS

Key to *Codium* species found in the Galápagos Islands based on habit

- a1) Thallus prostrate, unbranched, mainly or completely adhering to substrate ..... b
- b1) Thallus 3-5 mm thick, spongy..... *C. arabicum*
- b2) Thallus 1-2 mm thick, firm ..... *C. picturatum*
- a2) Thallus erect, dichotomously or subdichotomously branched ..... c
- c1) Branches intertwined, some thalli with anastomosing branches ..... *C. isabelae*
- c2) Branches not intertwined ..... d
- d1) Thallus arising from a discrete circular base, branching regularly dichotomous ..... *C. fernandezianum*
- d2) Thallus not arising from a discrete circular base, branching irregularly dichotomous ..... e
- e1) Thallus arising from an elongate prostrate base, branches rough..... *C. foveolatum*
- e2) Thallus with single or multiple attachments to substratum, without a prostrate base, branches smooth ..... *C. isabelae*

Key to *Codium* species found in the Galápagos Islands based on anatomy

- a1) Thallus dissecting out into clusters or groups of utricles..... b
- b1) Tight clusters of utricles comprising primary utricles bearing secondary and tertiary utricles ..... *C. arabicum*
- b2) Loose groups of utricles held together by foreshortened inter-utricular filaments ..... *C. picturatum*
- a2) Thallus dissecting out into individual utricles ..... c
- c1) Utricles at least 900  $\mu$ m long ..... d
- d1) Apical wall foveolate (pitted) ..... *C. foveolatum*
- d2) Apical wall not ornamented..... *C. fernandezianum*
- c2) Utricles mostly less than 900  $\mu$ m long ..... *C. isabelae*

**Description of species.** A description of each species is presented by alphabetical order.

***Codium arabicum* Kützling** (Figs 1-3)

Kützling 1856: 35, pl. 100: fig. II. Type: Tor, Sinai Peninsula. Gulf of Suez, Egypt (L 937.277-29).

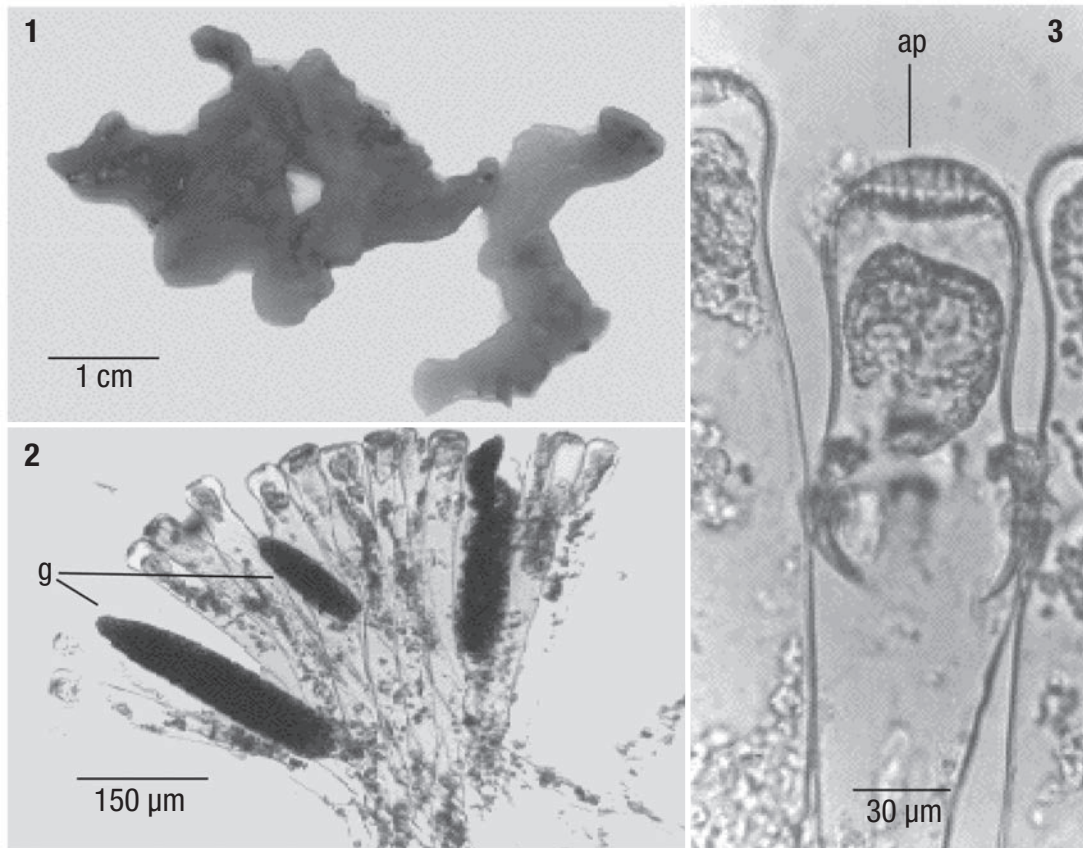
Misidentified record: Taylor, 1945: 68 (pro parte), as *C. setchellii* Gardner.

Thallus dorsiventral, applanate, 3-5 mm thick, up to 5 cm in diameter, tightly adherent to the substratum but with free margins, spongy and smooth, dissecting out into tight clusters of ontogenetically related utricles. Utricles cylindrical, (40-) 50-65 (-90)  $\mu$ m diam., (300-) 450-700 (-1,000)  $\mu$ m long, slightly constricted in zone 65-100  $\mu$ m below apex, the ultimate generation of utricles often failing to produce rhizoidal filaments, Apices slightly rounded with cribose pitted walls, 2.5-20  $\mu$ m thick. Hairs or hair scars rarely observed; when present, in a zone 90-120  $\mu$ m below apex of utricle. Gametangia elliptical or fusiform, (40-) 50-70 (-100)  $\mu$ m diam., (180-) 200-300 (-350)  $\mu$ m long, borne singly or in pairs on short pedicels (250-) 300-350 (-400)  $\mu$ m below apex of utricle. Medullary filaments mostly 15-35  $\mu$ m diam.

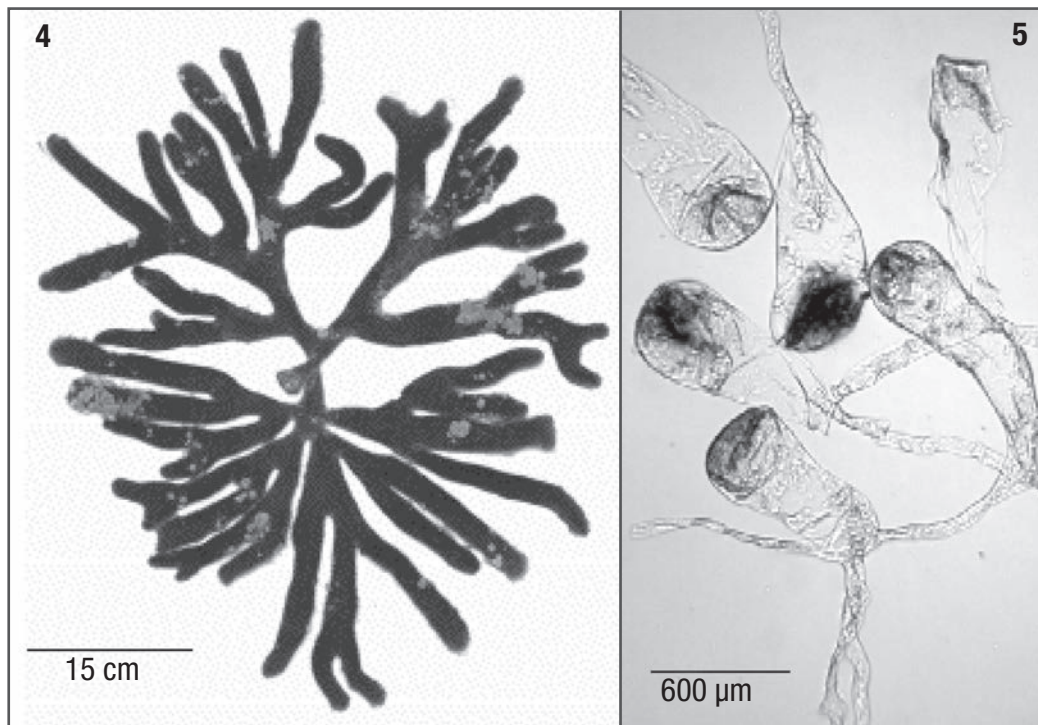
Habitat: Subtidal, 10-30 m depth, on rocks and corals.

All Galápagos specimens examined:

Isla Fernandina: Punta Espinosa, Searcher Stations 327 and 331, ca. 15 m depth, 25.i.1972 (UC). Isla Isabela: Punta Vicente Roca, on floor of cove, 25-55 ft (7.6- 16.8 m), M.M. Littler & W. Gerwick, 1.ii.1978 (US Algae 026727). Isla Floreana (Santa María): Post Office Bay, dredged from 7-10 fathoms (12.8-18.3 m), W.R. Taylor 34-361, 27.i.1934, published as *C. setchellii* (AHFH 7179 in UC); oppressed to shells dredged from 30 fathom (55 m), W.R. Taylor 34-379C, 29.i.1934, published as *C. setchellii* (AHFH 7109 in UC). Isla Santa Cruz: Isla Coamano, Searcher Station 369, 14-25 m, 1.ii.1972 (UC).



Figures 1-3. *Codium arabicum*. 1) Habit of a mature plant. 2) Gametangia in mature utricles. 3) Detail of the apical wall (g= gametangia, ap= apical wall).



Figures 4-5. *Codium fernandezianum*. 4) Habit of a mature plant. 5) Immature utricles.

Local distribution: Isla Floreana (Santa María), Isla Coamano, Isla Fernandina, Isla Isabela and Isla Santa Cruz.

Distribution: Indo-Pacific, Islas Galápagos.

*Codium arabicum* as circumscribed by Silva (1952) encompasses populations with applanate thalli occurring throughout warm waters of the Indo-Pacific region, from the west, Red Sea (type locality), to the east on the Hawaiian Islands. These populations exhibit significant anatomical variability, but it has not been possible to establish correlations between morphotypes and geographic areas. The entire range of variability can be found within the Hawaiian Islands.

This is the first record of *Codium arabicum* from the East Pacific: always subtidal, it grows in three islands of the Galápagos Archipelago. We refer to this complex species a few specimens of an alga that lacks of features that would warrant description of a new species or unequivocally relate it to previously recognized species. Morphological and anatomical characters from specimens belonging to Galápagos are not completely similar with the typical *C. arabicum* concept. The specimens studied have a smoother texture, indicating utricles not well compacted. The apices have deeper cribose pitted walls than typical *C. arabicum*. The color also is different, in the Galápagos the thalli are light green while in the Indo-Pacific material the thalli are deep green. Although molecular data are available for populations from the Indo-Pacific region that have been assigned to *C. arabicum*, none exist for the Galápagos population so that a confirmatory comparison in molecular terms is not possible. Nonetheless, because utricular morphology in the Galápagos specimens is readily accommodated by the current circumscription of *C. arabicum*, we believe that referring them to that species is the most reasonable course of action.

Throughout the Indo-Pacific region, *C. arabicum* occurs commonly in shallow water, although it also grows at depths as great as 24 m. In the Galápagos, by contrast, intense irradiation of the black lava in shallow water produces an inhospitable habitat for all but a few organisms (Hedgpeth, 1969). The four known collections were all made subtidally. Considering that several persons proficient both in diving and in marine phycology have engaged in surveys throughout the Galápagos, it seems reasonable to assume that the paucity of records of *C. arabicum* reflects its scarcity.

***Codium fernandezianum* Setchell (Figs 4-5)**

Setchell 1937a: 592, pls. 35-38, figs. 5-15; pls. 41-48. Type: Is. Juan Fernández. H. N. Moseley, s.n. xii.1875. Challenger expedition Kew 73 (BM 000516154).

Thallus dark green, erect, dichotomously branched; to 40 cm high with distinctive holdfast; branches terete, slightly compress and cuneate at dichotomies. Medullary filaments 30-55  $\mu\text{m}$  diam. Utricles cylindrical to clavate, (1 000-) 1 200-1 400 (-1 500)  $\mu\text{m}$  long, (180-) 300-500 (-550)  $\mu\text{m}$  diam. Apices rounded or truncate. Hairs and scars present in a zone 230-350  $\mu\text{m}$  from the apex. Gametangia lanceolate or ovoid, (280-) 310-400 (-450)  $\mu\text{m}$  long, (110-) 130-150 (-160)  $\mu\text{m}$  diam. One to three gametangia per utricle, borne on short pedicel, 500-630  $\mu\text{m}$  below apex of utricle.

Habitat: Intertidal over rocks in quiet waters.

Representative Galápagos specimens examined:



Isla Santa Cruz: Academy Bay, E.Y. Dawson 22204, 19.ii.1962 (US 59559), E.Y. Dawson 22204, 19.ii.1962 (US 4863); Tortuga Bay, E.Y. Dawson 22386, 9.iii.1962 (US 5048).

Local distribution: Isla Santa Cruz.

Distribution: Isla Juan Fernández, Peru, Ecuador, Islas Galápagos.

*Codium fernandezianum* is a closely related species to *C. decorticateum* (Woodward) Howe from Caribbean, Atlantic and Mediterranean, *C. duthieae* P.C. Silva from southern Australia and South Africa, *C. cylindricum* Holmes from Japan and *C. amplivesciculatum* Setchell & Gardner from Gulf of California. These species have subtle differences in gross morphology and anatomical measurements. In the Galápagos, this species has been found only in quiet waters, comparing the gross morphology of the specimen collected by Skottsberg at Juan Fernández Island where the thalli are less branched and with thicker apical wall, these morphology and anatomical characteristics also have been observed in material from Peru and Ecuador.

***Codium foveolatum* Howe (Figs 6-7)**

Howe 1914: 45, pl. 10, text fig. 15.19. Type: Lobos de Tierra, Peru. Coker 150b, 2.iv.1907 (N# 150B).

Thallus dark green, erect, decumbent, irregularly dichotomously branched with anastomosis, terete; to 10 cm high; branches 3-8 mm diam., slightly compress at dichotomies. Medullary filaments 50-85 µm diam. Utricles cylindrical to clavate, frequently with slight constriction just below apex, (900-) 1 000-1 300 (-1 500) µm long, (350-) 400-500 (-600) µm diam. Apices slightly rounded or subtruncate, apical walls foveolate, papillate or cribose pitted. Hairs and scars absent. Gametangia ovoid or fusiform, (300-) 350-450 (-500) µm long, (35-) 40-60 (-70) µm diam., one to three per utricle, borne on short pedicel 600-730 µm below apex of utricle.

Habitat: Subtidal, 1-54 m depth, on rocks.

Representative Galápagos specimens examined:

Isla Coamano: Search Station # 369. Isla Fernandina: Punta Espinosa, Search Station # 331. Isla Isabela: Tagus Cove, dredged in 15-30 fms (27-54 m), 13.i.1934, W.R. Taylor 34-140 (AHFH in UC, MICH), US 026753; Caleta Iguana 3.xii.2004 50-70' K.A. Miller 08-119. Isla Santa Cruz: Academy Bay, Search Station # 363. Isla Floreana (Santa María): Black Beach, of dwarfed habit, confined to the deeper tide pools, 17.i.1934, W.R. Taylor 34-244C (AHFH in UC, MICH); Post Office Bay, dredged in 15 fms (27m), 19.i.1934, W.R Taylor 34-276B (AHFH in UC, MICH). Isla Española: dredged from 37m, W.L. Schmitt 362A-35, 19.xii.1934 (MICH) not cited by Taylor! see W.R. Taylor 42.

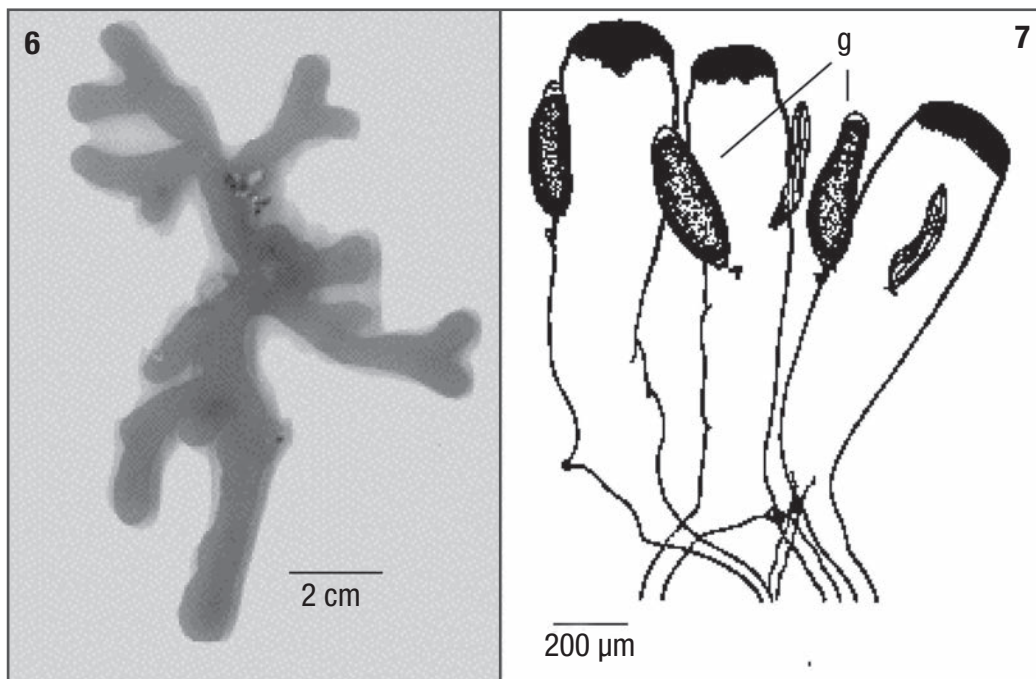
Local distribution: Isla Coamano, Isla Fernandina, Isla Isabela, Isla Santa Cruz, Isla Floreana (Santa María), Isla Española.

Distribution: Peru, Islas Galápagos.

*Codium foveolatum* was described by Howe in 1914, using a specimen collected from Isla Lobos de Tierra, Peru (Dawson *et al.*, 1964). Nobody has ever found again this species in the type locality; however is well distributed among Galápagos Islands. This species could be endemic of the islands and just some thalli reached the continent by dispersion, but Peruvian and Ecuador coasts have not been survey extensively because topographic difficulties. Utricles with foveolate apices make this species very distinctive.

***Codium isabelae* W. R. Taylor (Figs 8-9)**

Taylor 1945: 70, pl. 1: figs. 10-13; pl. 7: fig. 1. Type: Tagus Cove, Isla Isabela, Galápagos Islands, W.R. Taylor 34-152, 14.i.1934 (AHFH 131 in UC).



Figures 6-7. *Codium foveolatum*. 6) Habit of a mature plant. 7) Gametangia in mature utricles.

Heterotypic synonym: *Codium santamariae* W.R. Taylor 1945: 69, pl. 1: figs. 14-16. Type: Black Beach Anchorage, Isla Santa María [Floreana], Galápagos Islands, W.R. Taylor 34-226, 17.i.1934 (AHFH 132 in UC).

Misidentified records from the Galápagos: Taylor, 1945: 69, as *C. cervicorne*; Taylor, 1945: 68 (Galápagos collection only), as *Codium dichotomum*.

Thallus light to dark green, decumbent, irregularly dichotomously branched with anastomosis, terete or compress; to 10 cm high. Medullary filaments 15-30  $\mu\text{m}$  diam. Utricles cylindrical to clavate, slight constriction just below apex, (350-) 400-550 (-630)  $\mu\text{m}$  long, (55-) 65-90 (-110)  $\mu\text{m}$  diam. Apices rounded or truncate, apical walls lamellate up to 15  $\mu\text{m}$  thick. Hairs and scars common in a zone 50-100  $\mu\text{m}$  from the apex. Gametangia ovoid or fusiform, (150-) 170-200 (-210)  $\mu\text{m}$  long, (40-) 55-70 (-80)  $\mu\text{m}$  diam., one to three per utricle, borne on short pedicel, 220-290  $\mu\text{m}$  below apex of utricle.

Habitat: Intertidal and subtidal, up to 77 m depth.

Representative Galápagos specimens examined:

Isla Fernandina: Punta Espinosa, 30' depth, K.A. Miller 14-215, 30.ix.2004 (UC); islet south of Cabo Douglas, 60-75' depth, K.A. Miller 12-198, 1.xii.2004 (UC). Isla Isabela: Tagus Cove, rocks at low tide, W.R. Taylor 34-152, 14.i.1934, HOLOTYPE of *C. isabelae* (AHFH 131 in UC); Caleta Iguana, 50-70' depth, K.A. Miller 08-118, 3.xii.2004 (UC). Isla Santa Cruz: Tortuga Bay, growing around mangrove roots in high intertidal pool, S.A. Earle 66100, 18.v.1966; Darwin Research Station, on lava rock, ca. 1 m depth, D.P. Abbott, 25.i.1964 (UC); rocks in quiet water at lowest intertidal zone, P.C. Silva 7568, 29.i.1964 (UC); Puerto Nuñez, in tide pool, S.A. Earle 66120, 21.v.1966 (UC). Isla Santa Fe: Punta Pingüina, 95' depth, K.A. Miller 01-001, 1.xii.2004 (UC). Isla Floreana (Santa María): Black Beach Anchorage, W.R. Taylor 34-226, 17.i.1934, HOLOTYPE of *C. santamariae* (AHFH 132 in UC); Post Office Bay, dredged from 15 fathom (27.4 m), W.R. Taylor 34-273, 19.i.1934, as *C. dichotomum* (AHFH 589 in UC). Isla Española: near an islet in Gardner Bay, dredged

from rocky bottom at 20-30 fathoms (36.6-54.9 m), W.R. Taylor 34-420, 31.i.1934 (AHFH 7108 in UC); same data, W.R. Taylor 34-424, as *C. cervicorne* (AHFH 7118 in UC).

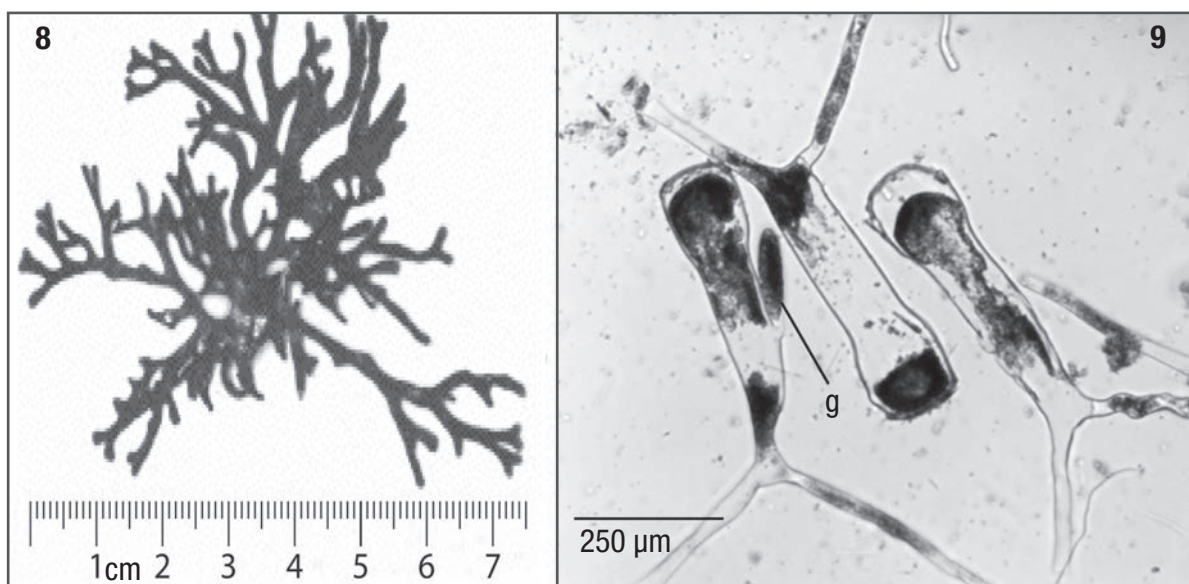
Local distribution: Isla Fernandina, Isla Isabela, Isla Santa Cruz, Isla Santa Fe, Isla Floreana (Santa María), Isla Española.

Distribution: Ecuador, Islas Galápagos.

Comparison of the description of *Codium isabelae* with that of *C. santamariae* reveals slight differences, which disappear completely when a spectrum of examples is examined. Writing about *C. santamariae*, Taylor summarized the perceived differences as follows: "These plants resemble *C. isabelae* except for the thin-walled vesicle tips and somewhat smaller gametangia." In the description of *C. santamariae* the utricle apices are said to be "3-6  $\mu\text{m}$ , rarely to 17  $\mu\text{m}$  thick", whereas those in *C. isabelae* are said to be "notably thick and lamellate, 15-35  $\mu\text{m}$ ". An examination of many thalli failed to reveal any taxonomically usable pattern in apical wall thickening. There is an overlap in the size ranges of gametangia given in the descriptions.

As recently as 2004, Kathy Ann Miller found that this dichotomously branched species was abundant throughout the Galápagos but that the habit was highly variable. In shallow water the thalli tended to be prostrate and matted whereas those from deeper water tended to be erect and freely branched. Considering all specimens available for study, most axes remain slender (3-5 mm diam.), but thalli from the Darwin Research Station were complanate and up to 12 mm wide.

In the late 1970s, when phycologists at the Universidad Nacional Autónoma de México and the Instituto Politécnico Nacional began an intensive study of the algae from tropical shores of Mexican Pacific, a small, procumbent, basally anastomosing *Codium* was frequently encountered in intertidal pools. Mexican authors under several different names reported this alga: *C. decortatum*, *C. dichotomum* S.F. Gray, *C. edule* P.C. Silva, *C. geppimm* O.C. Schmidt, *C. isthmocladum* Vickers.



Figures 8-9. *Codium isabelae*. 8) Habit of a mature plant. 9) Gametangia in mature utricles.



While undertaking a monographic study of Mexican *Codium*, Pedroche realized that the alga in question did not belong to any of those species and gave it a tentative name, *C. oaxacense* illeg. (Pedroche, 1998: 61). After studying Galápagos *Codium*, it became clear that this Mexican species was closely related if not identical to *C. isabelae* (Pedroche, *et al.*, 2005: 52). Taylor (1945: 59) had previously reported *C. isabelae* from the mainland (Punta Santa Elena, Guayas Province, Ecuador). Collections from El Salvador recorded by Dawson (1961: 406, pl. 3: fig. 4) almost certainly are referable to *C. isabelae*, although a confirmatory examination of the specimens has not been made. In the present paper, we treat the mainland and Galápagos populations as conspecific.

***Codium picturatum* F.F. Pedroche et P.C. Silva** (Figs 10-12).

Pedroche & Silva, 1996: 2, figs. 1-6. Type: Playa La Audiencia (near Manzanillo), Colima, Mexico, on rocks exposed at low tide in moderate surf, Pedroche et al. FP12ne, 22.iii.1991 (MEXU).

Previous record from the Galápagos: Pedroche and Silva, 1996: 4. Misidentified record: Taylor, 1945: 68 (pro parte), as *C. setchellii*.

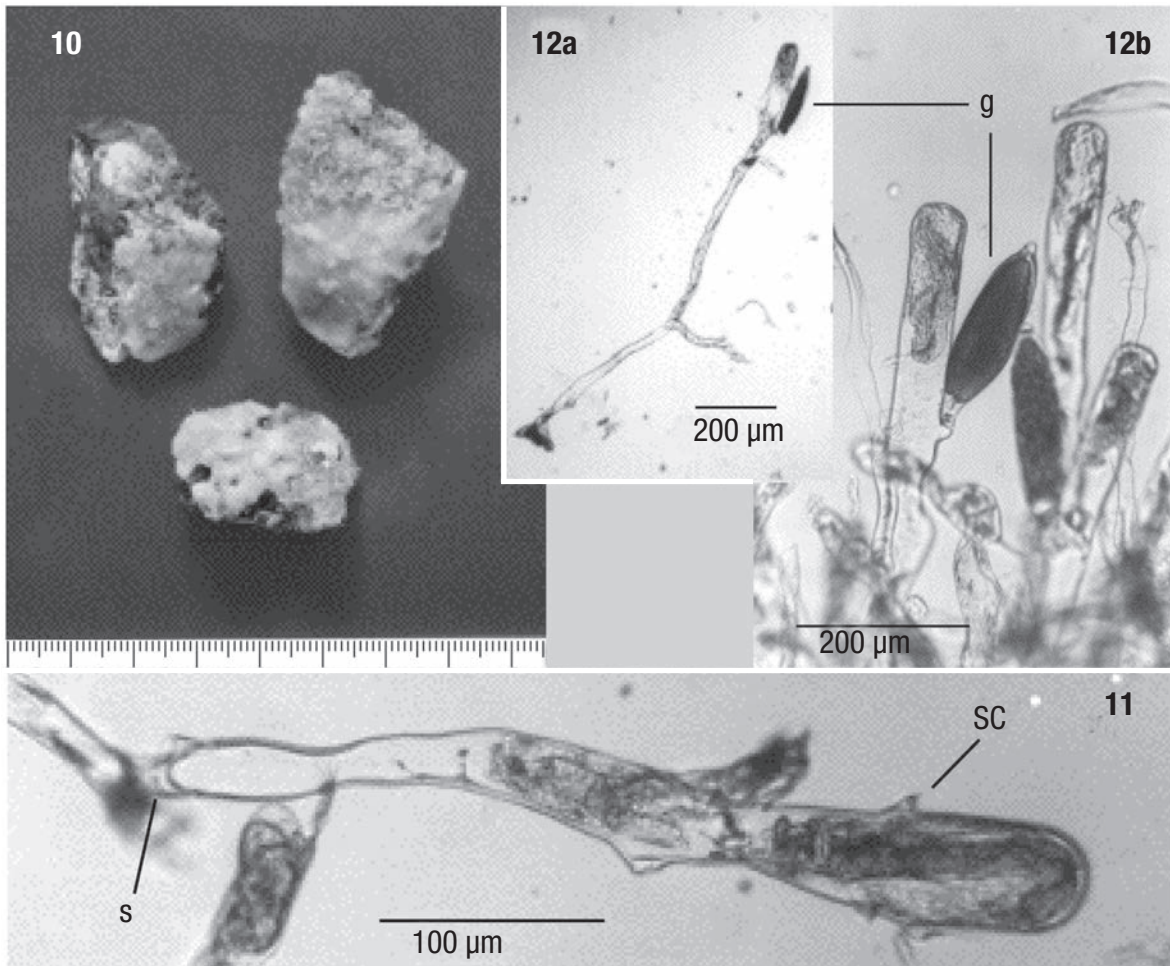
Thallus applanate, very thin (1-2 mm thick), closely adherent to the substratum throughout (including margins), forming an irregularly

shaped smooth layer, deep green, dissecting out into loose groups of utricles held together by foreshortened interutricular filaments, Utricles very slender, subcylindrical or slightly clavate, (38-) 55-85 (-125)  $\mu\text{m}$  diam., (270-) 400-900 (-1200)  $\mu\text{m}$  long, arising as outgrowths of existing utricles or medullary filaments, often with a plug at the base and without rhizoidal filaments. Medullary filaments scanty, 20-35  $\mu\text{m}$  diam. Apices rounded with thin walls, at most ticked to 2.5  $\mu\text{m}$ . Hairs or hair scars sometimes present in a zone 40-160  $\mu\text{m}$  below apex of utricule. Gametangia fusiform, (35-) 48-78 (-90)  $\mu\text{m}$  diam., (140-) 160-240 (-270)  $\mu\text{m}$  long, borne singly on short pedicel (190-) 230-335 (-365)  $\mu\text{m}$  below apex of utricule.

Habitat: Intertidal and subtidal, 1-60 m depth, over rocks and corals.

Representative Galápagos specimens examined:

Isla Isabela: Punta Vicente Roca, K. A. Miller, on barnacles at 15-21 ft (4.6-6.4 m) depth, 29.xi.2004 (UC). Isla Santiago (James): Sullivan Bay, Searcher Station 353, 37 m depth, 29.i.1972 (UC). Isla Rabida: Searcher Station 344, 5-20 m, 27.i.1972 (UC). Isla Pinzón: Searcher Station 350, abundant on boulders at 5-8 m depth, 28.i.1972 (UC). Isla Daphne: Searcher Station 356, on side of rocky drop off at 15 m depth, 30.i.1972 (UC). Isla Seymour: Searcher Station 359, encrusting rocks at 5-15 m



Figures 10-12. *Codium picturatum*. 10) Habit of a mature plant. 11) Utricle with basal septum and hair scars. 12a) Utricle with gametangium and medullary filament showing attaching terminal point to substratum. 12b) Detail of gametangia (s= septum, g= gametangia, sc= scar).

depth, 30.i.1972 (UC). Isla Santa Cruz: 1 mi. E of Darwin Research Station, E. Y. Dawson and C.M. Dawson 22258, intertidal, 8.iii.1962 (US Algae 59671); mouth of Academy Bay, Searcher Station 371, on large rocks at 10m depth, 1.ii.1972 (UC); midway between Punta Estrada and Isla Coamano, Searcher Station 366, on coralline rubble, 30-33 m, 31.i.1972 (UC). Isla Santa Fe (Barrington): Searcher Station 360, 27m depth, 30.i.1972 (UC); on stony coral, 3 fms (5.4 m) depth, W.L. Schmitt 46A-33, 2.ii.1933, published by W.R. Taylor as *C. setchellii* prox., incorrectly stated to be from Isla Pinta (MICH). Isla Floreana (Santa María): Black Beach Anchorage, Searcher Station 315, ca. 15m depth, 23.i.1972 (UC); W.R. Taylor 34-242, 19.i.1934, published as *C. setchellii* (AHFH 0000 in UC). Isla Marchena: Punta Espejo, US 026772 Muller and Salazar, 1996: 46, as *C. setchellii*.

Local distribution: Isla Isabela, Isla Santiago (I. James), Isla Rabida, Isla Pinzón, Isla Daphne, Isla Seymour, Isla Santa Cruz, Isla Coamano, Isla Santa Fe (Barrington), Isla Pinta, Isla Floreana (Santa María), Isla Marchena.

Distribution: Hawaii, Gulf of California, Tropical Mexican Pacific to Islas Galápagos.

After studying specimens from the Galápagos and Panama, that Taylor considered to be thin thalli of *C. setchellii*, Silva (1951: 84-85) concluded that they represented "one or more quite different species". One collection cited by Silva (1951) (W.R. Taylor 34-379c from Isla Floreana) is referred in the present paper to *C. arabicum* whereas two others (W.R. Taylor 34-242 from Isla Floreana and W.R. Taylor 34-508 from Isla Jicarita, Panama) proved to represent this new species, *C. picturatum*. Dawson (1959) observed or collected thin adherent thalli of *Codium* at several localities in the southern Gulf of California. Pedroche and González González (1981) reported a thin adherent species (as *C. sp.*) from the state of Jalisco on the Mexican mainland. Schnetter and Bula Meyer (1982) described and illustrated thin adherent thalli of an unnamed *Codium* from Isla Gorgona near the Pacific coast of Colombia. With numerous suspiciously similar collections available for study, Pedroche and Silva (1996) determined that all were representative of a single previously undescribed species, which they named *C. picturatum*. The epithet, meaning "painted" in Latin, refers to the very thin thallus which appears to be painted on the substratum.

*Codium picturatum* is a distinctive species in which the applanate thallus is nearly devoid of a medulla and secondary utricles arise from existing utricles or from filaments directly (without intervention of an intertricular filament) so that many utricles have basal plugs. When publishing *C. picturatum*, Pedroche and Silva (1996) cited two collections from the Galápagos. After attention was focused on the marine algae of those islands, it was realized that this species had been observed and collected at numerous sites by Sylvia Earle, the leader of the scientific team of the Janss Expedition in 1972.

## DISCUSSION

Above we have already mentioned some remarks concerning each one of the species. Here, we will give a brief discussion concerning to *Codium* in general terms but mainly related with insular environments.

As we have seen before in morphological terms *Codium*, as a genus, presents a reduced number of characters that related with its phe-

notypic plasticity make some of the taxonomic considerations not applicable. Similarity or resemblance of gross morphology or even in utricle anatomy confuses untrained biologists consequently erroneously giving records of species that could not be present in certain geographical areas, at least not naturally. Furthermore, *Codium fernandezianum* is closely related, in morphological terms, with *C. decorticatum* from the Atlantic, Caribbean and Mediterranean seas. *Codium duthieae* from Australia and Sudafrica, *C. cylindricum* a japanese species, and *C. ampivesciculatum* from the Gulf of California are very similar, big thalli with huge utricles.

*Codium arabicum* populations apparently grow in warm waters of Indo-Pacific and Hawaiian islands. How these species are related, in origin and evolution with those applanate representatives from other parts of the world is an interesting question to solve in the near future. Evidence shows applanate thalli are monophyletic (Pedroche, 2001).

Island species as *Codium foveolatum* need special consideration; some of them are presumably endemic to those environments however several that originally we thought were restricted to islands are in continental coasts. Did they disperse over time? or because they were discovered and described first on islands, were they assumed endemic to them?. On the other hand, *Codium isabelae* and *C. picturatum* described for the continent, are recorded from islands (see above) surely they reached these by dispersion. Local studies with molecular tools will give us definitive answers about the evolutionary history of these organisms and others giving us the opportunity to build hypothesis on their origin and distribution.

So, islands are the best spaces for studying local distribution, dispersion, endemism and evolutionary pathways in algae and other organisms. Differentiated isolation processes, between them and continents are natural experiments by themselves. However to have a better and complete view, a detail comparative study with morphological and molecular information, among specimens from nearby continental areas is needed.

Environmental factors, microhabitats, predators, weather in general combined with ocean currents, as well as depth and distance among and between land bodies are determinant in presence or absence of certain species.

## ACKNOWLEDGMENTS

We wish to express our thanks to J.N. Norris, curator of the Phycology section at US for his help. F.F. Pedroche wants to thank CONACyT, OEA and UAM-Iztapalapa for their financial support during his stay in UC-Berkeley, through a postgraduate scholarship.

## REFERENCES

- BOWMAN, R. (ed.) 1966. *The Galápagos; Proceedings of the Symposia of the Galápagos International Scientific Project*. University of California Press, Berkeley. 319 pp.
- DAWSON, E. Y. 1959. Marine algae from the 1958 cruise of the Stella Polaris in the Gulf of California. *Los Angeles County Museum Contributions in Science* 27: 39 p., 39 Figs.

- DAWSON, E. Y. 1961. Plantas marinas de la zona de las mareas de El Salvador. *Pacific Naturalist* 2 (8): 389-461, 337 Pls.
- DAWSON, E. Y., C. ACLETO & N. FOLDVIK. 1964. The seaweeds of Peru. *Nova Hedwigia* 13: 111 pp., 181 láms.
- FARLOW, W. G. 1902. Algae. In: B.L. Robinson. Flora of the Galápagos Islands. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 38: 89-99.
- FOSLIE, M. 1907. Algologiske notiser III. *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie* 28: 529-545, Pl. XI.
- HARVEY, W. H. 1847-1849. *Nereis australis* ... London. viii + 124 pp., Pls. [Pp. [i]-viii + [121]-164, Pls. I-XXV (1847); pp. 1865-1124, Pls. XXVI-L (1849)].
- HEDGPETH J. W. 1969. Distribution of selected groups of marine invertebrates in waters south of 35°S latitude. Introduction to Antarctic Zoogeography. *Antarctic Map Folio Series-Folio* 11: 1-8.
- HEYDRICH, F. 1901. Die Lithothamnien des Museum d'histoire naturelle in Paris. *Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter* 1906 (8): 1-34.
- HOWE, M. A. 1914. The marine algae from Peru. *Memoirs of the Torrey Botanical Club* 15: 1-185, 166 Pls., 144 Figs text.
- KÜTZING, F. T. 1856. *Tabulae phycologicae* ... Vol. 6. Nordhausen. IV + 35 pp., 100 Pls.
- LEMOINE, MME P. 1929. Les Corallinacées de l'Archipel des Galápagos et du Golfe de Panama. *Archives du Muséum d'Histoire Naturelle [Paris]*, series 6, 4: 37-88, 35 Figs, IV Pls.
- PEDROCHE F. F. 1998. *El género Codium (Chlorophyta) en el Pacífico de México*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 129 p., 125 Figs.
- PEDROCHE, F. F. 2001. Estudios filogenéticos del género *Codium* (Chlorophyta) en el Pacífico Mexicano. Uso de ADNr mitocondrial. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 47 (1): 109-123.
- PEDROCHE, F. F. & J. GONZÁLEZ-GONZÁLEZ. 1981. Lista florística preliminar de las algas marinas de la región sur de la Costa de Jalisco, México. *Phycologia Latino-Americana* 1: 60-71, 1 Fig.
- PEDROCHE, F. F. & P. C. SILVA. 1996. *Codium picturatum* sp. nov. (Chlorophyta), una especie extraordinaria del Pacífico Tropical Mexicano. *Acta Botánica Mexicana* 35: 1-8, 6 Figs.
- PEDROCHE, F. F., P. C. SILVA & M. CHACANA. 2005. El género *Codium* (Codiaceae, Chlorophyta) en el Pacífico de México. *Monografías Ficológicas* 1: 1-64, 89 Figs.
- PICCONE, A. 1886. *Alge del viaggio di circumnavigazione della Vettor Pisani*. Genova. 97 p., II Pls.
- PICCONE, A. 1889. Nuove alge del viaggio di circumnavigazione della "Vettor Pisani". *Atti della Reale Accademia dei Lincei, Memorie di Classe di Scienze*. Fische, Matematiche e Naturale, series 4, 6: 10-63.
- SETCHELL, W. A. 1937a. The *Codiums* of the Juan Fernandez Islands. In: C. Skottsberg (Ed.). *The natural history of Juan Fernandez and Easter Island*. Uppsala. 2: 587-600, Pls. 534-548.
- SETCHELL, W. A. 1937b. The templeton Crocker expedition of the California Academy of Sciences, 1932. N° 34. Report on the Sargassums. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, ser. 4, 22 (5): 127-158, Pls. 128-133.
- SETCHELL, W. A. & N. L. GARDNER. 1937. The templeton Crocker Expedition of the California Academy of Sciences, 1932. N° 31. A preliminary report on the algae. *Proceedings of the California Academy of Sciences*: ser. 4, 22: 65-98, Pls. 23-25, 21 text Fig.
- SCHNETTER, R. & G. BULA MEYER. 1982. Marine algen der Pazifikküste von Kolumbien. Chlorophyceae, Phaeophyceae. *Bibliotheca Phycologica* 60: XVII + 287 pp., XXXVII Pls., 281 Figs.
- SILVA, P. C. 1951. The genus *Codium* in California with observations on the structure of the walls of the utricles. *University of California Publications in Botany* 25 (2): 79-114, Pls. 111-116, 132 Figs.
- SILVA, P. C. 1952. *Codium*. In: L. E. Egerod. An analysis of the siphonous Chlorophycophyta with special reference to the Siphonocladales, Siphonales and Dasycladales of Hawaii. *University of California Publications in Botany* 25: 381-395, Figs. 311-318, Pls. 334b, 335, 336.
- TAYLOR, W. R. 1945. Pacific marine algae of the Allan Hancock Expeditions to the Galápagos Islands. *Allan Hancock Pacific Expeditions* 12: iv + 528 pp., 523 Figs., 100 Pls.

**Recibido:** 12 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 26 de noviembre de 2015.



## Diatomeas perifíticas del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México

## Periphytic diatoms of Lake Pátzcuaro, Michoacán, Mexico

José Salvador Almanza Álvarez<sup>1</sup>, Isabel Israde Alcántara<sup>2</sup> y Virginia Segura-García<sup>1</sup><sup>1</sup>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<sup>2</sup>Estratigrafía y Paleoambientes, Departamento de Geología y Mineralogía, Instituto de Ciencias de la Tierra, Edificio U. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ciudad Universitaria, Col. Felicitas del Río, Morelia, Michoacán. 58060, México  
e-mail: chavaalmanza@gmail.comAlmanza Álvarez J. S., I. Israde Alcántara y V. Segura-García. 2016. Diatomeas perifíticas del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Hidrobiológica* 26 (2): 161-185.

## RESUMEN

**Antecedentes.** El Lago de Pátzcuaro ha estado expuesto en el pasado reciente a deterioro ambiental con incrementos en su eutroficación, como resultado de la deforestación, uso indiscriminado de agroquímicos, pesca excesiva, desarrollo urbano no planificado y la descarga de aguas negras. **Objetivos.** Con la finalidad de contribuir con el inventario ficoflorístico del lago, se presenta la descripción taxonómica de las diatomeas perifíticas encontradas, incluyendo datos morfométricos y merísticos, figuras, así como anotaciones ecológicas y de distribución. **Métodos.** Los muestreos se realizaron en cuatro sitios durante dos periodos distintos: postlluvias y estiaje (secas) durante octubre 2004 y mayo 2005. Las muestras se obtuvieron raspando la vegetación flotante y arraigada. Los frústulos de las diatomeas se limpiaron oxidando la muestra con ácido clorhídrico y peróxido de hidrógeno; se elaboraron preparaciones permanentes con la resina *Naphrax*®, que fueron analizadas con microscopía óptica. **Resultados.** Un total de 83 especies de diatomeas perifíticas fueron determinadas, incluyendo ocho variedades y una forma; 20 especies (24%) constituyen los primeros registros para México y 57 (68.6%) para el área de estudio. 62 especies (74.7%) son de distribución cosmopolita y seis (7.2%) de afinidad tropical. La riqueza de especies fue ligeramente mayor en la época de poslluvias (octubre 2004) con 69 taxones en total y 65 durante el estiaje (mayo 2005). Entre los sitios de muestreo, Janitzio presentó la mayor diversidad de diatomeas, con 46 taxones durante el estiaje. **Conclusiones.** El deterioro del lago de Pátzcuaro en las últimas décadas ha repercutido en la salud del ecosistema. Las diatomeas identificadas en este estudio, evidencian una clara tendencia a la eutrofización del cuerpo de agua.

**Palabras clave:** Lago de Pátzcuaro, Perifiton, sistemas lénticos, taxonomía.

## ABSTRACT

**Background.** Lake Pátzcuaro has been exposed in the recent past to environmental deterioration with increasing eutrophication as a result of deforestation, indiscriminate use of agrochemicals, overfishing, unplanned urban growth, and sewage dumping. **Goals.** In order to contribute to the phycofloristic inventory of the Lake, we present the taxonomic description of the periphytic diatoms found, including morphometric information, meristic data, figures, as well as ecological and distributional notes. **Methods.** Sampling was carried out in four sites during two periods: after the rainy season (October 2004) and the dry season (May 2005); samples were gathered by scraping rooted and floating vegetation. Diatoms' thecae were cleared with hydrochloric acid and hydrogen peroxide; permanent slides were made with *Naphrax*® resin and analyzed through optic microscopy. **Results.** A total of 83 periphytic diatom species were recorded, including eight varieties and one form; 20 species (24%) represent the first records for Mexico and 57 (68.6%) are new to the study area. Sixty-two species (74.7%) have cosmopolitan distribution and six (7.2%) have tropical affinity. Species richness was slightly higher after the rainy season (October 2004) with a total of 69 taxa, compared to 65 species recorded during the dry season (May 2005). Among the sampling sites, the island of Janitzio had the highest diatom diversity (46 taxa during the dry season). **Conclusions.** Deterioration of Lake Pátzcuaro in the previous decades has taken a toll on the health of its ecological system. Diatoms identified in this study indicate a clear tendency of eutrophication of the waterbody.

**Key words:** Lake Pátzcuaro, lentic systems, periphyton, taxonomy.

## INTRODUCCIÓN

Varios estudios aseveran que el lago de Pátzcuaro se ha visto expuesto al deterioro ambiental y a la creciente eutrofización en las últimas décadas (Chacón, 1993; Segura, 1997; Esteva & Reyes, 2007; Lazos, 2007; Medina *et al.*, 2011; Vargas, 2007). Barrera (1992) señaló que, desde fines del siglo antepasado, la actividad humana provocó gran inestabilidad ecológica en la cuenca del lago. Las principales causas de esta alteración fueron: la deforestación de grandes extensiones de bosques de coníferas y de bosques mixtos debido a la introducción del ferrocarril en la región, apertura de espacios agrícolas, actividad ganadera en espacios con fragilidad ecogeográfica, actividad pesquera excesiva, uso indiscriminado de agroquímicos, flujo de aguas negras y crecimiento no planificado de espacios urbanos entre otras.

Entre los microorganismos que habitan el lago, las algas del perifiton forman parte de los productores primarios de la red trófica, y las diatomeas (Bacillariophyceae) son el grupo más ampliamente empleado como indicadores de calidad de agua, puesto que son una herramienta útil para detectar contaminación de diferente origen (López-Fuerte & Altamirano-Cerecedo, 2011). Este grupo ha resultado un excelente sensor de la calidad ambiental, ya que son las microalgas más abundantes en los ecosistemas acuáticos, presentan una distribución geográfica muy amplia y disponen de gran capacidad para colonizar ambientes bajo condiciones extremas y limitantes para otros organismos, desde los hielos polares hasta las aguas termales (Round *et al.*, 1990); así mismo son muy sensibles a las variaciones químicas del agua (López-Fuerte & Altamirano-Cerecedo, 2011).

El objetivo de este trabajo fue describir de manera taxonómica las diatomeas perifíticas del lago de Pátzcuaro, en Michoacán, con la finalidad de elaborar un inventario que comprendiera descripciones morfológicas, notas ecológicas y de distribución, así como determinar la variación algal específica durante las temporadas de muestreo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El lago de Pátzcuaro se sitúa en el Altiplano Mexicano, entre los paralelos 19° 31' y 19° 42' N, y los meridianos 101° 32' y 101° 43' O a una altitud de 2035 msnm (Correa, 2003). Su clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano (Cw). Tiene una precipitación pluvial anual de 983.3 mm con una temperatura media anual de 14-20 °C (Correa, 2003). La vegetación que predomina en la cuenca está conformada por varias especies de encinos, pinos y oyameles, con fuerte presencia de hierbas, arbustos, pastizales, matorrales subtropicales. Asimismo, presenta vegetación halófila, acuática y subacuática (Correa, 2003).

Se determinaron cuatro sitios de muestreo considerando la profundidad en el seno norte, la cual es de 12 metros; la dirección de las corrientes (NE - SO), para el seno centro y la afluencia de manantiales para el seno sur, con dos temporadas de muestreo, poslluvias y estiaje (octubre, 2004; mayo, 2005) (Fig. 1). Se raspó una área expuesta a la luz, de 10x10 cm, tres especímenes por especie en cada localidad, de la vegetación flotante (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms) y arraigada (*Cyperus* spp., *Thypha* spp.). La masilla se depositó en frascos de plástico de 25 ml por triplicado para cada localidad y se preservaron en formol al 4%.

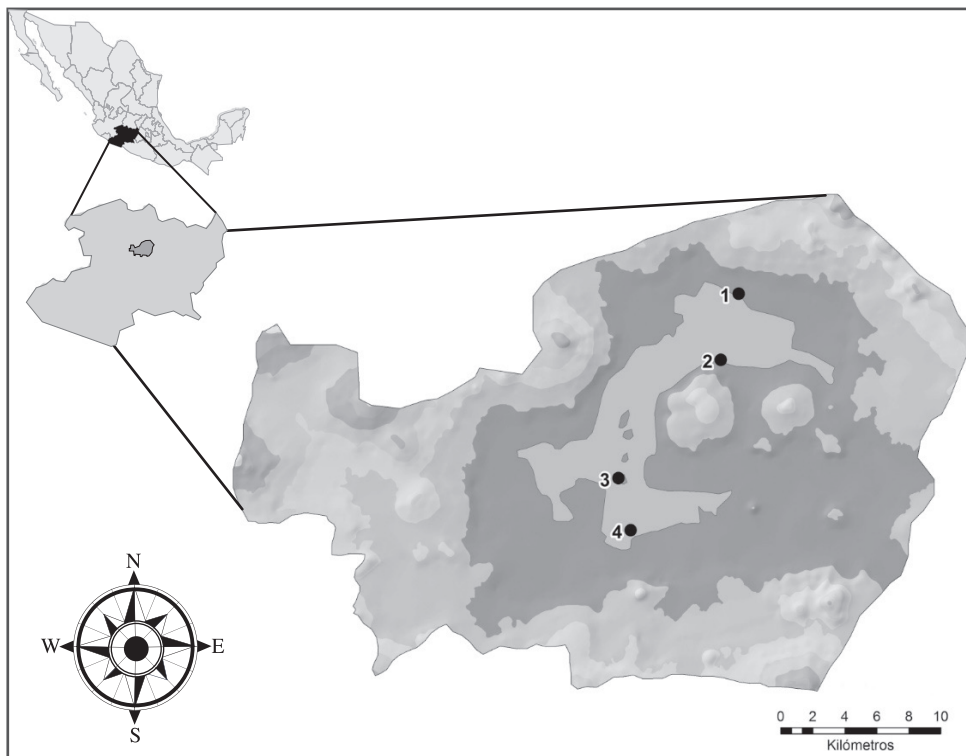


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. Sitios: 1. Chupicuario; 2. Ichupio; 3. Janitzio; 4. Las Urandenas.



La limpieza de las valvas se llevó a cabo mediante el método propuesto por Gasse (1980), el cual consiste en la oxidación de la materia orgánica de una mezcla de muestra, ácido clorhídrico y peróxido de hidrógeno en proporción 1:1:1. Posteriormente se lavaron las muestras con agua destilada hasta la neutralización y el montaje permanente se llevó a cabo con *Naphrax*® (IR= 1.74). Las observaciones se realizaron con un microscopio óptico (MO) Olympus Bimax 50, y se tomaron microfotografías mediante una cámara digital de torre integrada Olympus DP12; mientras que los taxones de difícil identificación fueron observados con un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 6400).

La determinación taxonómica fue realizada según los criterios de Krammer y Lange-Bertalot (1997a, b), Metzeltin y Lange-Bertalot (1998, 2002), Lange-Bertalot (2000, 2001), Rumrich *et al.* (2000), Krammer and Lange-Bertalot (2004a, b), Metzeltin *et al.* (2005), Romero y Jahn (2013).

## RESULTADOS

Se determinaron un total de 83 especies de diatomeas perifíticas que incluyeron ocho variedades y una forma; 20 especies (24%) fueron primer registro para México y 57 (68.6%) fueron nuevas para el área de estudio. Estos taxones están contenidos en dos familias, cuatro géneros y siete especies de la Clase *Coccinodiscophyceae*; una familia, cuatro géneros y seis especies de la Clase *Fragilariophyceae* y 18 familias, 25 géneros y 70 especies corresponden a la Clase *Bacillariophyceae* (Tabla 1).

Los géneros mayormente representados fueron *Nitzschia* con 13; *Gomphonema* con 12 y *Navicula* con 10. Los géneros con menor número de especies fueron *Stephanodiscus*, *Aulacoseira*, *Rhoicosphenia*, *Encyonema*, *Lemnicola*, *Luticola*, *Diploneis*, *Craticula* y *Surirella*.

El 74.7% (62) especies son de distribución cosmopolita y el 7.5% (seis) son de afinidad tropical.

A continuación, se describen por orden taxonómico, los 83 taxones registrados en el presente estudio, incluyendo sus sinónimos (Sin.), una descripción de su morfología, dimensiones (intervalo, promedio y desviación estándar), su distribución local (en el área de estudio) y en México con referencias y sus afinidades ambientales en México con referencias.

CLASE COSCINODISCOPHYCEAE Round *et* Crawford  
 SUBCLASE THALASSIOSIROPHYCIDAE Round *et* Crawford  
 ORDEN THALASSIOSIRALES Glezer *et* Makarova  
 FAMILIA STEPHANODISCACEAE Glezer *et* Makarova

### *Cyclostephanos* aff. *dubius* (Fricke) Round (Fig. 2 K)

Sin. *Cyclotella dubia* Fricke (in A. Schmidt 1874-1956, Tafel 222); *Stephanodiscus dubius* (Fricke) Hustedt; *Stephanodiscus pulcherrimus* Cleve-Euler; *Cyclotella dubia* var. *spinulosa* Cleve-Euler; *Stephanodiscus dubius*  $\alpha$ . *radiosa* Cleve-Euler; *Stephanodiscus dubius*  $\beta$ . *disperses* Cleve-Euler; *Stephanodiscus dubius* fo. *longiseta* Cleve-Euler.

Descripción: valvas circulares con área central lisa, parte marginal interestriada, las hileras de las areolas confluyen en el área central del frústulo. Areolas y estrías dispuestas en forma radial hacia el margen de

la valva. Diámetro: 9.27-11.69 (10.45  $\pm$  1.02)  $\mu$ m; estrías: 9.53-12.15 (10.66  $\pm$  1.17) en 10  $\mu$ m.

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

### *Stephanocyclus meneghiniana* (Kützing) Skabitschevsky (Figs. 2 G, 5 A)

Sin. *Cyclotella meneghiniana* Kützing; *Surirella melosiroides* Meneghini; *Cyclotella operculata*  $\beta$ . *rectangula* Kützing; *Cyclotella rectangula* Brébisson ex Rabenhorst; *Cyclotella meneghiniana* var. *rectangulata* Grunow in Van Heurck 1882; *Cyclotella kuetzingiana* Thwaites; *Cyclotella meneghiniana* var. *vogesiaca* Grunow in Van Heurck; *C. meneghiniana* var. *binotata* Grunow in Van Heurck 1882; *Cyclotella meneghiniana* var. *plana* Fricke (in Schmidt *et al.*, 1874-1956); *Cyclotella meneghiniana* fo. *plana* (Fricke) Hustedt; *Cyclotella laevissima* Van Goor; *Cyclotella meneghiniana* var. *laevissima* (Van Goor) Hustedt.

Descripción: valvas circulares. Areolas dispuestas en hileras, extendiéndose desde el centro de la valva hacia el margen de la misma. Área central lisa, claramente delimitada del área marginal. Procesos reforzados o fultopórtulas entre las costillas; en vista valvar interna, son notorios algunos poros satelitales. Estrías radiales gruesas. Diámetro: 5-19.5 (11 $\pm$ 4)  $\mu$ m; estrías: 8-14 (10 $\pm$ 1.1) en 10  $\mu$ m.

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Estado de México (Valadez *et al.*, 2005); Michoacán (Hutchinson *et al.*, 1956); Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011); Valle de México (Flores-Granados, 1980 en Cantoral, 1997); Hidalgo (Ortega, 1984; Chang, 1998 en Ortega, 1984); Yucatán (Sánchez, 1985 en Cantoral, 1997); porción central de México (Metcalfe, 1985 en Cantoral, 1997; Metcalfe, 1988; Metcalfe *et al.*, 1991; Metcalfe, 1992-1993 en Ortega, 1984); Guanajuato y Michoacán (Metcalfe y O'Hara, 1992 en Ortega, 1984); San Luis Potosí (Cantoral, 1990, 1993 en Cantoral, 1997; Cantoral-Uriza y Montejano-Zurita, 1993 en Cantoral, 1997; Cantoral, 1997); Morelos (Valadez, 1992, 1998 en Cantoral, 1997; Valadez *et al.*, 1996 en Cantoral, 1997); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997; Novelo, 1998); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); Distrito Federal (ahora Cd. de México) (Ramírez *et al.*, 2001).

Afinidades ambientales en México: Epifita, perifítica, metafitica, planctónica, epilítica (Cantoral, 1997; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

### *Stephanodiscus hantzschii* Grunow in Cleve & Grunow (Figs. 2 H, 5 H)

Sin. *Cyclotella operculata* sensu Hantzsch, non *Frustulia operculata* Agardh, non *Cyclotella operculata* Kützing 1844; *Stephanodiscus hantzschianus* Grunow (in Van Heurck) 1881; *Stephanodiscus hantzschii* var. *pusilla* Grunow (in Cleve & Grunow) 1880; *Stephanodiscus zachariasii* Brun; *Stephanodiscus hantzschii* var. *zachariasii* (Brun) Fricke (in Schmidt *et al.*, 1874-1956); *Stephanodiscus hantzschii* var. *delicatula* Cl.-E. 1910; *Stephanodiscus pusillus* (Grunow) Krieger; ? *Stephanodiscus tenuis* Hustedt.

Tabla 1. Taxones de diatomeas perifíticas presentes en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México, durante las temporadas de estudio (2004-2005).

Taxón	Poslluvias (2004)				Estiaje (2005)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen							•	•
<i>A. granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	•		•	•		•	•	•
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki ◊	•	•	•	•			•	•
<i>A. m. var. jackii</i> (Rabhenhorst) Lange-Bertalot <i>et</i> Ruppel ◆								•
<i>Amphora montana</i> Krasske Levkov ◊		•						
<i>A. ovalis</i> (Kützing) Kützing ◊			•		•		•	
<i>A. veneta</i> Kützing ◊		•		•	•	•	•	•
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> (Ehrenberg) Pfitzer ◊							•	
<i>Cyclostephanos aff. dubius</i> (Fricke) Round ◆			•		•			
<i>Cymbella affiniformis</i> Krammer ◆	•		•				•	•
<i>C. mexicana</i> (Ehrenberg) Cleve ◊			•	•	•			
<i>C. m. var. kamtschatica</i> (Grunow) K. Krammer ◆			•					
<i>C. neocistula</i> Krammer ◆		•					•	•
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg		•	•	•		•	•	•
<i>C. lineata</i> Ehrenberg ◊	•	•	•	•	•		•	•
<i>Craticula fumantii</i> Lange-Bertalot, Cavacini, Tagliaventi <i>et</i> Alfinito ◆					•			
<i>Diploneis pseudovalis</i> Hustedt ◊	•	•	•					
<i>D. puella</i> (Schumann) Cleve				•				
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabenhorst) D. G. Mann ◊		•	•	•			•	
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson ◊			•	•				•
<i>E. sorex</i> Kützing ◊	•		•	•			•	•
<i>Fallacia pygmaea</i> (Kützing) Stickle <i>et</i> D. G. Mann ◊	•				•		•	
<i>Fragilaria capucina var. vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot ◊	•	•	•		•		•	
<i>F. fasciculata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot ◆		•		•				•
<i>Gomphonema affine</i> Kützing ◊				•	•	•	•	
<i>G. a. var. rhombicum</i> Reichardt ◆ ◊					•		•	
<i>G. clavatum</i> Ehrenberg ◊		•	•				•	
<i>G. gracile</i> Ehrenberg ◊						•	•	
<i>G. lagenula</i> Kützing ◊		•	•	•				
<i>G. mexicanum</i> Grunow ◊	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing ◆	•	•		•	•	•	•	•
<i>G. parvulum var. exilissimum</i> Grunow ◆	•	•		•	•	•		•
<i>G. pseudoaugur</i> Lange-Bertalot ◊		•						
<i>G. pumilum var. rigidum</i> E. Reichardt <i>et</i> Lange-Bertalot ◊				•	•	•	•	
<i>Gomphonema aff. laticollum</i> Reichardt ◆				•				
<i>Gomphonema cf. minusculum</i> Krasske ◆						•	•	
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) W. Smith ◊	•	•					•	
<i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin <i>et</i> Witkowski ◊	•				•			
<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round <i>et</i> P.W. Basson ◊	•	•		•				
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) Mann ◊	•			•			•	
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot ◊	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>N. capitatoradiata</i> Germain ◊			•					
<i>N. cryptotenella</i> Lange-Bertalot ◊	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>N. erifuga</i> Lange-Bertalot ◊								•
<i>N. libonensis</i> Schoeman ◊								•
<i>N. radiosa</i> Kützing						•		
<i>N. recens</i> Lange-Bertalot ◊	•						•	
<i>N. symmetrica</i> Patrick ◆	•	•					•	
<i>N. veneta</i> Kützing ◊		•						

Continuación tabla 1.

Taxón	Poslluvias (2004)				Estiaje (2005)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>N. wendingii</i> Lange-Bertalot, Hofmann <i>et</i> Van de Vijver ♦	•	•					•	
<i>Neidium hercynicum</i> A. Mayer ♦								•
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow ◊	•	•	•	•	•		•	•
<i>N. a. f. frauenfeldii</i> (Grunow) Lange-Bertalot ♦		•	•					
<i>N. clausii</i> Hantzsch ◊	•	•					•	
<i>N. communis</i> Rabenhorst ◊	•			•				•
<i>N. dissipata</i> var. <i>dissipata</i> (Kützing) Grunow ◊					•	•		
<i>N. filiformis</i> (W. Smith) Van Heurck ◊	•		•		•		•	
<i>N. fonticola</i> Grunow ◊		•		•	•	•	•	
<i>N. gracilis</i> Hantzsch ◊	•							
<i>N. inconspicua</i> Grunow ◊	•					•	•	
<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith ◊	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>N. recta</i> Hantzsch ♦			•		•		•	•
<i>N. subacicularis</i> Hustedt ♦	•							
<i>N. umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot ◊	•		•					
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> W. Smith ◊								•
<i>P. interrupta</i> W. Smith ◊			•					
<i>Placoneis subplacentula</i> (Hustedt) E. J. Cox ◊	•		•		•		•	
<i>Planothidium frequentissimum</i> Lange-Bertalot ◊			•					
<i>P. lanceolatum</i> (Brébisson) Round <i>et</i> Bukhtiyarova ◊			•					
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot ◊	•	•		•	•	•	•	
<i>Rhopalodia brebisonii</i> Krammer ◊	•		•	•	•		•	
<i>R. gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller ◊			•	•				•
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky ◊	•	•		•			•	•
<i>Stausosira construens</i> (Ehrenberg) Williams <i>et</i> Round ◊				•				•
<i>Stausosirella pinnata</i> var. <i>pinnata</i> (Ehrenberg) D. M. Williams <i>et</i> Round ♦			•	•			•	•
<i>Stephanocyclus meneghiniana</i> (Kützing) Skabitschewsky	•			•				•
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow ♦				•			•	•
<i>S. medius</i> Håkansson ◊			•					•
<i>S. niagarae</i> Ehrenberg ◊			•				•	
<i>Surirella ovalis</i> Brébisson ◊							•	
<i>S. tenera</i> Gregory ◊			•					
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) M. Aboal Cobelas, Cambra <i>et</i> Ector				•			•	•
<i>U. gouldarii</i> (Brébisson) Lange-Bertalot ◊	•	•	•		•	•	•	
TOTAL: 83 taxones	35	31	37	35	27	19	46	33

• = Presencia. 1 = Chupicuaro; 2 = Ichupio; 3 = Janitzio; 4 = Las Urandenas. Las especies que se registran por primera vez para México, están señaladas con el símbolo ♦. Las especies que se registran por primera vez para el Lago de Pátzcuaro, están señaladas con el símbolo ◊.

Descripción: valva circular, vista valvar plana. Presenta un área central hialina. En la parte central, espinas cortas, distribuidas en el margen de la cara valvar. Estrías radiales, en algunos ejemplares claramente biseriadas, llegando a ser uniseriadas hacia el centro. Diámetro: 7.98-14.49 (10.95 ± 1.14) µm; estrías: 6.69-12.37 (8.86 ± 1.43) en 10 µm.

Distribución local: Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

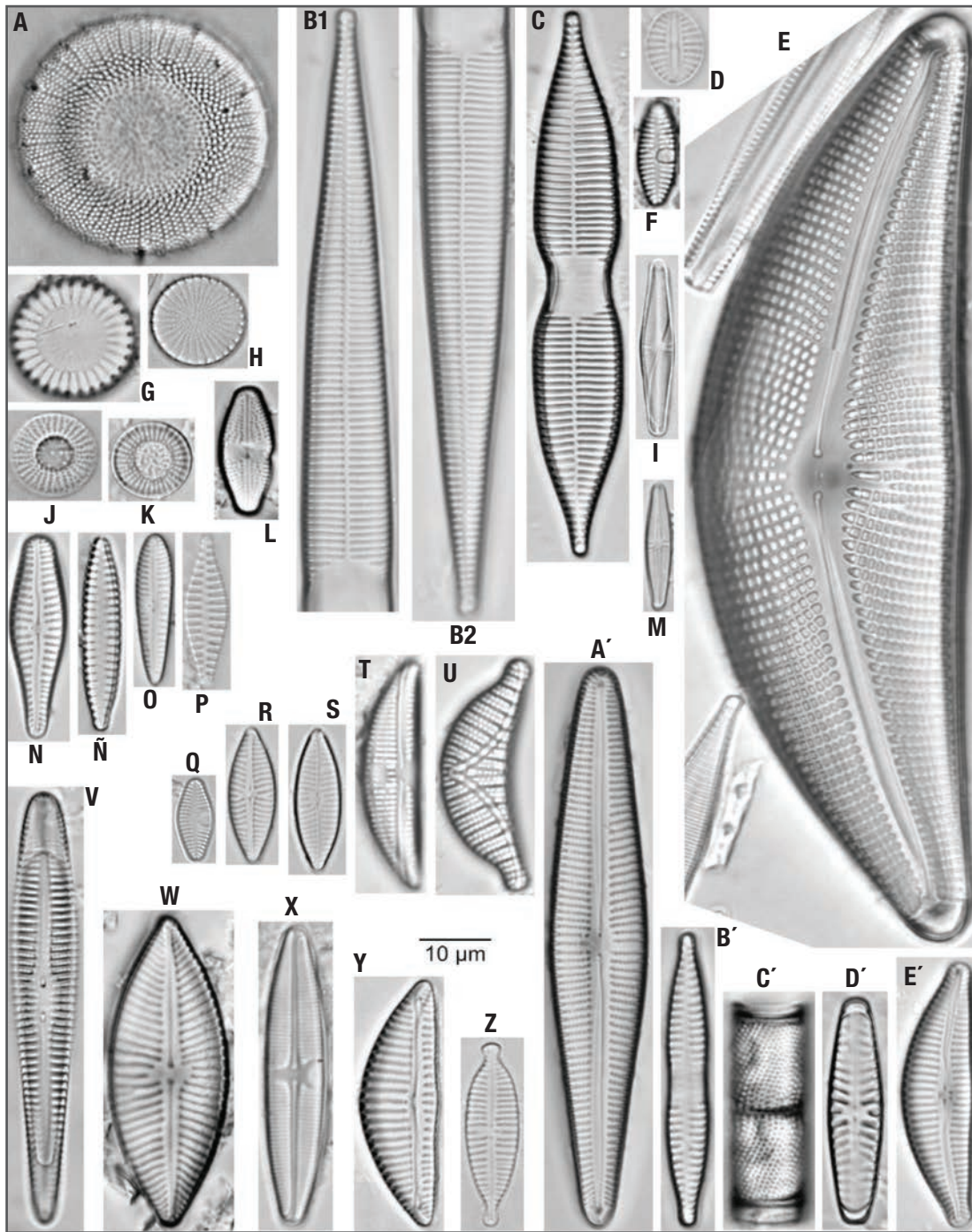
Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

#### ***Stephanodiscus medius* Håkansson (Fig. 2 J)**

Sin. *Stephanodiscus minutus* Grunow ex Cleve *et* Möller 1879, Pröp. 221, ex H. L. Smith 1880, Pröp. 504 «*nomen nudum*»

Descripción: frústulos solitarios. Valva cóncava, de mayor grosor en el centro que en los márgenes. Sin anillos hialinos marginales; área central diferenciada de la zona marginal. Costillas uniseriadas, más delgadas que las estrías. Las areolas centrales son escasas y se disponen de forma radial hacia el margen. Diámetro: 7.31-10.87 (9.92 ± 1.74) µm; estrías: 9.10-10.45 (9.83 ± 0.70) en 10 µm.





Figuras 2A-Z, A'-E'. **A**) *Stephanodiscus niagarae* Ehrenberg. **B1, B2**) *Ulnaria acus* (Kützing) M. Aboal. **C**) *Ulnaria goulardii* (Brébisson) Lange-Bertalot. **D**) *Diploneis puella* (Schumann) Cleve. **E**) *Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve. **F**) *Planothidium frequentissimum* Lange-Bertalot. **G**) *Stephanocyclus meneghiniana* (Kützing) Skabitschevsky. **H**) *Stephanodiscus hantzschii* Grunow. **I**) *Achnanthisidium minutissimum* var. *jackii* (Rabenhorst) Lange-Bertalot et Ruppel. **J**) *Stephanodiscus medius* Håkansson. **K**) *Cyclostephanos* aff. *dubius* (Fricke) Round. **L**) *Luticola mutica* (Kützing) Mann. **M**) *Achnanthisidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki. **N**) *Gomphonema clavatum* Ehrenberg. **Ñ**) *Fragilaria fasciculata* (C. Agardh) Lange-Bertalot. **O**) *Gomphonema pumilum* var. *rigidum* E. Reichardt et Lange-Bertalot. **P**) *Staurosirella pinnata* var. *pinnata* (Ehrenberg) D. M. Williams et Round. **Q**) *Planothidium lanceolatum* (Brébisson) Round et Bukhtiyarova. **R**) *Navicula antonii* Lange-Bertalot. **S**) *Navicula recens* Lange-Bertalot. **T**) *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing. **U**) *Epithemia sorex* Kützing. **V**) *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bertalot. **W**) *Placoneis subplacentula* (Hustedt) E. J. Cox. **X**) *Lemnicola hungarica* (Grunow) Round et P.W. Basson. **Y**) *Encyonema silesiacum* Bleisch. **Z**) *Gomphonema lagenula* Kützing. **A')** *Gomphonema affine* Kützing. **B')** *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kützing) Lange-Bertalot. **C')** *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen. **D')** *Hippodonta capitata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin et Witkowski. **E')** *Cymbella affinisformis* Krammer. La escala de medida aplica a todas las figuras.

Distribución local: Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Perifítica (Novelo *et al.*, 2007).

***Stephanodiscus niagarae* Ehrenberg (Fig. 2 A)**

Descripción: valva circular, centro ligeramente cóncavo o convexo. Estrías radiales areoladas, dispuestas en fascículos biseriados en el margen valvar y uniseriados hacia el centro, separadas por costillas elevadas; dos a tres espinas en el margen de la cara valvar. Diámetro: 30.93-40.77 ( $34.56 \pm 4.35$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 4.05-5.96 ( $4.88 \pm 0.81$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Hidalgo (Ortega, 1984).

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

CLASE COSCINODISCOMPHYCEAE Round *et* Crawford  
SUBCLASE COSCINODISCOMPHYCIDAE Round *et* Crawford  
ORDEN AULACOSEIRALES Crawford  
FAMILIA AULACOSEIRACEAE Crawford

***Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen (Fig. 2 C')**

Sin. *Melosira crenulata* var. *ambigua* Grunow in Van Heurck; *Melosira ambigua* (Grunow) O. Müller.

Descripción: frústulos cilíndricos, con vista cingular rectangular, formando colonias en hileras. Areolas en el manto ordenadas en espiral. Valvas de células adyacentes unidas por espinas cortas triangulares. Altura del manto: 11.67-13.76 ( $12.71 \pm 1.47$ )  $\mu\text{m}$ . Areolas: 14.39-15.53 ( $14.96 \pm 0.80$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Michoacán (Ortega, 1984; Segura, 2011), Oaxaca (Ortega, 1984).

Afinidades ambientales en México: Planctónica, perifítica, epilítica (Ortega, 1984; Segura, 2011).

***Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen (Fig. 3 J)**

Sin. *Gallionella granulata* Ehrenberg; *Gallionella decussata* Ehrenberg; *Orthosira punctata* W. Smith; *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard 186; *Melosira lineolata* Grunow in Van Heurck 1881.

Descripción: frústulos cilíndricos los cuales forman filamentos rectos, curvos o espiralados. Manto con 4-8 espinas marginales que unen las células a través de sus valvas. Areolación gruesa. Estrías ligeramente helicoidales. Altura del manto: 13.56-18.13 ( $17.34 \pm 1.59$ )  $\mu\text{m}$ ; areolas: 8.76-11.77 ( $9.70 \pm 0.86$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Ciudad de México, Michoacán, Oaxaca (Ortega, 1984); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Planctónica, metafítica, perifítica (Ortega, 1984; Novelo *et al.*, 2007).

CLASE FRAGILARIOPHYCEAE Round in Round, Crawford *et* Mann.

SUBCLASE FRAGILARIOPHYCIDAE Round & Crawford

ORDEN FRAGILARIALES Silva

FAMILIA FRAGILARIACEAE Greville

***Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kützing) Lange-Bertalot (Fig. 2 B')**

Sin. *Exilaria vaucheriae* Kützing; *Staurosira intermedia* Grunow; *Fragilaria intermedia* Grunow in Van Heurck; *Synedra rumpens* var. *meneghiniana* Grunow in Van Heurck; *Fragilaria vaucheriae* (Kützing) Petersen.

Descripción: células dispuestas en filamentos cortos o racimos. Valvas lanceoladas, ápices capitados a subcapitados. Sin rafe. El área central descansa hacia un costado; área axial lanceolada. Estrías de la porción central y apical ligeramente paralelas. Longitud: 26.83-54.96 ( $31.28 \pm 2.63$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.21-5.80 ( $5.05 \pm 0.47$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 4.71-12.07 ( $6.25 \pm 0.98$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9.58-11.39 ( $10.82 \pm 0.41$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003); Estado de México, Michoacán, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, epilítica, metafítica (Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

***Fragilaria fasciculata* (C. Agardh) Lange-Bertalot (Fig. 2 Ñ)**

Sin. *Diatoma fasciculatum* C. Agardh; *Diatoma tabulatum* C. Agardh; *Synedra fasciculata* (Agardh) Kützing excl. descr. et excl. *Synedra fasciculata* Ehrenberg; *Synedra affinis* Kützing; *Synedra hamata* W. Smith.

Descripción: valvas lineal-lanceoladas, con extremos redondeados. Área central claramente definida. Estrías transapicales. Longitud: 16.39-47.17 ( $35.48 \pm 11.64$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3.82-5.29 ( $4.38 \pm 0.59$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.47-11.64 ( $8.43 \pm 3.50$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10.15-13.86 ( $11.97 \pm 1.66$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Staurosira construens* (Ehrenberg) Williams *et* Round (Fig. 3 H)**

Descripción: valvas rómbicas, isopolares, con extremos redondeados. Región media ensanchada, donde se observa un área central redondeada. Estrías paralelas. Longitud: 19.12  $\mu\text{m}$ ; ancho: 7.75  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12.77 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Hidalgo (Ortega, 1984).

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Staurosirella pinnata* var. *pinnata* (Ehrenberg) D. M. Williams *et* Round (Fig. 2 P)**

Sin. *Odontidium mutabile* W. Smith 1856; (?) *Fragilaria mutabilis* var. *subsolitaris* Grunow; *Fragilaria pinnata* var. *lancettula* (Schumann) Hustedt in A. Schmidt *et al.*, 1913 (ob incl. Holotypus?); *Fragilaria elliptica* Schumann sensu auct. nonnull. (ob incl. Holotypus); *Fragilaria pinnata* var. *subrotunda* Mayer; *Odontidium martyi* var. *polymorpha* (Jouravleva) Proschkina-Lavrenko.

Descripción: valvas rómbicas, isopolares, con extremos redondeados. Estrías con patrón variable sobre la valva: paralelas en el centro, radiales hacia los extremos. Longitud: 7.09-19.85 ( $10.52 \pm 2.31$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.43-5.98 ( $5.30 \pm 0.43$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 1.51-3.51 ( $1.97 \pm 0.38$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9.39-13.73 ( $10.29 \pm 0.57$ )  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

Taxones de géneros erigidos en fecha posterior a la publicación de la clasificación de Round *et al.* (1990).

***Ulnaria acus* (Kützing) M. Aboal in Aboal, Alvarez Cobelas, Cambra & Ector (Figs. 2 B1, B2)**

Sin. var. *acus* (Kützing) Lange-Bertalot; *Synedra acus* Kützing; (?) *Synedra delicatissima* W. Smith.

Descripción: valvas isopolares, con extremos redondeados o subcapitados. Área central rectangular. Estrías paralelas, más cortas en el área central que en los extremos. Longitud: 67.03-116.92 ( $95.33 \pm 19.40$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2.71-8.11 ( $4.73 \pm 1.91$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 13.98-32.49 ( $22.03 \pm 6.48$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 16.02-19.47 ( $16.72 \pm 2.43$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Michoacán, Puebla (Ortega, 1984); México central (Metcalf, 1985 en Cantoral, 1997; Metcalf, 1988); Valle de México (Ramírez *et al.*, 2001); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Planctónica, epilítica, metafítica, perifítica (Ortega, 1984; Ramírez *et al.*, 2001; Novelo *et al.*, 2007).

***Ulnaria gouldarii* (Brébisson) Lange-Bertalot (Figs. 2 C, 5 E)**

Sin. *Fragilaria gouldarii* Brébisson in Cleve & Grunow.

Descripción: valvas lineales con extremos rostrado-capitados. Área central rectangular, área axial muy angosta. Estrías muy finas. Longitud: 71.91-106.65 ( $82.41 \pm 6.50$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5.10-8.94 ( $8.02 \pm 1.09$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 8.56-16.42 ( $10.53 \pm 2.30$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 7.86-12.07 ( $10.88 \pm 1.38$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Estado de México, Michoacán, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, epilítica (Cantoral, 1997; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN CYMBELLALES D. G. Mann

FAMILIA RHOICOSPHENIACEAE Chen *et* Zhu

***Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bertalot (Fig. 2 V)**

Sin. *Gomphonema abbreviatum* C. Agardh 1831 non sensu Kützing 1844 nec. al.; *Gomphonema curvatum* Kützing; *Rhoicosphenia curvata* (Kützing) Grunow ex Rabenhorst.

Descripción: valvas lineal-lanceoladas a clavadas, con extremos redondeados. Rafe reducido, con el brazo superior más largo que el inferior. Área axial ligeramente angosta, sin área central evidente. Estrías ligeramente radiales en el centro y paralelas en los extremos. Longitud: 19.37-55.29 ( $23.45 \pm 2.98$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.96-9.23 ( $6.07 \pm 0.86$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.95-6.95 ( $3.89 \pm 0.56$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 8.25-14.39 ( $11.97 \pm 1.74$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio

Distribución en México: Estado de México, Michoacán (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN CYMBELLALES D. G. Mann

FAMILIA ANOMOEONEIDACEAE D. G. Mann

***Anomoeoneis sphaerophora* (Ehrenberg) Pfitzer (Fig. 3 C)**

Sin. *Navicula sphaerophora* Ehrenberg.

Descripción: valvas elíptico-lanceoladas, con extremos subcapitados. Área central desarrollada unilateralmente; área axial angosta. Estrías formadas por poros, radiales en el centro y paralelas en los extremos. Longitud: 58.97  $\mu\text{m}$ ; ancho: 16.68  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.53  $\mu\text{m}$ ; estrías: 16.06 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Hidalgo (Ortega, 1984); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Perifítica (Novelo *et al.*, 2007).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN CYMBELLALES D. G. Mann

FAMILIA CYMBELLACEAE Greville

***Cymbella affiniformis* Krammer (Fig. 2 E')**

Descripción: valvas dorsales lanceoladas, margen dorsal marcadamente convexo, margen ventral ligeramente recto con la región central poco convexa. Extremos subrostrados a rostrados, redondeados. Dos es-



tigmas aislados, presentes en el área central de la valva ventral. Estrías formadas por poros, ligeramente radiales en el área central y completamente radiales en los extremos. Longitud: 23.80-35.94 ( $34.12 \pm 1.84$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5.84-9.09 ( $8.69 \pm 0.23$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.56-4.23 ( $3.92 \pm 0.23$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías dorsales: 9.46-18.38 ( $10.91 \pm 0.93$ ) en 10  $\mu\text{m}$ ; estrías ventrales: 10.55-17.05 ( $11.56 \pm 0.61$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

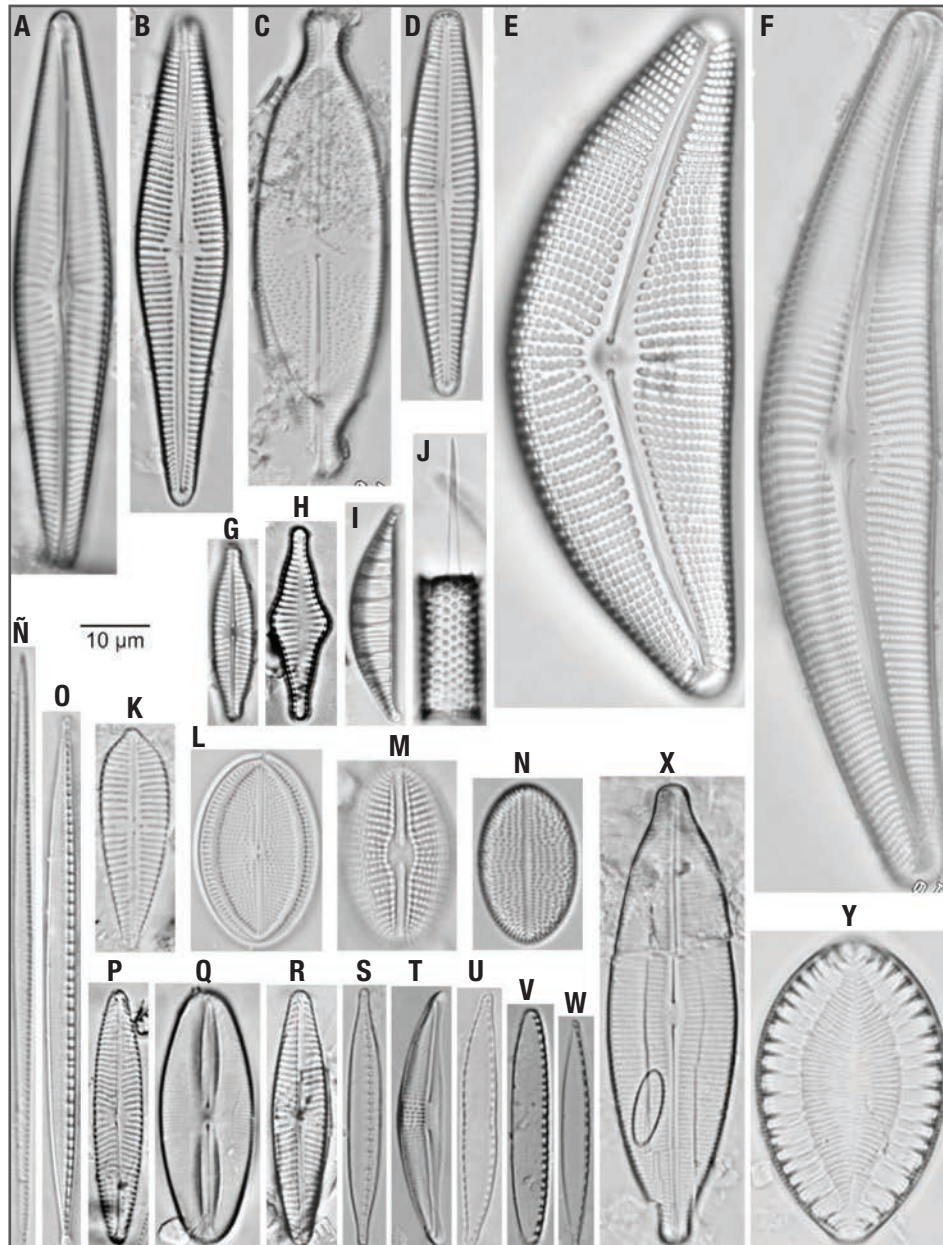
Distribución local: Chupicuaro, Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve** (Figs. 2 E, 5 J)

Sin. *Cocconeis mexicana* Ehrenberg.



Figuras 3A-Y. **A**) *Navicula radiosa* Kützing. **B**) *Gomphonema affine* var. *rhombicum* Reichardt. **C**) *Anomooneis sphaerophora* (Ehrenberg) Pfitzer. **D**) *Gomphonema gracile* Ehrenberg. **E**) *Cymbella mexicana* var. *kamtschatica* (Grunow) K. Krammer. **F**) *Cymbella neocistula* Krammer. **G**) *Navicula wendlingii* Lange-Bertalot, G. Hofmann et Van de Vijver. **H**) *Staurosira construens* (Ehrenberg) Williams et Round. **I**) *Rhopalodia brebissonii* Krammer. **J**) *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen. **K**) *Gomphonema pseudoaugur* Lange-Bertalot. **L**) *Cocconeis lineata* Ehrenberg. **M**) *Diploneis pseudovalis* Hustedt. **N**) *Cocconeis euglypta* Ehrenberg. **Ñ**) *Nitzschia subacicularis* Hustedt. **O**) *Nitzschia recta* Hantzsch. **P**) *Navicula erifuga* Lange-Bertalot. **Q**) *Fallacia pygmaea* (Kützing) Stickle et D. G. Mann. **R**) *Navicula libonensis* Schoeman. **S**) *Nitzschia dissipata* var. *dissipata* (Kützing) Grunow. **T**) *Amphora veneta* Kützing. **U**) *Nitzschia clausii* Hantzsch. **V**) *Nitzschia communis* Rabenhorst. **W**) *Nitzschia fonticola* Grunow. **X**) *Craticula fumantii* Lange-Bertalot, Cavacini, Tagliaventi et Alfinito. **Y**) *Surirella ovalis* Brébisson. La escala de medida aplica a todas las figuras.



Descripción: valvas dorsoventrales, margen dorsal fuertemente arqueado, margen ventral recto o ligeramente cóncavo, con la porción central poco convexa. Extremos de la valva redondeados, obtusos. Área central visiblemente redondeada e irregular, área axial estrecha. Un estigma grande presente en los extremos proximales del rafe. Estrías radiales en toda la valva. Longitud: 80.82-90.00 ( $92.62 \pm 12.21$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 23.95-24.22 ( $24.96 \pm 1.74$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.38-3.73 ( $3.7 \pm 0.24$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías dorsales: 8.17-12.15 ( $9.60 \pm 2.20$ ) en 10  $\mu\text{m}$ ; estrías ventrales: 7.74-8.96 ( $8.24 \pm 0.63$ ) en 10  $\mu\text{m}$ ; Areolas: 13.38-14.58 ( $13.56 \pm 0.93$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México (Segura, 2011), Guanajuato, Michoacán (Ortega, 1984; Segura, 2011); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, epífita, perífita, planctónica, metafítica (Ramírez, 2002; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

***Cymbella mexicana* var. *kamtschatica* (Grunow) K. Krammer** (Fig. 3 E)

Sin. *Cocconema kamtschaticum* Grunow in A. Schmidt, *et al.*, (loc. cit.).

Descripción: muy similar a *C. mexicana*. De acuerdo con Cleve (1894, p. 177), la única diferencia entre *C. mexicana* y *C. kamtschatica* es que en esta última especie, las estrías y las areolas se encuentran más próximas. Longitud: 65.44-76.41  $\mu\text{m}$ ; ancho: 21.19-21.88  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.09-3.49  $\mu\text{m}$ ; estrías dorsales: 8.07-9.07 en 10  $\mu\text{m}$ ; estrías ventrales: 7.74-9.06 en 10  $\mu\text{m}$ ; Areolas: 12.63-13.04 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perífita (presente estudio).

***Cymbella neocistula* Krammer** (Fig. 3 F)

Sin. *Cymbella cistula* a. *eucistula* auct. non. A. Mayer 1913: 26, fig. 12: 6, text figs 25 ac, 26 a-f excl. descr. *et Synonyma ibidem*; (?) *Bacillaria cistula* Ehrenberg auct. non. Ehrenberg 1828, fig. 2/4: 10; (?) *Cocconema cistula* (Ehrenberg) Ehrenberg auct. non. Ehrenbergh 1831: 9; (?), auct. non. Ehrenberg 1838: 244, fig. 19: 7; auct. non. A. Schmidt 1876 in A. Schmidt *et al.* (loc. cit.) figs. 10: 3,5,6; *Cymbella cistula* Grunow auct. non. Grunow in Van Heurck 1880, fig. 2: 12; (?) *Cymbella cistula* var. *fusidium* (Ehrenberg) M. Peragallo *et* Héribaud-Josep auct. non. Héribaud 1893: 71, fig. 3: 12; *Cymbella cistula* sensu Cleve 1894: 173, pro parte, excl. synonyms; (?) *Cymbella cistula* var. *insignis* Meister auct. non. Meister 1912: 179, fig. 29: 21; *Cymbella cistula* f. *typica* A. Mayer 1913: 256, text figs 25 a-c, 26 d-f; *Cymbella cistula* f. *minor* A. Mayer 1913: 257, text figs 26 a-c; *Cymbella cistula* f. *truncata* A. Mayer 1913: 257, text figs 26 a-c; *Cymbella cistula* f. *undulata* A. Mayer 1913: 257, text fig. 25e; *Cymbella cistula* f. *recta* A. Mayer 1913: 257, text fig. 25f; *Cymbella cistula* sensu Hustedt 1930, fig. 675a, descriptio pro parte;

*Cymbella cistula* (Ehrenberg) Kirchner in Patrick y Reimer 1975, figs 11: 3, 4, descriptio pro parte.

Descripción: valvas dorsoventrales, con margen dorsal fuertemente arqueado y margen ventral casi recto, ligeramente cóncavo. Extremos ampliamente redondeados. Área axial estrecha, área central pequeña, redondeada, algo irregular. 3-5 estigmas pequeños se distribuyen en el centro de la valva ventral. Poros centrales pequeños. Estrías ligeramente radiales en el centro, fuertemente radiales en los extremos. Longitud: 81.57-89.14  $\mu\text{m}$ ; ancho: 16.42-16.80  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 4.97-5.30  $\mu\text{m}$ ; estrías dorsales: 8.96-10.56 en 10  $\mu\text{m}$ ; estrías ventrales: 10.20-11.07 en 10  $\mu\text{m}$ ; Areolas: 17.40-20.73 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perífita (presente estudio).

***Encyonema silesiacum* (Bleisch in Rabenhorst) D. G. Mann** (Fig. 2 Y)

Sin. *Cymbella silesiaca* Bleisch in Rabenhorst 1864; *Cymbella ventricosa* Kützing 1844 pro parte; *Cymbella minuta* var. *silesiaca* (Bleisch) Reimer.

Descripción: valvas cimbeloides, con extremos agudos. Margen dorsal fuertemente curvado, margen ventral casi recto. Área axial recta y angosta, área central no bien definida. Rafe ventral, lateral, un estigmoide presente cerca de la estría central. Estrías dorsales radiales. Longitud: 25.44-39.99 ( $33.77 \pm 4.59$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 8.46-10.37 ( $9.76 \pm 0.58$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.72-3.78 ( $3.45 \pm 0.37$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías dorsales: 8.60-9.90 ( $9.20 \pm 0.40$ ) en 10  $\mu\text{m}$ ; estrías ventrales: 8.40-11.05 ( $9.33 \pm 0.70$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Michoacán (Alvarado, 2003); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Estado de México, Michoacán, Guanajuato, Querétaro (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Perífita, planctónica, metafítica, epilítica (Cantoral, 1997; Ramírez, 2002; Alvarado, 2003; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

***Placoneis subplacentula* (Hustedt) E. J. Cox** (Fig. 2 W)

Sin. *Navicula subplacentula* Hustedt in A. Schmidt 1930; Hustedt 1943.

Descripción: valvas elíptico-lanceoladas con extremos subcapitados. Rafe filiforme. Área axial angosta, lineal; área central circular o ligeramente elíptica. Estrías radiales. Longitud: 26.37-39.72 ( $31.41 \pm 6.05$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 11.93-14.94 ( $13.54 \pm 1.20$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.03-2.65 ( $2.29 \pm 0.25$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 8.89-10.27 ( $9.4 \pm 0.47$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Michoacán (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN CYMBELLALES D. G. Mann

FAMILIA GOMPHONEMATACEAE Kützing

***Gomphonema affine* Kützing (Fig. 2 A')**

Sin. *Gomphonema lanceolatum* sensu Hustedt *et al.*, non Ehrenberg 1843 nec Agardh 1830; (?) *Gomphonema magnificum* Gandhi.

Descripción: valvas clavadas, con la parte apical más corta que la basal; polo apical ampliamente redondeado, polo basal agudo. Área axial estrecha y recta, área central unilateral y rectangular. Estigma presente en el centro de la valva. Estrías punteadas, paralelas y ligeramente radiales, más separadas en el centro de la valva. Longitud: 51.08-71.48 ( $63.11 \pm 6.31$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 9.88-12.30 ( $10.84 \pm 0.77$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 5.17-6.55 ( $5.82 \pm 0.45$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9.30-11.89 ( $10.75 \pm 0.67$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Hidalgo (Ortega, 1984); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Michoacán, (Alvarado, 2003; Segura, 2011); Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, planctónica, epilítica (Cantoral, 1997; Alvarado, 2003; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

***Gomphonema affine* var. *rhombicum* Reichardt (Fig. 3 B)**

Descripción: semejante a *G. affine*, pero a diferencia de ésta, las valvas son estrictamente rómbico-lanceoladas (Reichardt, 1999). Longitud: 61.90-66.63  $\mu\text{m}$ ; ancho: 11.79-12.30  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 5.25-5.42  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10.91-10.26 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Gomphonema clavatum* Ehrenberg (Fig. 2 N)**

Sin. *Gomphonema longiceps* Ehrenberg; *Gomphonema mustela* Ehrenberg; *Gomphonema montanum* Schumann; *Gomphonema subclavatum* (Grunow) Grunow in Van Heurck 1885; *Gomphonema commutatum* Grunow in Van Heurck 1880; (?) *Gomphonema (commutatum* var.?) *mexicanum* Grunow in Van Heurck 1880; *Gomphocymbella obliqua* (Grunow) O. Müller.

Descripción: valvas lanceoladas, ensanchadas en la parte media, porción basal más angosta que la superior, extremos ampliamente redondeados. Área axial amplia, área central pequeña, con un estigma unilateral. Estrías transapicales, ligeramente radiales. Longitud: 25.99-

36.95 ( $33.44 \pm 5.16$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 7.10-9.08 ( $8.24 \pm 0.93$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.66-4.32 ( $4.04 \pm 0.27$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9.85-11.35 ( $10.58 \pm 0.62$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Michoacán (Alvarado, 2003).

Afinidades ambientales en México: Planctónica (Alvarado, 2003).

***Gomphonema gracile* Ehrenberg (Fig. 3 D)**

Sin. *Gomphonema gracile* var. *lanceolata* (Kützing) Cleve; *Gomphonema grunowii* Patrick.

Descripción: valvas lineo-lanceoladas con extremos agudos. Rafe lateral. Áreas axial y central estrechas, la última con un estigma central. Estrías centrales ligeramente radiadas, las terminales son paralelas. Longitud: 48.70-54.27  $\mu\text{m}$ ; ancho: 9.28-10.17  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 5.25-5.33  $\mu\text{m}$ ; estrías: 11.77-10.17 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México (Segura, 2011); Coahuila, Guanajuato, Hidalgo (Ortega, 1984); Michoacán (Ortega, 1984; Alvarado, 2003); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, metafítica, epilítica, planctónica, epilítica (Cantoral, 1997; Ramírez, 2002; Alvarado, 2003; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

***Gomphonema lagenula* Kützing (Fig. 2 Z)**

Sin. *Gomphonema parvulum* var. *lagenula* (Kützing) Frenguelli.

Descripción: valvas clavado-lanceoladas con extremos capitados. Rafe lateral. Área axial estrecha. Estrías centrales muy separadas, en los extremos radiales. Longitud: 23.51-32.11 ( $26.08 \pm 4.07$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5.08-7.18 ( $6.46 \pm 0.94$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.49-5.48 ( $4.29 \pm 0.96$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13.50-15.91 ( $14.29 \pm 1.11$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Michoacán (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Gomphonema mexicanum* Grunow (Fig. 4 F)**

Descripción: valvas elíptico-clavadas, ensanchadas en la parte media, extremo superior ampliamente redondeado, porción basal más angosta que la superior. Área axial recta y ensanchada ligeramente hacia el área central. Un estigma presente en el área central. Estrías en el área central punteadas, ligeramente radiadas. Longitud: 27.95-60.59 ( $44.40 \pm 9.27$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 8.72-11.84 ( $10.33 \pm 0.91$ )  $\mu\text{m}$ ; relación lon-

gitud/ancho: 2.92-5.22 ( $4.26 \pm 0.63$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9.27-12.07 ( $11.29 \pm 0.82$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Querétaro (Mora *et al.*, 2015).

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing** (Fig. 4 L)

Sin. *Sphenella parvula* Kützing; *Gomphonema lagenula* Kützing (?); *Gomphonema micropus* Kützing.

Descripción: valvas ovaladas con extremos capitados. Área central con un estigma. Estrías paralelas en el centro y radiales en los ápices. Longitud: 20.20-26.50 ( $22.25 \pm 1.76$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5.40-6.64 ( $6.09 \pm 0.39$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.10-4.40 ( $3.66 \pm 0.41$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13.75-16.85 ( $15.42 \pm 1.25$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Gomphonema parvulum* var. *exilissimum* Grunow in Van Heurck** (Fig. 4 G)

Descripción: valvas estrictamente lineal-lanceoladas, con los extremos capitados. La diferencia con la especie nominal es que ésta es más alargada. Longitud: 30.47-37.91 ( $32.46 \pm 1.84$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5.76-7.56 ( $6.45 \pm 0.39$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 4.61-5.56 ( $5.04 \pm 0.34$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12.44-16.31 ( $14.67 \pm 0.90$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Gomphonema pseudoaugur* Lange-Bertalot** (Fig. 3 K)

Descripción: valvas clavadas a romboides, con extremos subrotados. Rafe lateral. Área axial estrecha; área central con un estigma. Estrías ligeramente radiales. Longitud: 27.91  $\mu\text{m}$ ; ancho: 8.51  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.28  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10.95 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Michoacán (Alvarado, 2003).

Afinidades ambientales en México: Planctónica, epilítica, perifítica (Cantoral, 1997; Alvarado, 2003; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Gomphonema pumilum* var. *rigidum* E. Reichardt et Lange-Bertalot** (Fig. 2 O)

Descripción: valvas lineal-lanceoladas, con extremos ampliamente redondeados. Rafe lineal. Área axial amplia, área central rectangular transversa. Estrías centrales muy separadas. Estrías transapicales muy cortas, ligeramente radiales. Longitud: 16.45-24.89 ( $19.84 \pm 2.55$ )  $\mu\text{m}$ ;

ancho: 3.59-4.67 ( $4.25 \pm 0.29$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.93-6.07 ( $4.69 \pm 0.75$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12.62-15.40 ( $13.95 \pm 0.96$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Michoacán, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011).

***Gomphonema minusculum* Krasske** (Fig. 4 X)

Descripción: valvas lineal-lanceoladas, con extremos redondeados. Rafe lineal. Área axial muy amplia; área central rectangular transversa. Un estigma presente en el centro de la valva. Estrías muy separadas, paralelas en el centro, ligeramente radiales hacia los extremos. Longitud: 27.19-36.21 ( $31.17 \pm 2.72$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.34-5.46 ( $4.69 \pm 0.37$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 6.10-7.38 ( $6.64 \pm 0.37$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 11.28-12.93 ( $11.93 \pm 0.57$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Janitzio.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Gomphonema* aff. *laticollum* Reichardt** (Fig. 4 E)

Descripción: valva espatulada, con extremo superior truncado e inferior subclavado. Porción central de la valva ensanchada. Estrías centrales marcadamente separadas, radiales: estrías radiales en los extremos. Longitud: 39.46  $\mu\text{m}$ ; ancho: 10.66  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.70  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10.95 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN Achnanthes Silva

FAMILIA COCCONEIDACEAE Kützing

***Cocconeis euglypta* Ehrenberg** (Figs. 3 N, 5 B)

Descripción: valvas elípticas. Valva del pseudorafe con estrías transapicales, finamente punteadas. Valva sin rafe, con un área hialina en toda su longitud. Longitud: 16.84-55.91 ( $19.30 \pm 1.42$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 10.24-30.71 ( $11.87 \pm 0.95$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 1.49-1.94 ( $1.62 \pm 0.07$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 18.97-24.03 ( $21.73 \pm 1.16$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011); Michoacán (Ortega, 1984); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Planctónica, epilítica, epifítica, perifítica (Ortega, 1984; Cantoral, 1997; Ramírez, 2002; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

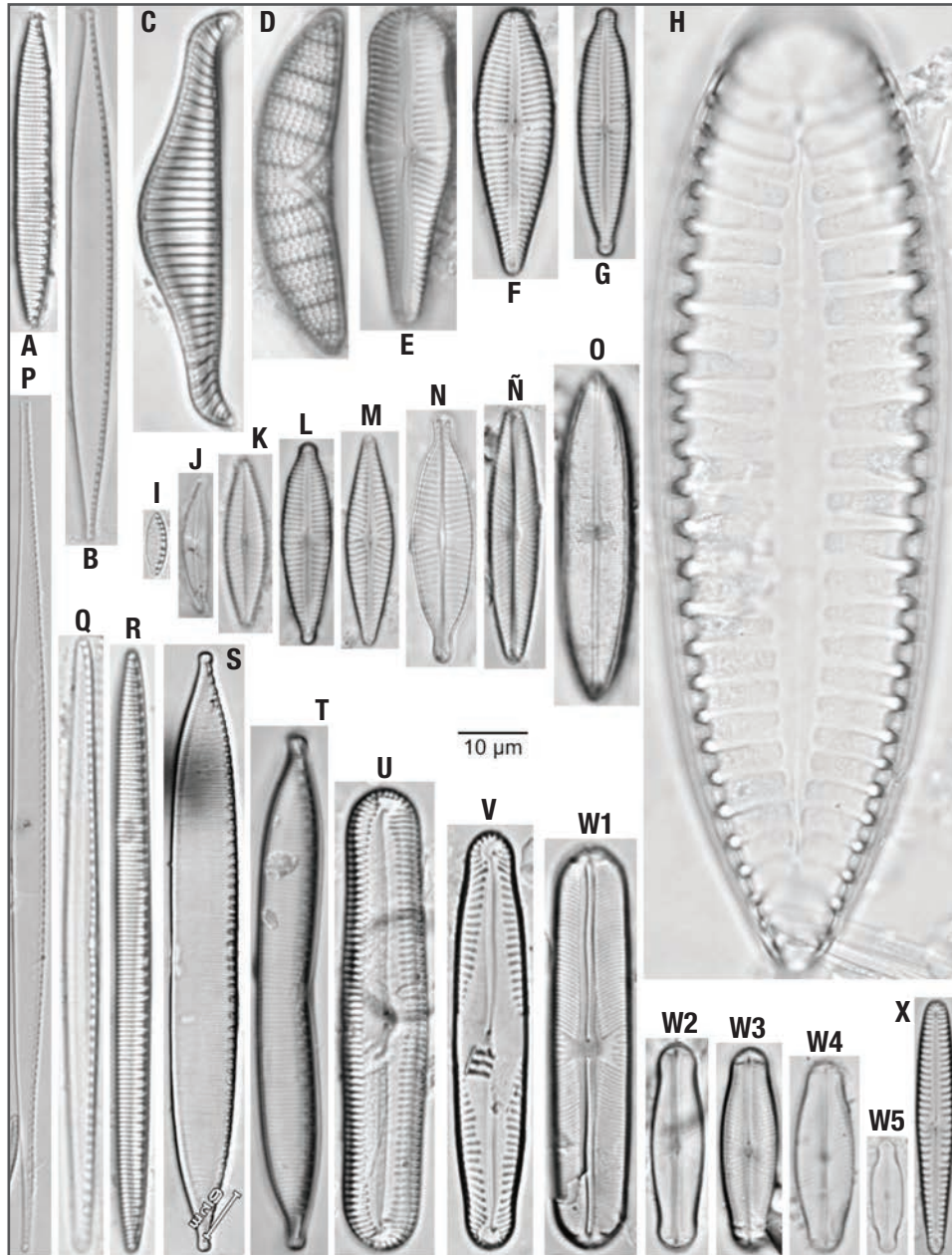


***Cocconeis lineata* Ehrenberg** (Fig. 3 L).

Descripción: morfología semejante a *C. euglypta*, difiere en que las valvas son más amplias y elípticas, y los polos son ampliamente redondeados. La valva con rafe presenta un área axial estrecha; la valva sin rafe, un área axial angosta. Estrías punteadas, areolas alargadas abundantes y

ordenadas en zig-zag. Longitud: 17.19-53.45 ( $22.63 \pm 3.05$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 11.74-30.74 ( $13.97 \pm 1.54$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 1.46-1.93 ( $1.61 \pm 0.13$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 16.71-22.02 ( $19.79 \pm 1.31$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Las Urandenas, Janitzio, Chupicuaro. Nuevo registro para el área de estudio.



Figuras 4A-X. **A)** *Nitzschia amphibia* Grunow. **B)** *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith. **C)** *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller. **D)** *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson. **E)** *Gomphonema* aff. *laticollum* Reichardt. **F)** *Gomphonema mexicanum* Grunow. **G)** *Gomphonema parvulum* var. *exilissimum* Grunow. **H)** *Suriella tenera* Gregory. **I)** *Nitzschia inconspicua* Grunow. **J)** *Amphora montana* Krasske. **K)** *Navicula veneta* Kützing. **L)** *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing. **M)** *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot. **N)** *Navicula capitatoradiata* Germain. **Ñ)** *Navicula symmetrica* Patrick. **O)** *Neidium hercynicum* A. Mayer. **P)** *Nitzschia gracilis* Hantzsch. **Q)** *Nitzschia filiformis* (W. Smith) Van Heurck. **R)** *Nitzschia amphibia* f. *frauenfeldii* (Grunow) Lange-Bertalot. **S)** *Nitzschia umbonata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot. **T)** *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) W. Smith. **U)** *Pinnularia acrosphaeria* W. Smith. **V)** *Pinnularia interrupta* W. Smith. **W1-W5)** *Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschkowsky; W1: morfotipo "rectangular"; W2: morfotipo "capitate"; W3: morfotipo "neat"; W4: morfotipo "obese"; W5: morfotipo "small". **X)** *Gomphonema minusculum* Krasske. La escala de medida aplica a todas las figuras.

Distribución en México: Estado de México (Segura, 2011); Coahuila, Guanajuato, Hidalgo (Ortega, 1984); Michoacán (Ortega, 1984; Alvarado, 2003; Segura, 2011); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Planctónica, epilítica, epifítica, perifítica (Alvarado, 2003; Segura, 2011; Cantoral, 1997; Ramírez, 2002; Novelo *et al.*, 2007).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel  
SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann  
ORDEN ACHNANTHALES Silva  
FAMILIA ACHNATHIDACEAE D. G. Mann

***Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki** (Fig. 2 M)

Sin. *Achnanthes minutissima* Kützing.

Descripción: valvas lineal-elípticas, alargadas, con ápices redondeados a subcapitados. Estrías transapicales moderadamente radiales. Área axial angosta en la valva con rafe; valva sin rafe con esternón ensanchado en la porción central. Longitud: 8.74-16.21 ( $10.44 \pm 0.99$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2.97-4.07 ( $3.43 \pm 0.30$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.72-4.32 ( $3.05 \pm 0.27$ )  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupicuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México (Segura, 2011); Michoacán (Alvarado, 1996, 2003; Segura, 2011); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Planctónica, epilítica, metafítica, perifítica (Alvarado, 1996, 2003; Cantoral, 1997; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Achnantheidium minutissimum* var. *jackii* (Rabenhorst) Lange-Bertalot et Ruppel** (Fig. 2 I)

Sin. *Achnantheidium jackii* Rabenhorst; *Achnanthes linearis* var. *jackii* (Rabenhorst) Grunow in Van Heurck 1880; (?) *Achnanthes minutissima* var. *robusta* Hustedt.

Descripción: valvas lineal-lanceoladas, alargadas, con extremos redondeados. Estrías transapicales moderadamente radiales. Valva con esternón ampliado en su parte central. Longitud: 22.79  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.26  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 5.34  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

Taxones de géneros erigidos en fecha posterior a la publicación de la clasificación de Round *et al.* (1990).

***Lemnicola hungarica* (Grunow) Round et P. W. Basson** (Fig. 2 X)

Sin. *Achnanthes hungarica* (Grunow) Grunow in Cleve et Grunow; *Achnanthes andicola* (Cleve) Hustedt; *Achnanthes pseudohungarica* Cholnoky-Pfannkuche.

Descripción: valvas isopolares, elípticas, con extremos ligeramente rostrados. Área central con una subfascia angulada; área axial muy estrecha. Rafe en una sola valva. Estrías muy finas, paralelas en el centro, radiales hacia los extremos. Longitud: 20.57-41.11 ( $32.07 \pm 7.31$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 6.58-7.86 ( $7.24 \pm 0.42$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.12-5.60 ( $4.40 \pm 0.89$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 18.88-22.46 ( $20.09 \pm 1.08$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupicuaro, Ichupio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Valle de México (Ramírez, 2002); Estado de México (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Ramírez, 2002; Segura, 2011).

***Planothidium frequentissimum* Lange-Bertalot** (Figs. 2 F, 5 F)

Sin. *Achnanthes lanceolata* spp. *frequentissima* Lange-Bertalot; *Achnanthes lanceolata* var. *dubia* f. *minuta* Grunow in Van Heurck 1880-1887; *Achnanthes lanceolata* var. *dubia* Grunow sensu Van Heurck 1885 *et auct. nonnull.*

Descripción: valvas elípticas con extremos ampliamente redondeados a subcapitados. Presencia de un *cavum* sobre el área central de la valva sin rafe. Estrías ligeramente radiales. Longitud: 9.44-13.31  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.38-4.88  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.15-2.73  $\mu\text{m}$ ; estrías: 15.22-15.25 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Michoacán (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Planothidium lanceolatum* (Brébisson) Round et Bukhtiyarova** (Fig. 2 Q)

Sin. *Achnanthes lanceolata* (Brébisson) Grunow in Cleve & Grunow 1880.

Descripción: valvas elípticas, lineales, con polos redondeados. Valva con rafe recto, filiforme; área central amplia. Estrías ligeramente radiales. Valva sin rafe con estrías radiales muy estrechas. Longitud: 12.20  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.40  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.77  $\mu\text{m}$ ; estrías: 17.53 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México (Bradbury, 1971 en Ramírez, 2002; Oliva *et al.*, 2005); Guanajuato (García, 1997 en Ramírez, 2002); México central (Metcalf, 1985, 1988 en Ramírez, 2002); Morelos (Valadez, 1992, 1998 en Ramírez, 2002); Oaxaca (Tavera y González, 1990 en Ramírez, 2002); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral 1997; Ibarra y Novelo, 1997; Novelo, 1998 en Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003), Estado de México, Michoacán (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Aerófila, epilítica, epifítica, perifítica, metafítica, aguas circumneutrales a alcalinas de bajo contenido de electrolitos, en aguas estancadas o corrientes, en medios con

contaminación  $\beta$ - $\alpha$ -mesosapróbicas; oligohalobia, alcalifila (Germain, 1981; Ehrlich, 1995; Cox, 1996; Ramírez & Cantoral, 2003; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel  
 SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann  
 ORDEN NAVICULALES Bessey  
 SUBORDEN NEIDIINEAE D. G. Mann  
 FAMILIA DIAESMIDACEAE D. G. Mann

***Luticola mutica* (Kützing) Mann in Round, Crawford & Mann** (Figs. 2 L, 5 G)

Descripción: valvas ovaladas con extremos ligeramente rostrados a redondeados. Rafe lineal. Área axial angosta; área central elíptica. Un estigma cercano al extremo marginal de la valva. Estrías conspicuamente punteadas, radiales. Longitud: 10.67-19.02 ( $14.70 \pm 2.91$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5.71-7.42 ( $6.55 \pm 0.55$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 1.73-2.56 ( $2.23 \pm 0.29$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 18.71-24.27 ( $21.21 \pm 2.31$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Valle de México (Ramírez, 2002).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Ramírez, 2002; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel  
 SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann  
 ORDEN NAVICULALES Bessey  
 SUBORDEN NEIDIINEAE D. G. Mann  
 FAMILIA NEIDIACEAE Mereschkowsky

***Neidium hercynicum* A. Mayer** (Fig. 4 O)

Sin. *Neidium affine* f. *hercynica* (Mayer) Hustedt.

Descripción: valvas elípticas, con extremos obtusos. Rafe lineal con extremos proximales en forma de gancho. Área central con una fascia rectangular; área axial reducida. Estrías punteadas, ligeramente radiales. Longitud: 41.40  $\mu\text{m}$ ; ancho: 9.40  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 4.41  $\mu\text{m}$ ; estrías: 25.17 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel  
 SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann  
 ORDEN NAVICULALES Bessey  
 SUBORDEN SELLAPHORINEAE D. G. Mann  
 FAMILIA SELLAPHORACEAE Mereschkowsky

***Fallacia pygmaea* (Kützing) Stickle et D. G. Mann** (Fig. 3 Q)

Sin. *Navicula minutula* W. Smith; *Navicula rotundata* Hantzsch fide Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula hudsonis* Grunow in Cleve 1891; *Diploneis hudsonis* Cleve.

Descripción: valvas elípticas con extremos ampliamente redondeados. Rafe filiforme, fisuras terminales rectas. Área central amplia; área axial angosta. Estrías radiales, cortas en el centro por presentar un área hialina o *conopeum* en forma de "H". Longitud: 25.87-31.58 ( $28.29 \pm 2.68$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 10.38-12.12 ( $11.26 \pm 0.66$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.32-2.64 ( $2.51 \pm 0.14$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 21.78-23.41 ( $22.62 \pm 0.76$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, epilítica (Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

***Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschkowsky** (Figs. 4W1-W5, 5I)

Sin. *Navicula pupula* (Kützing).

Descripción: valvas elípticas con extremos ligeramente rostrados o redondeados. Rafe filiforme. Área central amplia, como fascia; área axial estrecha y lineal. Estrías radiales. En las muestras revisadas, fue posible observar cinco morfotipos de acuerdo a la caracterización realizada por Mann (1999): "small" (Fig. 4W5), "capitate" (Fig. 4W2), "obese" (Fig. 4W4), "neat" (Fig. 4W3) y "rectangular" (Figs. 4W1, 5I). Longitud: 14.19-50.20 ( $23.80 \pm 11.81$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.20-10.03 ( $6.34 \pm 2.06$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.20-5.01 ( $3.64 \pm 0.59$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 17.41-19.24 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Michoacán (Alvarado, 2003; Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, metafítica, planctónica, epilítica (Alvarado, 2003; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel  
 SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann  
 ORDEN NAVICULALES Bessey  
 SUBORDEN SELLAPHORINEAE D. G. Mann  
 FAMILIA PINNULAREACEAE D. G. Mann

***Pinnularia acrosphaeria* W. Smith** (Fig. 4 U)

Sin. Non *Frustulia acrosphaeria* Brébisson 1838 nec *Pinnularia acrosphaeria* W. Smith 1853.

Descripción: valvas lineales, ligeramente más anchas en la parte media y extremos ampliamente redondeados. Rafe lineal, con extremos en forma de gancho. Áreas central y axial amplias, ambas con una ornamentación irregular. Estrías estrechas, ligeramente radiales en el centro, paralelas hacia los extremos. Longitud: 57.75  $\mu\text{m}$ ; ancho: 10.94  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 5.28  $\mu\text{m}$ ; estrías: 11.10 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.



Distribución en México: Michoacán (Alvarado, 2003); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, metafítica, planctónica (Alvarado, 2003; Novelo *et al.*, 2007).

***Pinnularia interrupta* W. Smith** (Fig. 4 V)

Sin. *Pinnularia mesolepta* (Ehrenberg) W. Smith; *Pinnularia biceps* Gregory; *Pinnularia bicapitata* (Lagerstedt) Cleve.

Descripción: valvas lineales con extremos subcapitados. Rafe filiforme. Área axial angosta; área central amplia, con forma de rombo. Estrías centrales radiales, convergentes en los extremos. Longitud: 52.13  $\mu\text{m}$ ; ancho: 9.52  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 5.48  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9.79 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, perifítica (Cantoral, 1997; Segura, 2011).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel  
SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann  
ORDEN NAVICULALES Bessey  
SUBORDEN DIPLONEIDINEAE D. G. Mann  
FAMILIA DIPLONEIDACEAE D. G. Mann

***Diploneis pseudovalis* Hustedt** (Fig. 3 M)

Descripción: valvas elípticas, con extremos redondeados. *Conopeum* angosto, lineal, semi-recto, en el centro de la valva. Área central amplia, redondeada. Estrías gruesas, radiales y punteadas. Longitud: 17.97-22.63 (20.39  $\pm$  2.33)  $\mu\text{m}$ ; ancho: 11.04-13.60 (12.26  $\pm$  1.28)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 1.63-1.69 (1.66  $\pm$  0.03)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10.98-11.62 (11.28  $\pm$  0.32) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupicuaro, Ichupio, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, planctónica, epilítica (Cantoral, 1997; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

***Diploneis puella* (Schumann) Cleve** (Fig. 2 D)

Sin. *Navicula puella* Schumann; *Navicula elliptica* var. *minutissima* Grunow in Van Heurck 1880.

Descripción: valvas elípticas, con extremos redondeados. *Conopeum* angosto, lineal. Área central angosta. Estrías gruesas, radiales. Longitud: 9.83  $\mu\text{m}$ ; ancho: 7.32  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 1.34  $\mu\text{m}$ ; estrías: 15.36 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Las Urandenas.

Distribución en México: Michoacán (Ortega, 1984).

Afinidades ambientales en México: Epífita (Ortega, 1984).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel  
SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann  
ORDEN NAVICULALES Bessey  
SUBORDEN NAVICULINEAE Hendey  
FAMILIA NAVICULACEAE Kützing

***Navicula antonii* Lange-Bertalot in U. Rumrich, Lange-Bertalot & M. Rumrich** (Fig. 2 R)

Sin. *Navicula menisculus* var. *grunowii* Lange-Bertalot; *Navicula menisculus* var.? Grunow in Van Heurck, 1880; *Navicula menisculus* auct. non Schumann.

Descripción: valvas ampliamente lanceoladas, con extremos cuñados, ligeramente proyectados. Rafe filiforme. Área axial angosta; área central pequeña y con forma irregular. Estrías radiadas en toda la valva, excepto en los extremos, donde son paralelas a ligeramente convergentes. Longitud: 14.66-17.95 (16.59  $\pm$  1.08)  $\mu\text{m}$ ; ancho: 6.03-6.15 (6.17  $\pm$  0.24)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.20-3.09 (2.69  $\pm$  0.25)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 14.34-15.95 (15.16  $\pm$  0.48) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupicuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Michoacán (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Navicula capitatoradiata* Germain** (Fig. 4 N)

Sin. *Navicula cryptocephala* var. *intermedia* Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula salinarum* var. *intermedia* (Grunow) Cleve.

Descripción: valvas lanceoladas a elíptico-lanceoladas, extremos rostrado-capitados a capitados. Rafe filiforme. Área axial angosta; área central pequeña, formada por el acortamiento irregular de las estrías centrales. Estrías radiales en el centro, convergentes en los polos. Longitud: 31.10  $\mu\text{m}$ ; ancho: 8.07  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.85  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12.78 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Estado de México (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, metafítica, epífita, epilítica (Cantoral, 1997; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot** (Fig. 4 M)

Sin. *Navicula tenella* Brébisson ex Kützing 1849 *sensu* Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula radiosa* var. *tenella* (Brébisson ex Kützing) Van Heurck.

Descripción: valvas lanceoladas, con extremos agudos y redondeados. Rafe filiforme. Área axial lineal, angosta; el área central muy angosta, delimitada por estrías centrales, pequeñas, las cuales son radiales en el centro, convergentes en los extremos. Estrías radiales en el centro, de las cuales, 2 ó 3 son más cortas y desiguales; convergentes en los extremos. Longitud: 20.74-33.91 (23.35  $\pm$  1.03)  $\mu\text{m}$ ; ancho:

5.61-6.81 ( $6.24 \pm 0.31$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.24-5.26 ( $3.74 \pm 0.24$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13.14-15.74 ( $14.58 \pm 0.56$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupicuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Estado de México, Michoacán, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, metafítica, epifítica, epilítica (Cantoral, 1997; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

#### ***Navicula erifuga* Lange-Bertalot (Fig. 3 P)**

Sin. *Navicula leptoccephala* Brébisson ex Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula cincta* var. *leptoccephala* (Brébisson) Van Heurck; *Navicula heufferi* var. *leptoccephala*; *Navicula cinctaeformis* Hustedt sensu Cholnoky.

Descripción: valvas elíptico-lanceoladas, con extremos agudo-redondeados. Rafe filiforme. Área axial angosta; área central asimétrica. Pequeñas estrías radiales en el centro, convergentes en los polos. Longitud: 32.17  $\mu\text{m}$ ; ancho: 6.26  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 5.14  $\mu\text{m}$ ; estrías: 14.62 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Estado de México, Michoacán, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, metafítica, epilítica (Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

#### ***Navicula libonensis* Schoeman (Fig. 3 R)**

Sin. *Navicula viridula* var. *pamirensis* Hustedt; *Navicula schubartii* var. *africana* Archibald.

Descripción: valvas lanceoladas con extremos redondeados. Rafe filiforme a ligeramente lateral. Área axial angosta; área central asimétrica. Estrías débilmente radiales. Longitud: 31.77  $\mu\text{m}$ ; ancho: 7.29  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 4.36  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12.28 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011).

#### ***Navicula radiosa* Kützing (Fig. 3 A)**

Descripción: valvas lineal-lanceoladas con extremos redondeados. Área axial estrecha; área central elíptica. Estrías radiales en el centro, convergentes en los extremos. Longitud: 69.75  $\mu\text{m}$ ; ancho: 12.37  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 5.64  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9.53 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio.

Distribución en México: Michoacán (Ortega, 1984; Alvarado, 2003); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, epipélica, metafítica (Cantoral, 1997; Ramírez, 2002; Alvarado, 2003; Novelo *et al.*, 2007).

#### ***Navicula recens* Lange-Bertalot in Krammer *et* Lange-Bertalot (Fig. 2 S)**

Sin. *Navicula cari* var. *recens* Lange-Bertalot.

Descripción: valvas elíptico-lanceoladas a lineal-lanceoladas, con extremos agudos a redondeados. Rafe filiforme. Área axial angosta; área central redonda. Estrías radiales, ligeramente convergentes en los extremos. Longitud: 16.66-18.26 ( $17.45 \pm 0.59$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5.41-5.91 ( $5.59 \pm 0.18$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.03-3.29 ( $3.12 \pm 0.09$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 14.57-16.16 ( $15.34 \pm 0.62$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupicuaro, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Michoacán, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

#### ***Navicula symmetrica* Patrick (Fig. 4 Ñ)**

Descripción: valvas lineal-elípticas a lineal-lanceoladas, con extremos redondeados. Rafe filiforme. Área axial estrecha, área central asimétrica, redondeada. Estrías radiales en toda la valva. Longitud: 31.67-35.7 ( $34.28 \pm 1.49$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 6.36-7.25 ( $6.89 \pm 0.33$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 4.88-5.22 ( $5 \pm 0.17$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13.64-15.17 ( $14.24 \pm 0.64$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupicuaro, Ichupio, Janitzio.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

#### ***Navicula veneta* Kützing (Figs. 4 K, 5 C)**

Sin. *Navicula cryptocephala* var. *veneta* (Kützing) Rabenhorst; *Navicula cryptocephala* var. *subsalina* Hustedt; (?) *Navicula lancettula* Schumann.

Descripción: valvas lanceoladas, angostas, con extremos ligeramente rostrados. Rafe filiforme. Área axial lineal, estrecha; área central transversa. Estrías centrales, radiales, polos convergentes. Longitud: 16.91-35.08 ( $21.82 \pm 2.82$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3.90-6.22 ( $4.77 \pm 0.62$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.12-7.49 ( $4.65 \pm 0.90$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12.74-23.87 ( $20.86 \pm 3.87$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Michoacán, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Navicula wendingii* Lange-Bertalot, G. Hofmann *et* Van de Vijver** (Fig. 3 G)

Descripción: forma similar a *N. veneta*. Valvas lanceoladas, angostas con extremos rostrados. Rafe filiforme. Área axial lineal, estrecha; área central transversa. Estrías ligeramente radiales en el centro, paralelas en los extremos. Longitud: 19.83-23.59 ( $22.30 \pm 1.48$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 5.24-6.22 ( $5.74 \pm 0.37$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.19-4.28 ( $5.13 \pm 1.11$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 14.86-15.52 ( $15.21 \pm 0.30$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

Taxones de géneros erigidos en fecha posterior a la publicación de la clasificación de Round *et al.* (1990).

***Hippodonta capitata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin *et* Witkowski** (Fig. 2 D')

Sin. *Navicula capitata* Ehrenberg; (?) *Navicula humilis*; *Pinnularia capitata* Ehrenberg.

Descripción: valvas rómbico-lanceoladas, extremos ampliamente redondeados. Rafe filiforme, área axial angosta, área central pequeña. Estrías anchas, radiales en el centro, convergentes en los extremos. Longitud: 18.64-28.03 ( $23.46 \pm 2.98$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 6.13-6.90 ( $6.48 \pm 0.28$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.91-4.09 ( $3.61 \pm 0.42$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 8.62-10.24 ( $9.27 \pm 0.51$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN NAVICULALES Bessey

FAMILIA STAURONEIDACEAE D. G. Mann

***Craticula fumantii* Lange-Bertalot, Cavacini, Tagliaventi *et* Alfinito** (Fig. 3 X)

Descripción: valvas elíptico-lanceoladas con extremos capitados. Rafe filiforme. Área axial amplia; área central pequeña. Estrías paralelas, conformadas por poros. Longitud: 57.94  $\mu\text{m}$ ; ancho: 16.33  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.55  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13.72 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN THALASSIOPHYSALES D. G. Mann

FAMILIA CATENULACEAE Mereschkowsky

***Amphora montana* Krasske** (Fig. 4 J)

Sin. *Amphora submontana* Hustedt; *Amphora montana* Krasske.

Descripción: valvas semi-lanceoladas con extremos redondeados; margen dorsal ligeramente arqueado; margen ventral algo convexo. Rafe ligeramente arqueado. Área axial estrecha. Estrías dorsales y ventrales no visibles al MO. Longitud: 17.13  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3.75  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 4.58  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Valle de México (Ramírez, 2002).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Ramírez, 2002).

***Amphora ovalis* (Kützing) Kützing** (Fig. 2 T)

Sin. *Frustulia ovalis* Kützing; *Amphora gracilis* Ehrenberg.

Descripción: valvas semi-elípticas, margen dorsal ligeramente arqueado; margen ventral ligeramente cóncavo. Extremos redondeados. Área axial estrecha y lineal. Rafe filiforme. Estrías punteadas, ligeramente radiales en el centro, paralelas en los extremos. Longitud: 26.52-33.75 ( $29.85 \pm 3.64$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 6.78-7.55 ( $7.21 \pm 0.39$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.63-4.47 ( $4.14 \pm 0.44$ )  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Hidalgo, Jalisco (Ortega, 1984); Michoacán (Alvarado, 1996; 2003); San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

Afinidades ambientales en México: Planctónica, perifítica (Ortega, 1984; Alvarado, 1996; 2003; Cantoral, 1997).

***Amphora veneta* Kützing** (Fig. 3 T)

Descripción: valvas semi-elípticas con polos sub-rostrados. Margen dorsal muy arqueado; margen ventral casi recto. Rafe recto, área axial amplia; área central ausente. Estrías dorsales radiales. Longitud: 16.91-35.08 ( $21.82 \pm 2.82$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3.90-6.22 ( $4.77 \pm 0.62$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.12-7.49 ( $4.65 \pm 0.90$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12.74-23.87 ( $20.86 \pm 3.87$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio

Distribución en México: Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Perifítica, metafítica, epilítica (Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN BACILLARIALES Hendey

FAMILIA BACILLARIACEAE Ehrenberg

***Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) W. Smith** (Fig. 4 T)

Sin. *Eunotia amphioxys* Ehrenberg.

Descripción: valvas lineal-curvadas, con ápices rostrados a capitados. Margen dorsal ligeramente curvado; margen ventral cóncavo.

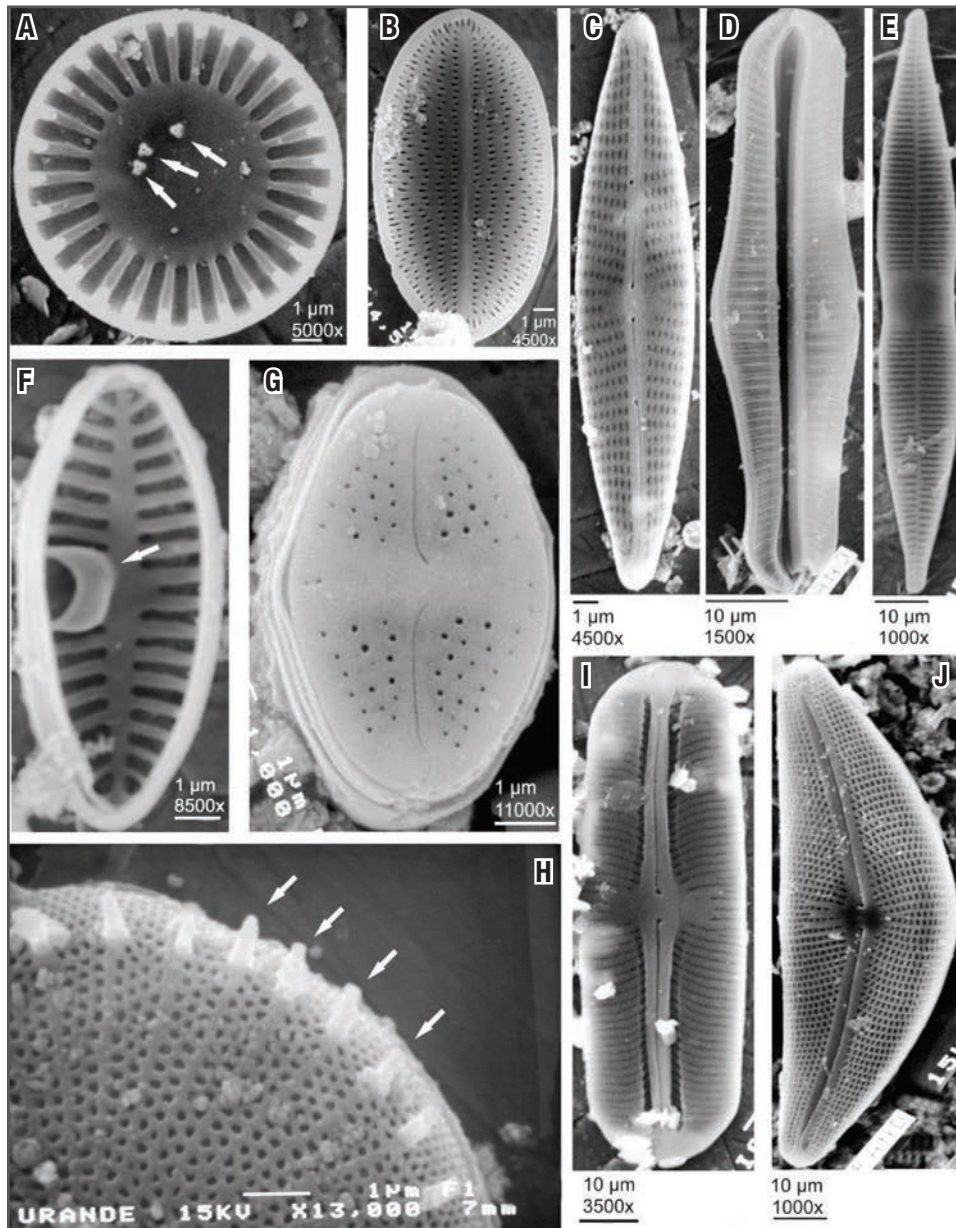


vo, con una constricción en la parte central. Rafe excéntrico. Estrías transversales; fíbulas interrumpidas por un nódulo central. Longitud: 34.49-124.74 ( $56.30 \pm 8.48$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 6.42-10.24 ( $7.89 \pm 1.01$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 5.37-12.19 ( $7.19 \pm 1.21$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 15.37-19.03 ( $17.12 \pm 1.38$ ) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 5.89-11.49 ( $7.32 \pm 1.65$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Coahuila, Hidalgo (Ortega, 1984); Michoacán (Ortega, 1984; Alvarado, 2003); Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011); Valle de México (Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Aerófila facultativa, metafítica, epilítica, planctónica, perifítica (Ortega, 1984; Ramírez, 2002; Alvarado, 2003; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).



Figuras 5A-J. **A)** *Stephanocyclus meneghiniana* (Kützing) Skabitschevsky. Las flechas señalan los procesos satelitales. **B)** *Cocconeis euglypta* Ehrenberg. **C)** *Navicula veneta* Kützing. **D)** *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller (vista cingular). **E)** *Ulnaria gouldarii* (Brébisson) Lange-Bertalot. **F)** *Planothidium frequentissimum* Lange-Bertalot. Vista interna de la valva sin rafe. La flecha señala el cavum. **G)** *Luticola mutica* (Kützing) Mann. **H)** *Stephanodiscus hantzschii* Grunow. Las flechas señalan las espinas en el margen valvar. **I)** *Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschowsky (morfitipo "rectangular"). **J)** *Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve.

***Nitzschia amphibia* Grunow** (Fig. 4 A)

Descripción: valvas lineal-lanceoladas, con extremos redondeados a subcapitados. Estrías visiblemente punteadas. Longitud: 10.91-42.28 ( $16.59 \pm 5.20$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2.86-4.99 ( $4.00 \pm 0.72$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.52-9.60 ( $4.20 \pm 1.35$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 6.65-17.42 ( $10.54 \pm 2.20$ ) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 16.03-26.53 ( $19.23 \pm 3.83$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: México (Ortega, 1984); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Michoacán (Alvarado, 2003; Segura, 2011); Estado de México, Guanajuato, Querétaro (Segura, 2011); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, metafítica, perifítica, planctónica (Cantoral, 1997; Ramírez, 2002; Alvarado, 2003; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Nitzschia amphibia* f. *frauenfeldii* (Grunow) Lange-Bertalot** (Fig. 4 R)

Sin. *Bacillaria frauenfeldii* Grunow; *Nitzschia amphibia* var. *elongata* Grunow in Cleve & Möller 1879; *Nitzschia amphibia* var. *frauenfeldii* Grunow in Van Heurck 1881; (?) *Nitzschia denticuloides* Hustedt.

Descripción: morfología similar a *N. amphibia*. La única diferencia de ésta con la variedad nominal es su dimensión, puesto que es más larga. Longitud: 67.61-75.01  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3.77-4.57  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 16.41-17.94  $\mu\text{m}$ ; estrías: 16.78-17.15 en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 6.67-8.51 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Ichupio, Janitzio.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Nitzschia clausii* Hantzsch** (Fig. 3 U)

Sin. (?) *Nitzschia sigma* var. *curvula* (Ehrenberg) Brun; *Nitzschia sigma* var. *clausii* (Hantzsch) Grunow.

Descripción: valvas lineales, ligeramente sigmoides, márgenes más o menos paralelos, con extremos asimétricos, rostrado-capitados. Rafe marginal. Estrías muy finas, difícilmente visibles al MO. Fíbulas claramente visibles. Longitud: 29.54-33.02 ( $31.11 \pm 1.59$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.27-4.88 ( $4.57 \pm 0.22$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 6.10-7.74 ( $6.82 \pm 0.56$ )  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 6.15-10.73 ( $8.96 \pm 1.54$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Estado de México, Michoacán, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epipélica, epilítica, perifítica (Cantoral, 1997; Ramírez, 2002; Segura, 2011).

***Nitzschia communis* Rabenhorst** (Fig. 3 V)

Descripción: valvas lineales con extremos ampliamente redondeados. Estrías muy finas, difícilmente visibles al MO. Fíbulas relativamente grandes. Longitud: 27.65-36.13 ( $31.31 \pm 4.02$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 4.25-5.20 ( $4.73 \pm 0.36$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 6.19-7.14 ( $6.59 \pm 0.43$ )  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 8.85-11.62 ( $10.09 \pm 1.00$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Perifítica (Novelo *et al.*, 2007).

***Nitzschia dissipata* var. *dissipata* (Kützing) Grunow** (Fig. 3 S)

Descripción: valvas lineales con extremos subcapitados. Estrías muy finas, difícilmente visibles al MO. Fíbulas grandes y espaciadas. Longitud: 29.41-47.73 ( $39.92 \pm 6.93$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3.85-4.71 ( $4.26 \pm 0.28$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 6.24-12.10 ( $9.45 \pm 2.09$ )  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 7.23-10.00 ( $8.60 \pm 0.97$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

Afinidades ambientales en México: Perifítica (Cantoral, 1997).

***Nitzschia filiformis* (W. Smith) Van Heurck** (Fig. 4 Q)

Descripción: valvas lineal-lanceoladas, ligeramente sigmoideas, con extremos ampliamente redondeados. Rafe excéntrico. Estrías difícilmente visibles. Longitud: 55.54-64.25 ( $65.92 \pm 9.24$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3.63-5.38 ( $4.58 \pm 0.75$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 11.25-17.71 ( $14.72 \pm 3.46$ )  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 6.33-10.53 ( $8.37 \pm 1.71$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011).

***Nitzschia fonticola* Grunow in Cleve & Möller** (Fig. 3 W)

Sin. *Nitzschia (palea var.?) fonticola* Grunow in Cleve & Möller 1879 (Nr. 174); *Nitzschia fonticola* (Grunow) Grunow in Van Heurck 1881; *Nitzschia kuetzingiana* var. *romana* (Grunow) Grunow in Van Heurck 1881; (?) *Nitzschia minima* Meister; *Nitzschia macedonica* Hustedt; *Nitzschia subromana* Hustedt; *Nitzschia manca* Hustedt pro parte (lconotypus); entre otros sinónimos.

Descripción: valvas lineal-lanceoladas con extremos subcapitados. Rafe marginal. Estrías transapicales marcadamente visibles. Fíbulas visibles y gruesas. Longitud: 12.89-34.29 ( $21.73 \pm 5.33$ )  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2.90-4.31 ( $3.60 \pm 0.55$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 4.45-10.47 ( $5.96 \pm 0.86$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 21.99-28.65 ( $26.16 \pm 2.27$ ) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 8.08-14.26 ( $11.19 \pm 1.70$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.



Distribución en México: Estado de México, Michoacán, Guanajuato, Querétaro (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011).

***Nitzschia gracilis* Hantzsch** (Fig. 4 P)

Sin. *Nitzschia graciloides* Hustedt 1953 non 1959.

Descripción: valvas lineal-lanceoladas con extremos subcapitados. Estrías tenues, difícilmente visibles al MO. Fíbulas marcadamente visibles. Longitud: 78.06  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3.42  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 22.83  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 13.64 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, metafítica, planctónica (Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Nitzschia inconspicua* Grunow** (Fig. 4 I)

Sin. *Nitzschia (perpusilla)* Rabenhorst var. *inconspicua* Grunow in Cleve & Möller 1878; *Nitzschia frustulum* var. *inconspicua* Grunow in Van Heurck 1881; (?) *Nitzschia invisitata* Hustedt; *Nitzschia perpusilla sensu auct. nonnull.* (excl. Typus).

Descripción: valvas elípticas a lineal-lanceoladas, con extremos ampliamente redondeados. Estrías transapicales visibles; las fíbulas centrales más espaciadas que en los extremos. Longitud: 6.76-9.78 (8.12  $\pm$  1.07)  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2.48-3.43 (2.85  $\pm$  0.29)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 2.02-3.65 (5.85  $\pm$  8.68)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 25.38-27.31 (26.25  $\pm$  0.74) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 11.54-14.62 (13.31  $\pm$  0.93) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, metafítica, planctónica, perifítica (Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

***Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith** (Fig. 4 B)

Descripción: valvas lineales a lineal-lanceoladas, con extremos atenuados y ápices agudamente redondeados o subcapitados. Estrías transapicales poco visibles al MO, fíbulas equidistantes, marcadamente visibles. Longitud: 17.83-55.38 (20.73  $\pm$  2.03)  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2.94-5.23 (3.30  $\pm$  0.31)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 4.96-11.63 (6.34  $\pm$  0.99)  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 10.20-17.40 (15.50  $\pm$  1.01) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Ichupio, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Michoacán (Alvarado, 2003; Segura, 2011); Estado de México, Guanajuato, Querétaro (Segura, 2011); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, epipélica, planctónica, perifítica (Cantoral, 1997; Ramírez, 2002; Alvarado, 2003; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

***Nitzschia recta* Hantzsch in Rabenhorst** (Fig. 3 O)

Descripción: valvas lineal-lanceoladas, con extremos atenuados y ápices agudamente redondeados o subcapitados. Estrías no visibles al MO. Fíbulas muy espaciadas, marcadamente visibles. Longitud: 45.58-66.41 (63.41  $\pm$  11.10)  $\mu\text{m}$ ; ancho: 3.64-4.47 (4.07  $\pm$  0.29)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 11.36-15.39 (15.56  $\pm$  2.70)  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 6.88-9.39 (8.17  $\pm$  1.11) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio, Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Nitzschia subacicularis* Hustedt in A. Schmidt** (Fig. 3 Ñ)

Sin. (?) *Nitzschia striolata* Hustedt 1938; *Nitzschia subrostrata* Hustedt 1942; *Nitzschia radícula* var. *rostrata* Hustedt 1950 *pro parte*; *Nitzschia rostrellata sensu auct. nonnull.* (excl. Lectotypus).

Descripción: valvas lineales con extremos agudos, ligeramente redondeados. Estrías difícilmente visibles al MO. Fíbulas muy cortas y estrechas, marcadamente visibles. Longitud: 74.87  $\mu\text{m}$ ; ancho: 2.63  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 28.43  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 14.88 en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Las Urandenas.

Distribución en México: Primer registro para México.

Afinidades ambientales en México: Perifítica (presente estudio).

***Nitzschia umbonata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot** (Fig. 4 S)

Sin. *Navicula umbonata* Ehrenberg; *Suriella thermalis* Kützing (= *Synedra thermalis* Kützing in litt.); *Nitzschia thermalis sensu Grunow*; *Nitzschia stagnorum* Rabenhorst; *Nitzschia thermalis* var. *serians* (Rabenhorst) Grunow (= "*Synedra serians* Brébisson" Rabenhorst, Alg. Sachsens 482); *Suriella multifasciata* (Kützing 1833) Kützing *pro parte*; *Nitzschia diducta* Hustedt; *Nitzschia fossalis* Hustedt.

Descripción: valvas lanceoladas a lineales con márgenes paralelos y extremos rostrados a ligeramente capitados; rafe marginal. Estrías transapicales, más espaciadas en la porción central. Fíbulas espaciadas, marcadamente visibles. Longitud: 58.51-92.64 (73.31  $\pm$  12.39)  $\mu\text{m}$ ; ancho: 7.88-8.69 (8.41  $\pm$  0.33)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 6.76-10.67 (8.72  $\pm$  1.38)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 21.99-25.31 (23.14  $\pm$  1.35) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 7.45-10.82 (9.33  $\pm$  1.31) en 10  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007); Estado de México, Guanajuato, Querétaro (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, perifítica (Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011; Segura *et al.*, 2012).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Heckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN RHOPALODIALES D. G. Mann

FAMILIA RHOPALODIACEAE (Karsten) Topachevs'kyj *et*

Oksiyuk

***Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson** (Fig. 4 D)

Sin. *Epithemia zebra* (Ehrenberg) Kützing; *Frustulia adnata* Kützing; *Eunotia zebra* (Ehrenberg) Ehrenberg; *Epithemia kurzeana* Rabenhorst.

Descripción: valvas arqueadas, con extremos redondeados a capitados; margen dorsal convexo; margen ventral cóncavo. Rafe arqueado. Costillas gruesas, radiales. Longitud: 43.49-68.86 (55.35 ± 7.83) µm; ancho: 9.60-11.11 (10.27 ± 0.60) µm; relación longitud/ancho: 4.47-6.20 (5.38 ± 0.66) µm; estrías: 8.97-15.72 (12.28 ± 2.21) en 10 µm; costillas: 13.86-36.12 (37.03 ± 7.91) en 100 µm.

Distribución local: Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

Afinidades ambientales en México: Perifítica (Cantoral, 1997)

***Epithemia sorex* Kützing** (Fig. 2 U)

Descripción: valvas arqueadas con extremos ligeramente rostrados; margen ventral ligeramente cóncavo a recto; margen dorsal convexo. Rafe arqueado; vértice central del rafe cercano al margen dorsal. Costillas radiales; dos hileras de areolas entre las costillas. Longitud: 27.22-31.83 (28.94 ± 0.88) µm; ancho: 7.73-10.11 (8.75 ± 0.53) µm; relación longitud/ancho: 2.94-4.00 (3.31 ± 0.17) µm; estrías: 12.81-18.76 (14.70 ± 2.07) en 10 µm; costillas: 61.91-77.96 (71.23 ± 4.29) en 100 µm.

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Puebla (Ortega, 1984); Michoacán (Alvarado, 1996, 2003); Estado de México (Segura, 2011); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, metafítica, planctónica, perifítica (Ortega, 1984; Alvarado, 1996, 2003; Novelo *et al.*, 2007; Segura, 2011).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN RHOPALODIALES D. G. Mann

FAMILIA RHOPALODIACEAE (Karsten) Topachevs'kyj y Oksiyuk

***Rhopalodia brebissonii* Krammer** (Fig. 3 I)

Sin. *Rhopalodia musculus* var. *succincta* sensu H. & M. Peragallo 1897-1908; *Rhopalodia gibberula* var. *succincta* sensu Fricke 1905 in A. Schmidt *et al.*, 253: 23-28.

Descripción: valvas con margen dorsal curvo; margen ventral recto, extremos capitados. Estrías transapicales. Costillas paralelas en el centro de la valva, ligeramente radiales en los extremos. Longitud: 22.36-27.24 (24.67 ± 1.35) µm; ancho: 5.12-6.69 (5.75 ± 0.32) µm; relación longitud/ancho: 3.72-4.84 (4.30 ± 0.32) µm; estrías: 16.51-18.94 (18.23 ± 0.83) en 10 µm; costillas: 40.00-50.44 (46.98 ± 6.33) en 100 µm.

Distribución local: Chupícuaro, Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Estado de México, Guanajuato, Querétaro (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica (Segura, 2011).

***Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller** (Figs. 4 C, 5 D)

Descripción: valvas lineales, con extremos agudos y curvados; región dorsal ligeramente curvada; región ventral recta. Estrías formadas por poros. Costillas paralelas. Longitud: 55.63-82.17 (63.01 ± 11.03) µm; ancho: 7.54-10.17 (8.61 ± 0.73) µm; relación longitud/ancho: 5.08-9.90 (7.35 ± 1.36) µm; estrías: 4.99-12.05 (8.63 ± 1.90) en 10 µm; costillas: 98.36-132.58 (116.81 ± 9.66) en 100 µm.

Distribución local: Janitzio, Las Urandenas. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: Coahuila, Hidalgo (Ortega, 1984); Michoacán (Ortega, 1984; Alvarado, 1996, 2003); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Planctónica, perifítica (Alvarado, 1996, 2003; Ramírez, 2002; Novelo *et al.*, 2007).

CLASE BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE D. G. Mann

ORDEN SURIRELLALES D. G. Mann

FAMILIA SURIRELLACEAE Kützing

***Surirella ovalis* Brébisson** (Fig. 3 Y)

Sin. *Surirella ovalis* sensu Kützing 1844.

Descripción: valvas ampliamente lanceoladas a ovoides; un extremo ampliamente redondeado, el otro más agudo. Eje transapical heteropolar. Estrías radiales. Costillas marginales. Longitud: 38.56 µm; ancho: 24.28 µm; relación longitud/ancho: 1.59 µm; estrías: 14.24 en 10 µm; costillas: 50.92 en 100 µm.

Distribución local: Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Michoacán (Alvarado, 1996, 2003); Estado de México, Guanajuato (Segura, 2011).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, planctónica, perifítica (Alvarado, 1996, 2003; Cantoral, 1997; Segura, 2011).

***Surirella tenera* Gregory** (Fig. 4 H)

Sin. *Surirella diaphana* Bleisch; *Surirella tenera* f. *crystata* Hustedt.

Descripción: valvas heteropolares, un extremo ampliamente redondeado, el otro más agudo. Área axial lineal. Estrías difícilmente visibles al MO. Costillas grandes y espaciadas. Longitud: 119.37  $\mu\text{m}$ ; ancho: 37.05  $\mu\text{m}$ ; relación longitud/ancho: 3.22  $\mu\text{m}$ ; costillas: 22.11 en 100  $\mu\text{m}$ .

Distribución local: Janitzio. Nuevo registro para el área de estudio.

Distribución en México: San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.*, 2007).

Afinidades ambientales en México: Epilítica, planctónica, perifítica (Cantoral, 1997; Ramírez, 2002; Novelo *et al.*, 2007).

## DISCUSIÓN

El lago de Pátzcuaro se encuentra en un proceso de deterioro, ya que prevalece con una condición hipereutrófica generada por numerosas descargas de aguas residuales, tanto de localidades urbanas como rurales, y de agroquímicos, situación que genera la alteración de todos sus parámetros (Vargas & Guzmán, 2009). Los estudios que se han llevado a cabo en este lago han sido con una perspectiva limnológica, ictiológica, etnobiológica, ecosistémica o geológica (Chacón, 1993; Segura, 1997; Israde-Alcántara, 1999; Vargas & Guzmán, 2009; Huerto & Vargas, 2014). Sin embargo, se carece de aquéllos encaminados a un enfoque taxonómico o florístico de comunidades de diatomeas que confirmen que la variabilidad morfológica y morfométrica sea una consecuencia adaptativa a las presiones ambientales a las que este cuerpo de agua ha estado sujeto durante décadas.

El cambio estacional de las comunidades, se pudo constatar por la presencia de aquellas especies en ambas temporadas y en todos los sitios de muestreo, como *Navicula antonii*, *N. cryptotenella* o *Nitzschia palea*. Otras especies, como *Cocconeis lineata*, *Achnanthisidium minutissimum* y *Rhoicosphenia abbreviata* fueron registradas en casi todos los sitios de muestreo, a excepción de *Planothidium frequentissimum*, la cual se presentó solamente en Janitzio (poslurias 2004). Estas diatomeas se han reportado para otras regiones del mundo como sensibles a la contaminación, presentes en aguas oligotróficas a mesotróficas, condiciones que comparten en algunos de los sitios de muestreo (Ichupio y Janitzio), ya que existen numerosos manantiales en esta zona del lago (Cox, 1996; Krammer & Lange-Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange-Bertalot, 2004a, b). El cambio estacional observado en el lago de Pátzcuaro también se puede atribuir a los cambios de concentración de nutrientes según la temporada del año (Chacón, 1993; Segura, 1997; Vargas & Guzmán, 2009; Huerto & Vargas, 2014), sumado a otros factores ecológicos (Wehr & Sheath, 2003). Especies de aguas oligotróficas necesitan un bajo suministro de estos compuestos mientras que las que viven en medios eutróficos demandan mayores concentraciones de éstos (Patrick & Reimer, 1966).

El fenómeno de evapotranspiración es muy marcado entre la época de lluvias y el estiaje, escenario que se refleja en la oscilación del nivel del agua (Chacón, 1993; Segura, 1997; Huerto & Vargas, 2014). Estos cambios de nivel también influyen en la presencia de determinadas especies, tal es el caso de *Luticola mutica* y algunas de los géneros *Amphora* y *Nitzschia*, las cuales toleran variaciones en el

nivel del agua y periodos de desecación, por lo que se les caracteriza como aerófilas y facultativas (Cox, 1996; Wehr & Sheath, 2003).

Parte de las conclusiones del presente estudio, permitieron advertir que la composición de especies de diatomeas perifíticas determinadas para el lago de Pátzcuaro, reflejaron las alteraciones ambientales a las que ha estado sometido este cuerpo de agua durante las últimas décadas.

Es notorio el elevado registro de nuevas especies tanto para México (20) como para el área de estudio (57); sin embargo, es comprensible, ya que no se había realizado anteriormente ninguna descripción taxonómica regional.

Durante la temporada de estudio se encontró una amplia variedad morfológica y morfométrica en especies como *Gomphonema mexicanum*, *Navicula antonii*, *Ulnaria gouldii* y *Sellaphora pupula*. Tales variaciones quizá estén relacionadas con la severa contaminación que predomina en el lago; sin embargo, será necesario efectuar más estudios que permitan correlacionar las condiciones ambientales con la cualidad bioindicadora que poseen las diatomeas.

Es necesario incentivar el interés de estudios taxonómicos y ecológicos de diatomeas en los cuerpos de agua dulce, puesto que al adentrarse en esta línea de investigación se tendrá la posibilidad de detectar problemas ambientales y de elaborar propuestas de planes de manejo sobre este recurso, que hagan óptimo su uso en el país.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se desarrolló como parte del proyecto Uso de las diatomeas y los macroinvertebrados para la evaluación y el monitoreo de la calidad biológica del río Lerma, apoyado por CONACYT con clave SEP2003-CO2-44693. Los autores agradecen a la Dra. Nora Maidana las valiosas sugerencias taxonómicas y al Dr. Luis Giovanni Ramírez Sánchez la elaboración del mapa del área de estudio.

## REFERENCIAS

- ALVARADO, V. R. 1996. Análisis espacio-temporal del fitoplancton en el Lago de Zirahuén, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. U.M.S.N.H. 106 p.
- ALVARADO, V. R. 2003. Dinámica estacional y circadiana del fitoplancton en el Lago de Zirahuén, Michoacán, México. Tesis de Maestría. U.M.S.N.H. 124 p.
- BARRERA, B. N. 1992. Ecogeografía. In: Toledo, V. M., P. Álvarez-Icaza & P. Ávila (Eds.). *Plan Pátzcuaro 2000: Investigación multidisciplinaria para el desarrollo sostenido*. México. pp. 11-35.
- CANTORAL, U. E. 1997. Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes lóticos en la cuenca baja de la Huasteca Potosina. Tesis de Doctorado. UNAM. 201 p.
- CORREA, P. G. 2003. *Atlas geográfico de Michoacán*. Secretaría de Educación Pública en Michoacán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Editora EDDISA. México. 308 p.

- COX, E. J. 1996. *Identification of freshwater diatoms from live material*. Chapman & Hall. Oxford. 158 p. DOI: 10.1017/S0967026296221006
- CHACÓN, T. A. 1993. *Pátzcuaro, un lago amenazado. Bosquejo limnológico*. Editorial Universitaria, UMSNH, México. 144 p.
- EHRlich, A. 1995. Atlas of the inland-water diatom flora of Israel; Flora Palaestina. The Geological Survey of Israel. The Israel Academy of Sciences y Humanities. Israel. 166 p.
- ESTEVA, J. & J. REYES. 2007. IV Hacia una nueva gestión sustentable del agua en Michoacán. Obstáculos para la sustentabilidad regional en Pátzcuaro. In: Ávila, G. P. (Coord.). *Aguas y lagos; una mirada desde lo global hasta lo local*. Secretaría de Cultura. Biblioteca Michoacana. pp: 227-241. Disponible en la página web: <http://www.oikos.unam.mx/CIEco/politica/images/stories/publicaciones/libroaguaylagos2007.pdf>. (Consultado el 25 de octubre de 2014)
- GASSE, F. 1980. Les diatomées lacustres Plio-Pléistocènes du Gadeb (Éthiopie). Systématique, paléoécologie, biostratigraphie. *Revue Algologique, Mémoire hors-série 3*: 249.
- GERMAIN, H. 1981. Flore des Diatomées, Diatomophycées, eux douces et saumâtres du Massif Armoricaín et des contrées voisines d'Europe occidentale. Collection "Faunes et Flores Actuelles". Société Nouvelle des Éditions Boubée. 444 p.
- HUERTO, R. & S. VARGAS (Eds.). 2014. Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro. Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Vol. II. IMTA, CONAGUA, SEMARNAT. 214 p.
- HUTCHINSON, G. E., R. PATRICK & E. S. DEEVEY. 1956. Sediment of lake Patzcuaro, Michoacan, Mexico. *Bulletin of the American Geological Society* 67: pp.1491-1504.
- IBARRA-VAZQUEZ, C. & E. NOVELO. 1997. Diatomeas de Texcala, Puebla. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61: 49-57.
- ISRADE-ALCÁNTARA, I. 1999. Lagos tectónicos y volcánicos de Michoacán. In: Corona Chávez P. e I. Israde-Alcántara (Eds.). Carta geológica del estado de Michoacán. Escala 1:250,000. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas; Departamento de Geología y Mineralogía. Secretaría de Difusión Cultural y Extensión Universitaria. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pp: 46-74.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1997a. Bacillariophyceae 2/1. Teil: Naviculaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 876 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1997b. Bacillariophyceae 2/2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 437 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 2004a. Bacillariophyceae. 2/3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 598 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 2004b. Bacillariophyceae. 2/4. Teil: Achnanthesae Kritische Ergänzungen zu *Achnanthes* s. l., *Navicula* s. str., *Gomphonema*. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 468 p.
- LANGE-BERTALOT, H. 2000. *Iconographia Diatomologica. Annotated diatom micrographs*. Vol.9 (Koeltz). Scientific books. A. R. G. Gantner Verlag K. G. 672 p.
- LANGE-BERTALOT, H. 2001. *Diatoms of Europe. Diatoms of the european inland waters and comparable habitats. Navicula sensu stricto; 10 genera separated from Navicula sensu lato Frustulia*. Vol. 2. Gantner Verlag. K. G. 526 p.
- LAZOS, R. 2007. IV Hacia una nueva gestión sustentable del agua en Michoacán. Proyecto de gestión ambiental de la cuenca del lago de Pátzcuaro. In: Ávila, G. P. (Coord.). *Aguas y lagos; una mirada desde lo global hasta lo local*. Secretaría de Cultura. Biblioteca Michoacana. Disponible en la página web: <http://www.oikos.unam.mx/CIEco/politica/images/stories/publicaciones/libroaguaylagos2007.pdf>. (Consultado el 25 de octubre de 2014).
- LÓPEZ-FUERTE, F. O. & M. C. ALTAMIRANO-CERECEDO. 2011. *Diatomeas bentónicas de los oasis de Baja California Sur*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. HJ032. México. 57 p.
- MEDINA OROZCO L., N. E. GARCÍA CALDERÓN, F. GARCÍA OLIVA & E. IKKONEN. 2011. Evaluación de la desecación del lago de Pátzcuaro Michoacán mediante técnicas de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica. Disponible en la página web: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2011\\_cnch2\\_cartel\\_lmedina2.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2011_cnch2_cartel_lmedina2.pdf). (Consultado el 30 de octubre de 2012)
- METCALFE, S. E. 1988. Modern diatom assemblages in Central Mexico: the role of water chemistry and other environmental factors as indicated by TWINSPAN and DECORANA. *Freshwater Biology* 19: 217-233. DOI: 10.1111/j.1365-2427.1988.tb00344.x
- METCALFE, S. E., F. A. STREET-PERROTT, R. A. PERROTT & D. D. HARKNESS. 1991. Palaeolimnology of the Upper Lerma basin, Central Mexico: A record of climatic change and anthropogenic disturbance since 11,600 yr B.P. *Journal of Paleolimnology* 5: 197-218.
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 1998. *Tropical diatoms of South America I; about 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora*. *Iconographia Diatomologica*. Vol. 5. Koeltz Scientific Books. 695 p.
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 2002. *Diatoms from the "Island Continent" Madagascar*. Gantner Verlag K. G. Germany. 286 p.
- METZELTIN, D., H. LANGE-BERTALOT & F. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2005. *Diatoms of Uruguay; taxonomy-biogeography-diversity*. *Iconographia Diatomologica*. Vol. 15. Gantner Verlag, K. G. Germany. 736 p.
- MORA, D., J. CARMONA & E. A. CANTORAL-URIZA. 2015. Diatomeas epilíticas de la cuenca alta del río Laja, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86(4): 1024-1040. DOI: 10.1016/j.rmb.2015.09.004
- NOVELO, E. 1998. Floras ficológicas del Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias; División de Estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. 599 p.



- NOVELO, E., R. TAVERA & C. IBARRA. 2007. Bacillariophyceae from karstic wetland in Mexico. *Bibliotheca Diatomologica*. By 54. J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhlyung. Berlin. Stuttgart. 136 p.
- OLIVA, M. G., J. G. RAMÍREZ-MARTÍNEZ, G. GARDUÑO-SOLÓRZANO, J. CAÑETAS-ORTEGA & M. ORTEGA. 2005. Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica* 15 (1): 1-26.
- ORTEGA, M. M. 1984. Catálogo de algas continentales recientes de México. Coordinación de la Investigación Científica. UNAM. México. 566 p.
- PATRICK, R. & CH. W. REIMER. 1966. The diatoms of The United States, exclusive of Alaska & Hawaii. 2nd. Pt. *Monographic Series of Academy of Natural Sciences of Philadelphia* No. 13. Vol. 1.
- REICHARDT, E. 1999. Zur revision der gattung *Gomphonema*. Die Arten um *G. affinelinsigne*, *G. angustatum/micropus*, *G. acuminatum* sowie gomphonemoide diatomenn aus dem oberoligozän un Böhmen. *Iconographia Diatomologica*. Vol. 8. Ed. H. Lange-Bertalot. A. R. G. Gantner Verlag K. G. 250 p.
- RAMÍREZ, V. M. 2002. Flora Algal de Ambientes Lóticos en la Zona Occidental de la Cuenca del Valle de México. Tesis de Licenciatura. U.N.A.M. 111 p.
- RAMÍREZ, V. M. & E. CANTORAL. 2003. Flora algal de ríos templados en la zona occidental de la cuenca del Valle de México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 74 (2): 143-194 p.
- RAMÍREZ, V. M., Y. BELTRÁN, M. BOJORGE, J. CARMONA, E. CANTORAL & F. VALADEZ. 2001. Flora Algal del río La Magdalena, Distrito Federal. México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 68: 45-67.
- ROMERO, O. & R. JAHN 2013. Typification of *Cocconeis lineata* and *Cocconeis euglypta* (Bacillariophyta). *Diatom Research* 28 (2): 175-184. DOI: 10.1080/0269249X.2013.770801
- ROUND, F. E., R. M. CRAWFORD & D. G. MANN. 1990. *The diatoms; biology and morphology of the genera*. Cambridge. Great Britain. 747 p.
- RUMRICH, U., H. LANGE-BERTALOT & M. RUMRICH. 2000. *Diatoms of the Andes, from Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego; and two additional contributions*. A. R. G. Gantner Verlag K. G. 672 p.
- SEGURA, G. V. 1997. Ecología reproductiva del pez blanco *Chirostoma estor estor* Jordan, 1879 (Pisces: Atherinidae) del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. Tesis de Maestría en Ecología, ECNB, IPN, 114 p.
- SEGURA, G. V. 2011. Taxonomía y Ecología de las Diatomeas Epilíticas de la Cuenca del Alto Lerma, México. Tesis de Doctorado, UNAM, 149 p.
- SEGURA-GARCÍA V., E. A. CANTORAL-URIZA, I. ISRADE & N. MAIDANA. 2012. Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water quality in the Upper Lerma River, Mexico. *Hidrobiológica* 22 (1): 16-27.
- VALADEZ, F., G. OLIVA, G. VILA CLARA, M. CABALLERO & D. RODRÍGUEZ. 2005. On the presence of *Stephanodiscus niagarae* Ehrenberg in central México. *Journal of Paleolimnology* 34: 147-157. DOI: 10.7550/rmb.32706
- VARGAS, S. 2007. IV Hacia una nueva gestión sustentable del agua en Michoacán. Cultura del agua y sociedad en la recuperación del lago de Pátzcuaro. *In: Ávila, G. P. (Coord.). Aguas y lagos; una mirada desde lo global hasta lo local*. Secretaría de Cultura. Biblioteca Michoacana. pp: 243-257. Disponible en la página web: <http://www.oikos.unam.mx/CIeco/politica/images/stories/publicaciones/libroaguaylagos2007.pdf>. (Consultado el 25 de octubre de 2014)
- VARGAS, S. & N. B. GUZMÁN RAMÍREZ. 2009. Deterioro de la cuenca del lago de Pátzcuaro, cambios en la identidad étnica p'urhépecha. *XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología*. Asociación Latinoamericana de Sociología. Buenos Aires. 15 p.
- WEHR, J. D. & R. G. SHEATH. 2003. Freshwater habitats of algae. *In: Wehr, J. D. & R. G. Sheath (Eds.). Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. Academic Press. pp. 11-59.

**Recibido:** 12 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 21 de noviembre de 2015.



## Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México

## Diversity of epilithic diatoms communities related to physico-chemical parameters in the headwaters of the Zinapécuaro River, Mexico

Virginia Segura-García,<sup>1</sup> José Salvador Almanza Álvarez<sup>1</sup> y Javier Ponce-Saavedra<sup>2</sup><sup>1</sup> 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<sup>2</sup> Laboratorio de Entomología "Bíol. Sócrates Cisneros Paz". Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edif. B4 2o. Piso. Ciudad Universitaria. Morelia, Michoacán. 58040. México  
e-mail: virsegura@gmail.comSegura-García V., J. S. Almanza Álvarez y J. Ponce-Saavedra 2016. Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México. *Hidrobiológica* 26 (2): 187-202.

## RESUMEN

**Antecedentes.** La cuenca del río Zinapécuaro presenta un alto grado de contaminación proveniente de diversas actividades económicas que se desarrollan en la zona, situación que ha generado un marcado deterioro ambiental. Desafortunadamente no existen estudios de la calidad del agua en este río y se desconoce el tipo de contaminantes presentes y las fuentes emisoras. **Objetivos.** Estudiar la comunidad de diatomeas epilíticas de la cabecera del río Zinapécuaro, Michoacán, México. **Métodos.** La recolecta se llevó a cabo durante un ciclo anual y se realizaron cuatro muestreos. **Resultados.** Fueron identificadas 70 especies pertenecientes a las clases Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae y Bacillariophyceae, esta última fue representada con 62 taxones. Las especies comunes en todos los sitios fueron *Achnanthydium exiguum*, *A. minutissimum*, *Encyonema silesiacum*, *Eolimna subminuscula*, *Frustulia latita*, *F. neomundana*, *Gomphonema lagenula*, *Navicula rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *Planothidium frequentissimum*, *P. lanceolatum* y *Rhopalodia brebisonii*. Las especies presentes en sitios con mayor grado de eutrofización fueron *Navicula germainii*, *N. recens*, *N. rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *N. inconspicua* y *Planothidium lanceolatum*. **Conclusiones.** Mediante estimadores no paramétricos se encontró que la riqueza específica obtenida fue de 80.5 a 89.7% de la riqueza esperada. El análisis de rarefacción indicó que el esfuerzo de muestreo para representar la riqueza del área de estudio y los sitios seleccionados fue suficiente, excepto para el manantial y el río Yerbabuena en la época de lluvias (2013) y el manantial de la Yerbabuena en la época de estiaje (2013), en los que se requeriría un tamaño de muestra más grande. La mayor diversidad, estimada con el índice Shannon-Wiener, se presentó en Las Orquídeas (época de lluvias 2013). El análisis por temporadas mediante ANOSIM no mostró diferencia estadística significativa en similitud ( $p > 0.05$ ) entre ellas; mientras que para sitios/temporadas sí hubo diferencias en los valores de similitud de Bray-Curtis. Las diferencias de distribución a nivel temporal y espacial se asociaron a diferencias en profundidad, nitritos, amonio, pH y dureza total.

**Palabras clave:** Análisis de diversidad, Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, eutrofización, Fragilariophyceae.

## ABSTRACT

**Background.** The Zinapécuaro River basin has a high level of pollution coming from different economic activities that take place in the area, which have caused noticeable environmental damage. Unfortunately, there are no studies of the water quality of this river and thus we have no information regarding what current pollutants are present or their emitting sources. **Goals.** We studied the epilithic diatom community of the headwaters of the Zinapécuaro River, Michoacán, Mexico. **Methods.** Samples were collected at four stages during a one-year period. **Results.** Seventy species pertaining to the classes Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae, and Bacillariophyceae were identified. The latter had 62 taxa. The species found at all of the sampling sites were *Achnanthydium exiguum*, *A. minutissimum*, *Encyonema silesiacum*, *Eolimna subminuscula*, *Frustulia latita*, *F. neomundana*, *Gomphonema lagenula*, *Navicula rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *Planothidium frequentissimum*, *P. lanceolatum*, and *Rhopalodia brebisonii*. Among the species found at the sites, the ones with the highest degree of eutrophication are *Navicula germainii*, *N. recens*, *N. rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *N. inconspicua*, and *Planothidium lanceolatum*. **Conclusions.** Using nonparametric estimators, we found that observed species richness represented 80.5 to 89.7% of the expected richness. Rarefaction analysis indicated that the sampling effort was enough to represent the species richness in the study area and at the selected sites, except at a spring and at the Yerbabuena River during the rainy season (2013), and the Yerbabuena spring during the dry season (2013), where a greater number of samples would be needed. The greatest diversity, estimated with the Shannon-Wiener index, was found at Las Orquídeas during the rainy season of 2013. Seasonal analysis using ANOSIM showed no statistically significant differences ( $p > 0.05$ ), whereas Bray-Curtis similarity values did show statistically significant differences. Spatial and temporal distribution differences were associated with the differences in depth, nitrites, ammonium, pH, and total water hardness.

**Key words:** Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, diversity analysis, eutrophication, Fragilariophyceae.

## INTRODUCCIÓN

El municipio de Zinapécuaro se caracteriza por diversas actividades económicas entre las que sobresalen la elaboración de pan, la alfarería, las prácticas agrícolas, frutícolas, madereras y, en menor escala, la ganadera (Zubieta-Rojas, 2010). Sin embargo, las actividades poco planeadas que se realizan en cuencas como la del río Zinapécuaro, han tenido como consecuencia un fuerte deterioro de los ecosistemas, la pérdida de servicios ambientales y un incremento en la vulnerabilidad de cuencas (Díaz, 2013; Mestre, 2014). Como ya reiteradamente se ha comentado para otros cuerpos de agua en México, de este río tampoco se tiene información acerca de la calidad del agua a lo largo de su recorrido y, por consiguiente, se desconoce de manera específica el tipo de contaminantes presentes.

Actualmente diferentes grupos taxonómicos son considerados como indicadores de calidad del agua (Gamboa *et al.*, 2008; Hanson *et al.*, 2010), en particular, las diatomeas, que han sido empleadas para valorar las condiciones ecológicas cambiantes de los sistemas lóticos (Tang *et al.*, 2006; Salomoni *et al.*, 2006; Zampella, 2007), puesto que sus poblaciones responden a las etapas de sucesión de la vegetación original, a diferentes usos del suelo, así como a las actividades industriales, agrícolas y urbanas que incrementan el uso de nutrientes y sedimentos en las cuencas, situación que genera alteración en las condiciones ambientales de los ríos con efectos negativos en sus componentes bióticos (Ndiritu *et al.*, 2006). Los muestreos son fáciles de realizar y sus requerimientos ecológicos son mejor comprendidos que los de otros componentes de la biota acuática (Martínez de Fabricius *et al.*, 2003; Díaz & Maidana, 2005; Walker & Pan, 2006; Weillhoefer & Pan, 2006; López & Siqueiros, 2011).

En este trabajo se analizó la riqueza, composición, abundancia y distribución de la comunidad de diatomeas epilíticas en cuatro temporadas de muestreo y su relación con algunas variables ambientales en la cabecera del río Zinapécuaro.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca Alta del río Zinapécuaro tiene una altitud que oscila entre 2,512 y 2,433 m.s.n.m., con coordenadas 19° 50' - 19° 51' N; 100° 43' - 100° 46' O. Su clima es templado con lluvias en verano, con una precipitación promedio anual de 622.5 mm y temperaturas que fluctúan entre 3 y 34 °C (Correa, 2003). La vegetación primaria es bosque de oyamel, bosque de pino y bosque mixto de pino y encino (Correa, 2003), ecosistemas que se están erradicando para dar paso al establecimiento de huertas de aguacate.

Se seleccionaron cinco sitios de muestreo, considerando las diferentes actividades humanas que se desarrollan en la región, y en función del uso comunitario que se hace del recurso agua. Dos son afluentes del río Zinapécuaro, el manantial de La Yerbabuena (Yman), que proporciona agua potable a la rancharía, se usa como potrero y tiene sembradíos en los alrededores; y el río Yerbabuena (Yrío), empleado como abrevadero, además de verter las aguas residuales del poblado y de un aserradero. El tercer sitio es un aljibe recolector de manantiales que surte de agua potable al poblado La Yerbabuena (Elaj). Tanto el poblado La Galera (Lgal) como el balneario Las Orquídeas (Lorq) forman parte del cauce principal de este cuerpo de agua; el primero se utiliza como abrevadero y desagüe, en tanto que el segundo atrae al turismo, ya que se encuentra en una zona de bosque de pino con numerosos manantiales que se incorporan al río y tiene instalado un banco de materiales que vierte desechos de caolín directamente a la corriente (Tabla 1, Fig. 1).

Se efectuaron cuatro recolectas, una en poslluvias en noviembre de 2012 y tres en 2013: estiaje (abril), lluvias (junio) y poslluvias (noviembre). *In situ*, se midieron el oxígeno disuelto, nitritos, nitrógeno amoniacal, alcalinidad total y dureza total con un equipo HACH FF-1A. La profundidad se registró con una sonda graduada. Con un potenciómetro Conductronic PC-18 se determinaron los parámetros de temperatura, pH y sólidos disueltos totales (SDT) (Tabla 2).

Las muestras de diatomes epilíticas se tomaron de seis rocas seleccionadas de forma arbitraria, en zonas con flujo rápido, para cada

Tabla 1. Localización de los sitios de estudio en la cabecera del río Zinapécuaro con anotación de actividades humanas realizadas en la zona.

Sitios de muestreo	Acronimos	Coordenadas	Altitud (msnm)	*Actividades humanas
Manantial La Yerbabuena	(Yman)	19° 48' 21.6" N 100° 43' 01.7" O	2512	Af, P, S, Eud
El río Yerbabuena	(Yrío)	19° 48' 35.9" N 100° 42' 55.70" O	2493	Af, Ab, As, Ar, S
El Aljibe	(Elaj)	19° 48' 23" N 100° 42' 46" O	2492	Ap, Ha, S
La Galera	(Lgal)	19° 51' 45.9" N 100° 42' 04.2" O	2433	Ab, Ar, P, S
Las Orquídeas	(Lorq)	19° 50' 42.7" N 100° 46' 14.7" O	2057	Tl, Bm

\*Nota: Af-afluente; P-potrero; S-sembradíos; Eud-extracción de agua para uso doméstico; Ab-abrevadero para aves de corral y ganado; As-aserradero; Ar-vertido de aguas residuales; Ap-almacenamiento de agua potable; Ha-huertas de aguacate; Tl-turismo local; Bm-banco de materiales.

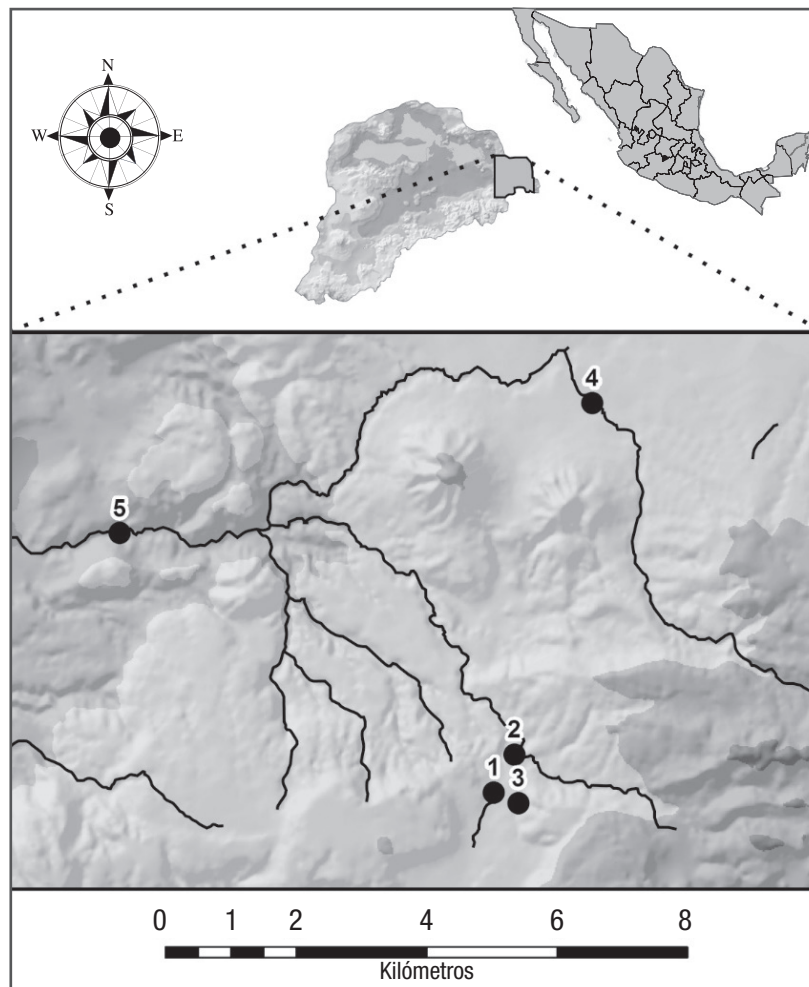


Figura 1. Localización de los sitios de estudio en la cabecera del río Zinapécuaro, Michoacán, México. 1) Manantial La Yerbabuena (Yman). 2) El río Yerbabuena (Yrío). 3) El Aljibe (Elaj). 4) La Galera (Lgal). 5) Las Orquídeas (Lorq).

sitio y temporada. Se empleó el método de Iserentant *et al.*, 1999, que consiste en cepillar la superficie superior de las rocas (aproximadamente 5 cm<sup>2</sup>) y fijar las muestras en formol al 4%. Las valvas de las diatomeas se limpiaron con peróxido de hidrógeno (40%) para eliminar la materia orgánica y con ácido clorhídrico (37%) para disolver el carbonato de calcio. Se hicieron dos preparaciones permanentes por sitio y temporada mediante el montaje de los frústulos limpios en resina sintética (Merck IR=1.5). Las valvas se identificaron con auxilio de un microscopio óptico Axiostar plus ® bajo una magnificación de 100x, según los criterios de Krammer, 1997; Krammer y Lange-Bertalot, 1997 a, b; Krammer y Lange-Bertalot, 2004 a, b; Lange-Bertalot, 2001; Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998, 2002; Metzeltin *et al.*, 2005.

A partir de las muestras ya limpias se tomaron submuestras de 200 µl con las cuales se contabilizaron 400 valvas por sitio y por temporada (Kelly *et al.*, 1998) y se obtuvo la abundancia relativa de los taxones. Con los datos de abundancia absoluta se estimó la riqueza (S); la diversidad se calculó con el índice de Shannon-Wiener; la similitud entre sitios y temporadas se evaluó a través de un análisis jerárquico de agrupación

con el método de liga promedio y el índice de similitud de Bray-Curtis. Los valores de diversidad obtenidos con el índice Shannon-Wiener se compararon con la prueba de *t* modificada por Hutcheson (Zar, 2010). La riqueza esperada se estimó empleando el modelo no paramétrico de acumulación de especies Chao 2 (Magurran, 2004) y los estimadores paramétricos de Jackknife 1 (JK 1) y Bootstrap (Boot). De igual forma, se aplicó un Análisis de Varianza de Similitudes (ANOSIM) para determinar diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la composición de las comunidades registradas por sitio y temporada, además de un Análisis de Correspondencia Canónica (CANOCO) para identificar cuáles de las variables fisicoquímicas medidas tuvieron mayor efecto sobre la distribución de las especies. La rarefacción se efectuó para evaluar la relación entre el esfuerzo de muestreo y el número de especies encontrado, así como para clarificar el efecto de las condiciones de los sitios y temporadas independientes al tamaño de muestra, para los que se emplearon las abundancias absolutas registradas por sitio y temporada. Los análisis se llevaron a cabo con los programas BioDiversity (McAleece *et al.*, 1997) y PAST v. 2.17 (Hammer *et al.*, 2001).

Tabla 2. Variables fisicoquímicas de los sitios de muestreo en la cabecera del río Zinapécuaro en el periodo 2012 y 2013.

Acrónimos		Z (cm)	T (°C)	pH	O.D. (mg/L)	SDT (ppm)	N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	Alc (fenof-mg/L)	Dt (mg/L)	Tipo de flujo
pII_2012	Yman	40	16.6	7	8	-	0	0.2	51.3	34.2	T
	Yrío	40	17.6	7.4	8	-	0	0.1	68.4	51.3	T
	Lgal	5	15	7.8	8	-	0	0.4	85.5	153.9	L
	Lorq	20	17.6	7.8	8	-	0	0.2	85.5	68.4	T
est_2013	Yman	40	15.1	7.9	7.0	43	0.0	0.12	13.7	34.2	T
	Yrío	35	15.4	7.6	8.0	46	0.0	0.64	42.7	34.2	T
	Elaj	0	15.5	7.2	4.0	32	0.01	0.51	34.2	34.2	s/f
	Lgal	10	14.5	7.9	4.0	767	0.0	0.12	34.5	171	L
II_2013	Lorq	20	19.2	7.7	7.0	75	0.0	0.0	68.4	51.3	T
	Yman	45	17.2	7.2	7.0	43	0.1	0.12	68.4	34.2	T
	Yrío	40	17.5	7.2	7.0	41	0.2	0.5	68.4	34.2	T
	Lgal	10	16.1	8.2	10.0	623	0.1	0.5	153.9	153.9	L
pII_2013	Lorq	20	22.3	7.7	6.0	97	0.2	0.3	119.7	51.3	T
	Yman	45	15.2	7.6	7.0	43	0.1	0.1	51.3	51.3	T
	Yrío	40	15.3	7.4	7.0	44	0.1	0.1	69.6	51.3	T
	Lgal	13	15.7	7.3	7.0	183	0.2	0.9	34.2	85.5	L
Lorq	20	16.5	7.2	7.0	119	0.1	1.3	68.4	68.4	T	

Z=Profundidad. T=Temperatura. O.D.=Oxígeno Disuelto. SDT=Sólidos disueltos totales. N-NO<sub>2</sub>=Nitritos. N-NH<sub>4</sub>=Amonio. Alc= Alcalinidad a la fenofaleína. Dt.=Dureza total. T=Flujo turbulento. L=Flujo laminar. s/f=Sin flujo.

## RESULTADOS

**Caracterización ambiental.** Con base en las características fisicoquímicas, el río Zinapécuaro se puede considerar como un cuerpo de agua subtropical (14.5 - 22.3 °C). Presenta aguas de circumneutrales a alcalinas (pH 7.0 - 8.2); con una concentración de sólidos disueltos que se vio incrementada en La Galera durante el periodo de estiaje (767 ppm) y lluvias (623 ppm) de 2013. Las concentraciones de oxígeno disuelto tuvieron condiciones de mediana oxigenación (4.0 mg/L) en el estiaje y hasta muy elevada en la época de lluvias (10.0 mg/L). En relación con la profundidad, el valor mínimo fue para poslluvias (2012) (5 cm), salvo en El Aljibe que prácticamente estaba vacío y sólo se presentaron pequeñas charcas. El amonio tuvo la concentración máxima en poslluvias (2013) (0.9 mg/L) y los nitritos aumentaron sus valores en lluvias y poslluvias (2013) (0.1 y 0.2 mg/L respectivamente). En cuanto a la alcalinidad el valor máximo se presentó en lluvias (2013) (153.9 mg/L); la dureza total compartió el valor máximo tanto en poslluvias (2012) como en lluvias (2013) (153 mg/L) (Tabla 2).

**Riqueza por sitio y temporada.** Como resultado del muestreo en los cinco sitios y las cuatro recolectas se registraron 70 especies, seis variedades y una forma de diatomeas epilíticas. Estos taxones representan una familia, dos géneros y dos especies de la clase Coscinodiscophyceae; una familia, tres géneros, seis especies y dos variedades de la clase Fragilariophyceae y 15 familias, 25 géneros, 62 especies, cuatro variedades y una forma correspondieron a la clase Bacillariophyceae.

En la tabla 3 se enlistan las especies y sus autoridades por clase taxonómica y orden alfabético.

Las especies que se encontraron en todos los sitios de muestreo y en las cuatro temporadas fueron: *Achnanidium exiguum*, *A. minutissimum*, *Encyonema silesiacum*, *Eolimna subminuscula*, *Frustulia latita*, *F. neomundana*, *Gomphonema lagenula*, *Navicula rhynchocephala*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *Planothidium frequentissimum*, *P. lanceolatum* y *Rhopalodia brebisonii*.

Entre las especies que tuvieron baja abundancia relativa en un sitio y en una temporada se encontraron *Amphora ovalis*, *Caloneis spec. cf. bacillum*, *Cocconeis pseudothumensis*, *Diploneis pseudovalis*, *Eunotia bilunaris*, *E. cataractarum*, *Fragilaria capucina* aff. *gracilis*, *Frustulia krammeri*, *Gomphonema clavatum*, *Navicula clementis*, *Nitzschia umbonata*, *Pinnularia gibba*, *Placoneis undulata*, *Stephanodiscus niagarae* y *Ulnaria goulardii*. En tanto, aquéllas con baja abundancia en un sitio fueron *Achnanthes inflata*, *Eunotia formica*, *E. quaternaria* y *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Tabla 4).

Como se puede apreciar en la Tabla 5, las estimaciones de riqueza obtenidas con los diferentes modelos utilizados, indicaron que para toda el área y las temporadas muestreadas se esperaría registrar entre 78 y 87 especies, por lo que el estudio conjunta entre el 80.5% y el 89.7% de lo estimado. Por temporadas, se aprecia que las 55 especies registradas durante el estiaje representaron la época más rica; pero



Tabla 3. Listado taxonómico por clases y orden alfabético, de las diatomeas epilíticas recolectadas en la cabecera del río Zinapécuaro.

Coscinodiscophyceae	Fragilariophyceae	Bacillariophyceae
<i>Stephanocyclus meneghiniana</i> (Kützing) Skabitschewsky	<i>Fragilaria capucina</i> aff. <i>gracilis</i> (Østrup) Hustedt	<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow
<i>Stephanodiscus niagarae</i> Ehrenberg	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot	<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki
	<i>Stausosirella pinnata</i> var. <i>pinnata</i> (Ehrenberg) D. M. Williams et Round	<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki
	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) M.Aboal in Aboal, Alvarez Cobelas, Cambra & Ector	<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing
	<i>Ulnaria gouldarii</i> (Brébisson) Lange-Bertalot	<i>Caloneis hyalina</i> Hustedt
		<i>Caloneis</i> aff. <i>bacillum</i> (Grunow) Cleve
		<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg
		<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg
		<i>Cocconeis pseudothumensis</i> Reichardt
		<i>Craticula accomoda</i> (Hustedt) D.G. Mann in Round, R. M. Crawford & D. G. Mann 1990
		<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald in Rabenhorst
		<i>Diploneis pseudovalis</i> Hustedt
		<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D. G. Mann in Round, R. M. Crawford & D. G. Mann 1990
		<i>Eolimna subminuscula</i> (Manguin) Gerd Moser, Lange-Bertalot et D. Metzeltin
		<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Mills
		<i>Eunotia cataractarum</i> Furey, Lowe et Johansen
		<i>Eunotia formica</i> Ehrenberg
		<i>Eunotia quaternaria</i> Ehrenberg
		<i>Eunotia veneris</i> (Kützing) De Toni
		<i>Frustulia krammeri</i> Lange-Bertalot et Metzeltin
		<i>Frustulia latita</i> Graeff et Kociolek
		<i>Frustulia neomundana</i> Lange-Bertalot et Rumrich
		<i>Geissleria ignota</i> (Krasske) Lange-Bertalot et Metzeltin
		<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg
		<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
		<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing
		<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>exilissimum</i> Grunow in Van Heurck 1880
		<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i>
		<i>Gomphonema pseudoaugur</i> Lange-Bertalot
		<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i> Lange-Bertalot et Reichardt
		<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round et P.W. Basson
		<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch ex Rabenhorst) D. G. Mann in Round, R. M. Crawford & D. G. Mann 1990
		<i>Luticola mutica</i> (Kützing) Mann in Round, Crawford et Mann
		<i>Navicula angusta</i> Grunow
		<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot
		<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain ex Gasse
		<i>Navicula clementis</i> Grunow
		<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing
		<i>Navicula germainii</i> Wallace
		<i>Navicula recens</i> Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot 1985
		<i>Navicula rhyngocephala</i> Ehrenberg
		<i>Navicula symmetrica</i> Patrick
		<i>Navicula veneta</i> Kützing

Continuación tabla 3.

Coccinodiscophyceae	Fragilariophyceae	Bacillariophyceae
		<i>Navicula wildii</i> Lange-Bertalot
		<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow
		<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch
		<i>Nitzschia filiformis</i> (W. Smith) Van Heurck
		<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch
		<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow
		<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith
		<i>Nitzschia umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot
		<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg
		<i>Pinnularia hyalina</i> Hustedt
		<i>Pinnularia interrupta</i> W. Smith
		<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve
		<i>Pinnularia microstauron</i> var. <i>angusta</i> Krammer
		<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg
		<i>Placoneis undulata</i> (Østrup) Lange-Bertalot
		<i>Planothidium frequentissimum</i> Lange-Bertalot
		<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot
		<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-Bertalot
		<i>Rhopalodia brebissonii</i> Krammer
		<i>Surirella minuta</i> Brébisson ex Kützing

también fue la que menor representación de riqueza obtuvo con un máximo de 83.3 % de la riqueza específica esperada, de acuerdo con los diferentes estimadores utilizados. En la temporada de lluvias se registró entre el 79% y el 90.7% de la riqueza esperada, que constituyen los valores más altos y menos variables de representación de la riqueza esperada (Tabla 5).

En general, las diferencias entre las estimaciones de riqueza y la riqueza registrada fueron menores del 5% con Bootstrap, en la época de poslluvias (2012) a 40% aproximadamente en el estiaje (2013), de acuerdo con el estimador Chao 2.

La Galera fue el sitio con menor riqueza y también el mejor representado en riqueza con 91.7 al 100% de lo esperado; mientras que los sitios del manantial y río La Yerbabuena comprendieron registros de 75 a 86% de la riqueza esperada (Tabla 6).

La técnica de rarefacción permitió apreciar que en general el esfuerzo de muestreo utilizado fue el adecuado para recoger la riqueza específica de diatomeas epilíticas en los sitios y temporadas estudiados, excepto en el manantial y el río Yerbabuena durante la época de lluvias (2013) y el manantial de la Yerbabuena en el estiaje (2013), cuyas curvas mostraron aún tendencia creciente, lo que sugirió que se requeriría un número mayor de submuestras para alcanzar una buena representación de su riqueza (Figuras 2, 3, 4 y 5). También se puede apreciar que las diferencias de riqueza encontradas entre los sitios no es un efecto del número de individuos capturados, sino de las características y condiciones de los sitios, los cuales presentan diferencias importantes en los parámetros fisicoquímicos medidos.

**Diversidad por sitios/temporadas.** La tabla 7 muestra los valores de diversidad medida con el índice de Shannon (H') para cada sitio y temporada. El valor más alto, según la temporada, se presentó en época de

lluvias (2013) en Las Orquídeas (2.724) sin diferencia significativa con El Aljibe en la época de estiaje, lo mismo ocurrió en ambos sitios durante poslluvias en 2013. Los valores más bajos para las cuatro épocas muestreadas se presentaron en La Galera, esto sugiere un efecto importante de las condiciones de este sitio en la diversidad de diatomeas. La misma situación se apreció con los cinco valores más elevados de diversidad, los cuales correspondieron a tres temporadas diferentes y tan sólo a tres sitios: Las Orquídeas (contó con tres de estos valores), El aljibe y el río Yerbabuena.

**Similitud entre sitios y temporadas.** La prueba estadística ANOSIM de una vía para temporadas, no mostró diferencia estadística significativa en similitud, producto de la época de muestreo ( $p > 0.05$ ); mientras que para evaluar el efecto de los sitios, el análisis con el índice binario de semejanza de Jaccard, mostró diferencia de riqueza entre La Galera con respecto a tres de las otras localidades, excepto con El Aljibe. Al aplicar el análisis cuantitativo con el índice de Bray-Curtis, se recuperaron las diferencias de La Galera anteriormente mencionadas, además de la diferencia entre el manantial de La Yerbabuena y Las Orquídeas (Tabla 8).

La figura 6 muestra un gráfico de agrupación con el índice de Bray-Curtis en el que se aprecia un grupo formado por tres de los cuatro muestreos del sitio La Galera, que refleja las diferencias mencionadas.

El Análisis de Correspondencia Canónico mostró más de 70% de la variación explicada en los dos primeros ejes de ordenación, los valores de correlación canónica obtenidos (Tabla 9) indicaron que la distribución de las especies estudiadas varió de acuerdo con la profundidad, nitritos, amonio, pH y dureza total.

El ACC permitió separar tres grupos principales de especies como se observa en la figura 7. El primer grupo de especies, formado por *Navicula antonii*, *N. germainii*, *N. recens*, *Nitzschia filiformis*, *N. incons-*

Tabla 4. Abundancia relativa de las diatomeas epilíticas en la cabecera del río Zinapécuaro durante el periodo de estudio (2012-2013).

Taxa	Acronimo	pll_2012 (%)				est_2013 (%)					II_2013 (%)				pll_2013 (%)			
		Yman	Yrío	Lgal	Lorq	Yman	Yrío	Elaj	Lgal	Lorq	Yman	Yrío	Lgal	Lorq	Yman	Yrío	Lgal	Lorq
<i>Achnanthes inflata</i>	ACIN	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0
<i>Achnanthyidium exiguum</i>	ACEX	1	2.35	0	0	4.75	0.8	2	0	1.5	1.5	9.5	0	0.75	0.5	39.75	0	2.25
<i>Achnanthyidium minutissimum</i>	ACMI	0	9.41	9.25	9.75	14	20.16	17	0.5	3.75	6.5	2.25	10.5	4.25	1.5	9.5	0	11
<i>Amphora ovalis</i>	AMOV	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Caloneis hyalina</i>	CAHY	4.75	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0.75	0.5	0	0	0	0.5	0	1.5
<i>Caloneis spec. cf. bacillum</i>	CABA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis euglypta</i>	COEG	0	0	0	0	0	1.61	0	0	2.75	0	4.75	0	14.25	0	0	0	0
<i>Cocconeis lineata</i>	COLI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.25	0	0.5	0	0
<i>Cocconeis pseudothumensis</i>	COPS	0	0	0	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Craticula accomoda</i>	CRAC	0	0	0	0	0	0	0	0	1.25	0.25	16.5	0	0	1.25	12	0	0
<i>Cymbella naviculiformis</i>	CYNA	0.5	4.7	0	0	1	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0
<i>Diploneis pseudovalis</i>	DIPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Encyonema silesiacum</i>	ENSI	0.25	0	0	0	0.75	0	0.25	0	0.5	6	1.75	0	0	0	0.25	0	0
<i>Eolimna subminuscula</i>	EOSU	0.5	4.7	1	4.78	1	10.48	5.75	0.25	0.5	1.5	0.75	0	1.25	0.75	1.25	0	0
<i>Eunotia bilunaris</i>	EUBI	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia cataractarum</i>	EUCA	0	0	0	0	0	0	0	0	1.75	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia formica</i>	EUFO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.25	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia quaternaria</i>	EUQU	0	0	0	0	0	3.22	0	0	0	0	0	0	0	0.75	1	0	0
<i>Eunotia veneris</i>	EUVE	0.25	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	1.25	0	0	0
<i>Fragilaria capuccina aff. gracilis</i>	FRGR	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria capuccina var. vaucheriae</i>	FRVA	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Frustulia krammeri</i>	FRKR	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Frustulia latita</i>	FRLA	3.75	3.52	0	0	1.5	2.41	1.25	0	0.5	4.5	0.5	0	2	2.75	1	0	16.25
<i>Frustulia neomundana</i>	FRNE	3.5	1.17	0	7.31	1	4.03	0.75	0	0.75	2.75	1	0	0.5	3.25	0.75	0	3.25
<i>Geissleria ignota</i>	GEIG	0	0	0	0	0	0	2.25	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0
<i>Gomphonema clavatum</i>	GOCL	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema gracile</i>	GOGR	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0
<i>Gomphonema lagenula</i>	GOLA	0.25	0	0.5	4.78	0	0	4.5	0	0.75	2.75	0.25	0.25	0	6.75	1	0	0.75
<i>Gomphonema parvulum var. exilissimum</i>	GOEX	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0.75	0	0	0.25	1.5	1	0	0.75
<i>Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum</i>	GOPA	0	0	2.25	0	0	0	8.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	GOPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	GORI	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	1.5	0	0	0	1
<i>Lemnicola hungarica</i>	LEHU	0	0	0	0	7.5	0	0.25	0	0	0.25	8.5	0	0.25	0.5	0	0	0
<i>Luticola goeppertiana</i>	LUGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0.5	0	0	0	0
<i>Luticola mutica</i>	LUMU	0	1.17	0	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0

Continuación tabla 4.

Taxa	Acrónimo	pH_2012 (%)				est_2013 (%)					II_2013 (%)				pH_2013 (%)			
		Yman	Yrío	Lgal	Lorq	Yman	Yrío	Elaj	Lgal	Lorq	Yman	Yrío	Lgal	Lorq	Yman	Yrío	Lgal	Lorq
<i>Navicula angusta</i>	NAGU	0	0	0	0	1.75	0	0	0	0	0.5	0.75	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula antonii</i>	NAAN	0	0	0	0	0	0	0	1.25	0	0	0	1.25	0.25	0.75	0	0	0
<i>Navicula capitatoradiata</i>	NACA	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1	0	0	0	2.75	0	0	0	0
<i>Navicula clementis</i>	NACL	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula cryptocephala</i>	NACR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.75	0	0	0.25	1	0	0
<i>Navicula germainii</i>	NAGE	0	3.52	0	0	0	0	0	2	1.75	0	0	12	0	0	0	0	0
<i>Navicula recens</i>	NARE	0	0	4	0	0	0	0	17	0	0	0	6	0	0	0	0	0
<i>Navicula rhynchocephala</i>	NARH	3.75	0	0	0	0.75	15.32	0	0	6.25	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0.25
<i>Navicula symmetrica</i>	NASY	0	0	0	2.43	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	9.75
<i>Navicula veneta</i>	NAVE	0.5	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula wildii</i>	NAWI	1.25	21.17	0	9.75	0	4.03	14.25	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia amphibia</i>	NIAM	0	0	0	7.31	1.25	0	0	0.25	4.5	0	0	0.25	4.75	0	0	0	0.5
<i>Nitzschia clausii</i>	NICL	0.75	0	16.25	9.75	0	0	0	3.5	1.25	1.25	0	5.75	2.75	36	1.5	0	14.75
<i>Nitzschia filiformis</i>	NIFI	0	0	3.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia gracilis</i>	NIGR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia inconspicua</i>	NIIN	0	0	2	0	0	0	0	14.5	0	0	0.25	15.75	4	0	4	0	2.25
<i>Nitzschia palea</i>	NIPA	2.25	3.52	57.75	19.51	11	1.61	4.5	27.25	3.5	9.25	4	32	10.25	2.75	3.75	0	5.25
<i>Nitzschia umbonata</i>	NIUM	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia gibba</i>	PIGI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia hyalina</i>	PIHY	0	0	0	2.43	0.25	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia interrupta</i>	PIIN	0.5	0	0	0	0	0	0.75	0	0.5	0.25	0	0	0.5	0	0	0	2.25
<i>Pinnularia microstauron</i>	PIMI	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0
<i>Pinnularia microstauron var. angusta</i>	PIAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0
<i>Pinnularia viridis</i>	PIVI	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0.25	0.5	0	0	0	0	0
<i>Placoneis undulata</i>	PLUN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR	50.5	18.82	1.5	14.63	10.25	15.32	6.25	0	21	12.25	4.5	0	11	7.5	2.5	0	2
<i>Planothidium lanceolatum</i>	PLLA	25.25	18.82	0.25	2.43	33.75	14.51	16.75	0	35	35.75	7.5	0	13	24.5	8.25	0	2
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	RHAB	0	0	0	0	0	4.03	0	0	6	0	19.25	0	9.75	0	0.5	0	2
<i>Rhopalodia brebisonii</i>	RHBR	0.5	0	0	0	4.75	1.61	0	0	0.25	10.25	14.75	0	0.5	0	7.75	0	17.75
<i>Staurosirella pinnata var. pinnata</i>	STPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0.5	0	0	0	0
<i>Stephanocyclus meneghiniana</i>	STME	0	0	0	0	0	0	0	32	0.5	0	0	14.5	0.5	0	0	0	0.25
<i>Stephanodiscus niagarae</i>	STNI	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Surirella minuta</i>	SUMI	0	0	1	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0.75
<i>Ulnaria acus</i>	ULAC	0	0	0	0	0	0	1.75	0	0	0	0.25	0	1.25	2.75	0	0	0.75
<i>Ulnaria gouldarii</i>	ULGO	0	0	0	0	0	0	4.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL (%):		100	99.87	100	99.72	100	99.94	100	100	100	100	100	100	100	96.25	99.75	0	97.5



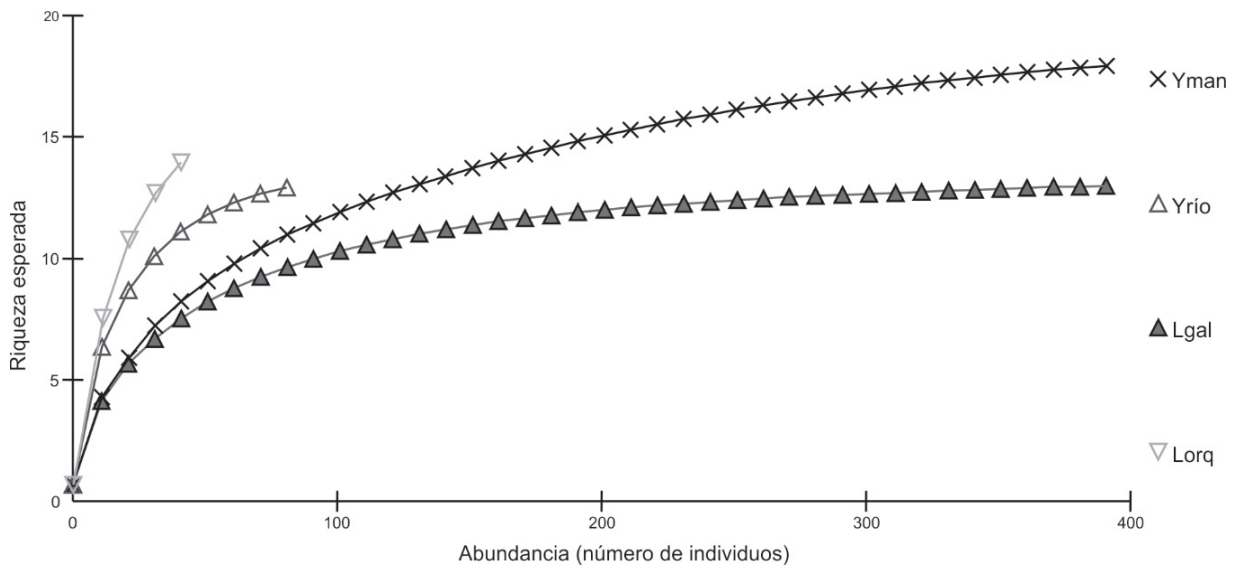


Figura 2. Curva de rarefacción para diatomeas de la cabecera del río Zinápecuaro durante la temporada de poslluvias (2012).

*picua*, *N. gracilis*, *N. palea*, *N. umbonata* y *Stephanocyclus meneghiniana*, se encuentra en sitios con menor profundidad, elevados valores de dureza total y medios alcalinos. En el lado superior derecho del gráfico se aprecia otro grupo de especies, entre las que se ubican a *Craticula accomoda*, *Diploneis pseudovalis*, *Encyonema silesiacum*, *Eunotia quaternaria*, *E. veneris*, *Fragilaria capuccina* var. *vaucheriae*, *Frustulia latita*, *Gomphonema pseudoaugur*, *Lemnicola hungarica*, *Navicula cryptocephala*, *Rhoicosphenia abbreviata* y *Rhopalodia brebissonii*, por mencionar algunas y que se le asocia a zonas de mayor profundidad, mayores concentraciones de nitritos y amonio y bajas concentraciones de dureza total y medios circunneutrales. Un tercer grupo de especies, integrado por *Cocconeis pseudothumensis*, *Cymbella naviculiformis*, *Eolimna subminuscula*, *Eunotia cataractarum*, *E. bilunaris*, *Frustulia*

*krammeri*, *Geissleria ignota*, *Luticola mutica*, *Navicula wildii*, *Planothidium frequentissimum*, entre otras, se vincula con elevados valores de profundidad, bajas concentraciones de nitritos y amonio. El resto de las especies se encuentran en valores intermedios de concentraciones de nitritos y amonio, en diferentes profundidades, medios circunneutrales y bajas concentraciones de dureza total.

### DISCUSIÓN

Se ha considerado que la distribución de las comunidades de diatomeas bentónicas es el resultado de las interacciones espaciales y temporales de los factores fisicoquímicos, más que de los factores geológicos o climáticos (Potapova & Charles, 2002); por ello, la química del agua ha

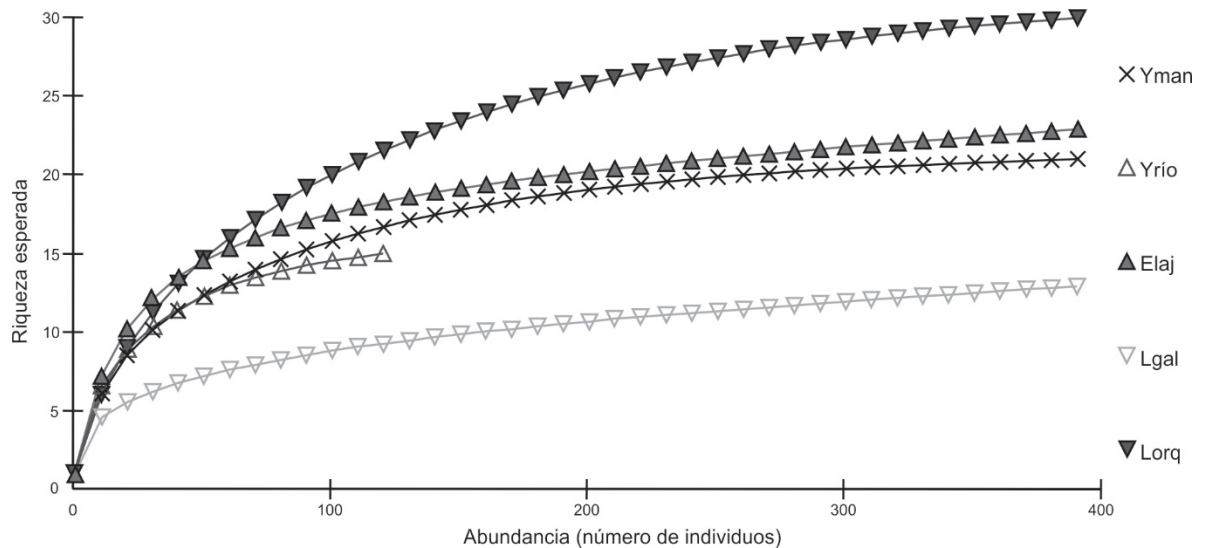


Figura 3. Curva de rarefacción para diatomeas de la cabecera del río Zinápecuaro durante la temporada de estiaje (2013).

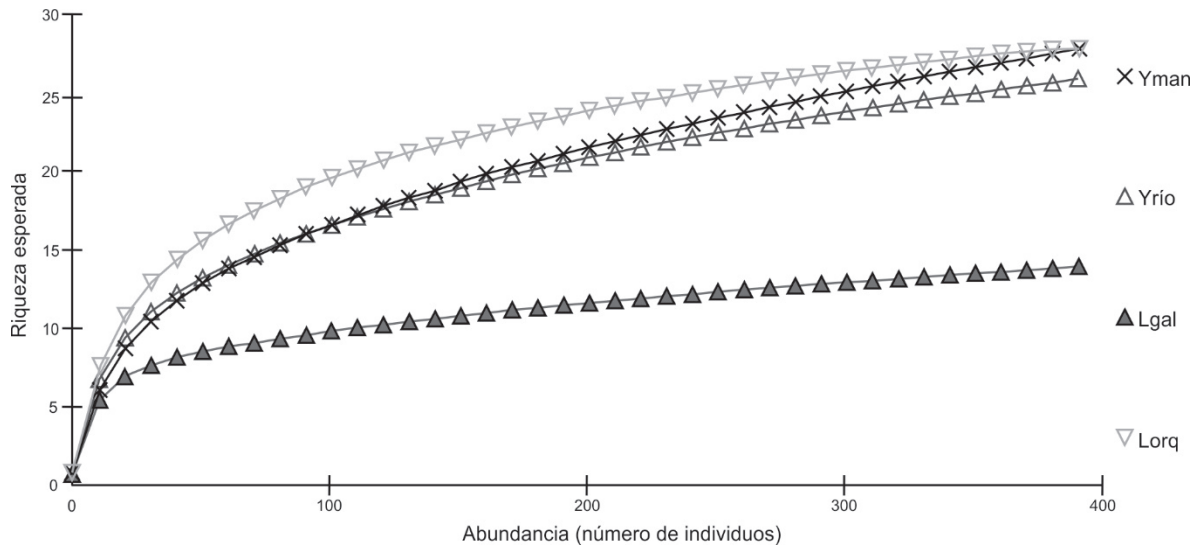


Figura 4. Curva de rarefacción para diatomeas de la cabecera del río Zinápecuaro durante la temporada de lluvias (2013).

sido considerada como el elemento crucial para la composición de las especies (Soininen *et al.* 2004).

En el caso de la cabecera del río Zinápecuaro se observaron cambios en los valores de los parámetros fisicoquímicos así como variaciones de la comunidad de diatomeas en las temporadas de estudio. Los sitios manifestaron poca contaminación y una incipiente perturbación, resultado del manejo antrópico que se da al río en esta zona (Tabla 1). Esto explica la presencia de especies como *Eolimna subminuscula*, *Encyonema silesiacum*, *Gomphonema lagenula*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, o *Navicula veneta*, que por sus afinidades ecológicas indican cierto

grado de eutrofización (Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Segura-García, 2011) (Tabla 4).

Especies como *Achnantheidium minutissimum*, *Planothidium frequentissimum* y *Rhoicosphenia abbreviata*, sensibles a la contaminación y reportadas para aguas oligotróficas a mesotróficas (Cox, 1996; Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Prygiel & Coste, 2000; Segura-García, 2011) también exhiben las mismas condiciones de oligotrofia a mesotrofia en el área de estudio (Tabla 4).

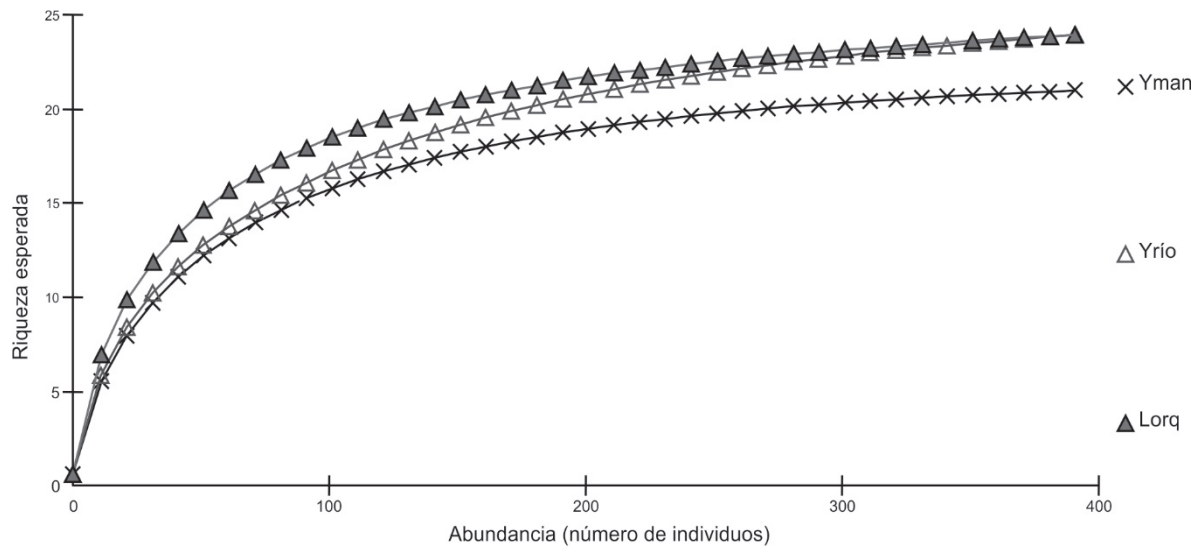


Figura 5. Curva de rarefacción para diatomeas de la cabecera del río Zinápecuaro durante la temporada de poslluvias (2013).

Aunque la temperatura del agua varía con el gradiente altitudinal y con la radiación solar (Pedraza-Garzón, 2011), la temperatura no tuvo relación aparente con la oxigenación, por lo que se observaron temperaturas templadas durante el muestreo y éste no fue un factor determinante en la distribución de las especies.

El oxígeno disuelto se mantuvo con elevadas concentraciones en el manantial y el río Yerbabuena y Las Orquídeas en todas las temporadas (6.0 - 8.0 mg/L) debido a que en esos sitios el flujo de agua es turbulento, tienen pendiente pronunciada, con zonas de rápidos, con fondo pedregoso que favorecen la solubilidad de este gas (Penalta-Rodríguez, 2007). Sin embargo, la baja riqueza de especies observada en El aljibe y La Galera durante el estiaje (2013) se vio relacionada con las bajas concentraciones de oxígeno (4.0 mg/L, para ambos casos). En el primer sitio el flujo de agua era imperceptible, lo que inhibió la solubilidad del oxígeno y en el segundo fueron evidentes los drenajes de las viviendas que se vaciaron al río, además de observarse un florecimiento de *Microcystis aeruginosa* por lo que la actividad bacteriana abatió las concentraciones de oxígeno, consecuencia del proceso de eutrofización (De León, 2002).

El área de estudio se ve influenciada por las actividades que se desarrollan en el campo geotérmico de Los Azufres, localizado en la parte más alta de la cuenca (2,800 m.s.n.m.). Entre los problemas de alto impacto provenientes de esas labores se encuentran la generación de vapor, la mezcla de agua-vapor y la producción de salmuera, la cual es reinyectada por gravedad al subsuelo (Valdéz *et al.*, 2013). Específicamente la infiltración de la salmuera al manto freático influyó en el aumento de valores de pH que oscilaron de circunneutrales a alcalinos

Tabla 5. Estimaciones de riqueza específica y proporción representada por la riqueza observada por temporada de muestreo. La proporción que representa la riqueza registrada con respecto al estimado se muestra en porcentaje dentro del paréntesis.

Temporada	Riqueza observada	Estimadores		
		Chao 2	Jackknife 1	Bootstrap
Poslluvias (2012)	32	45 (71.11)	48 (66.67)	43 (74.41)
Estiaje (2013)	55	91 (60.44)	81 (67.90)	66 (83.33)
Lluvias (2013)	49	54 (90.74)	62 (79.03)	56 (87.50)
Poslluvias (2013)	37	58 (63.79)	47 (78.72)	39 (94.97)
Total	70	83 (84.34)	87 (80.46)	78 (89.74)

durante la investigación (7.0 - 8.2). Por otro lado, los compuestos derivados de la salmuera también repercuten en el aumento de la concentración de sólidos disueltos totales en las aguas freáticas de la cuenca, muy notorio en La Galera durante 2013 (183 - 767 mg/L), aunque en poslluvias un tramo del río haya estado seco debido a la extracción de agua para el poblado. En Las Orquídeas, en el mismo año (119 mg/L), la elevada concentración se debió a que el banco de materiales ahí establecido aumentó el vertido de residuos hacia el cauce.

En el caso de la alcalinidad los máximos valores se observaron en temporada de lluvias (2013) para dos sitios; La Galera (153.9 mg/L) y

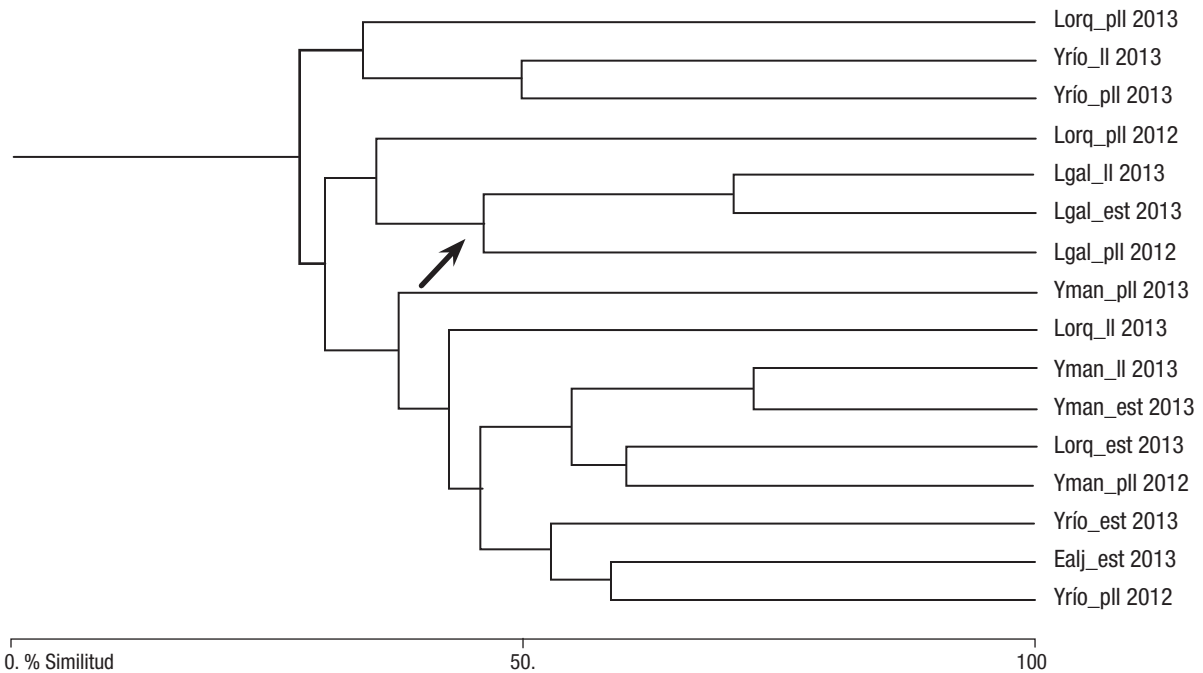


Figura 6. Agrupación de los sitios de muestreo por sitios/temporadas obtenido con el Índice de Bray-Curtis, método de liga promedio. La flecha indica el grupo formado por tres de las recolectas en La Galera.





Tabla 6. Estimaciones de riqueza por sitio muestreado. Entre paréntesis se muestra el porcentaje que representa la riqueza observada con respecto a la estimación.

	Riqueza Observada	Estimadores		
		Est. Chao 2	Est. JK 1	Est. Boot
Elaj *	23	-----	-----	-----
Yman	40	51 (78.43)	52 (76.92)	46 (86.95)
Yrío	37	45 (82.22)	49 (75.51)	43 (86.04)
Lgal	22	22 (100.00)	24 (91.66)	22 (100.00)
Lorq	44	50 (88.00)	54 (81.48)	48 (91.66)
Total	70	83 (84.34)	87 (80.46)	78 (89.74)

\* En El Aljibe sólo se tuvo un muestreo por lo que no es posible estimar la riqueza esperada

Las Orquídeas (119.7 mg/L). Con respecto a las mayores concentraciones de dureza total, se midieron en La Galera durante poslluvias (2012) (153.9 mg/L) y estiaje y lluvias (2013) (171 y 153.9 mg/L, respectivamente), consecuencia del transporte del material río abajo; estas variables se encuentran en relación directa con el comportamiento del pH (Wetzel, 2001). Especies como *Amphora ovalis* registrada en Las Orquídeas en estiaje 2013 y las especies de *Nitzschia*, así lo indicaron durante toda la temporada de estudio (Van Dam *et al.*, 1994).

En cuanto a los valores de nitritos y amonio, se encontraron bajas concentraciones de estas variables como resultado de aguas bien oxigenadas (Wetzel, 2001). Sin embargo, estos compuestos fueron determinantes para la presencia de especies como *Craticula accomoda*, *Encyonema silesiacum*, *Eunotia veneris*, *E. quaternaria*, *Frustulia latita*, *Fragilaria capuccina* var. *vaucheriae*, *Gomphonema pseudoagur*, *Lemnicola hungarica*, *Navicula angusta*, *N. cryptocephala*, por mencionar algunas, las cuales toleran diversas concentraciones de estos elementos (Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Segura-García, 2011).

Salvo en el caso del amonio, la máxima concentración se midió en Las Orquídeas durante poslluvias (2013) (1.3 mg/L), lo que indicó que en el sitio hay contaminación de origen industrial (banco de extracción de materiales), por escorrentía de zonas de cultivo, huertas de aguacate y aguas residuales, es decir, elevada eutrofización. Especies como *Gomphonema lagenula*, *G. pseudoagur*, *G. pumilum*, *Navicula symmetrica*, *Nitzschia clausii*, *N. palea*, *Pinnularia interrupta*, *Planothidium lanceolatum*, *Rhopalodia brebisonii* y *Surirella minuta*, registradas en el sitio, han sido reportadas para otros países en ríos próximos a terrenos agrícolas cuyas escorrentías contienen alta concentración de fosfatos y nitratos, así como para aguas eutróficas (Cox, 1996; Dere *et al.*, 2006; Germain, 1981; Köster & Hübener, 2001; Krammer & Lange-Bertalot, 2004a, b; 2007a, b; Lange-Bertalot, 2001; Leland & Porter, 2000; Martínez de Fabricius *et al.* 2003; Ndiritu *et al.* 2006; Novelo *et al.* 2007; Novelo, 1998; Szczepocka & Szulc, 2006; Zampella *et al.* 2007). Lo anterior, es un escenario semejante que prevalece en Las Orquídeas.

En el sitio también se registraron especies como *Achnanthydium exiguum*, *A. minutissimum*, *Planothidium frequentissimum* o *Rhoicosphenia abbreviata* que son sensibles a la contaminación y reportadas

para aguas oligotróficas a mesotróficas (Cox, 1996; Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Prygiel & Coste, 2000; Segura-García, 2011), diatomeas provenientes por deriva, desde los manantiales que afloran en la zona y que se incorporan en este tramo del río.

Las diferencias de riqueza específica entre el manantial de la Yerbabuena durante el estiaje (2013) (Fig. 3) y el manantial y río Yerbabuena en la época de lluvias (2013) (Fig. 4) se debió especialmente al cambio de temporada, ya que durante el estiaje la profundidad del río fue menor, por lo que la turbulencia no fue tan intensa. En la temporada de lluvias aumentó el caudal y puesto que es un canal estrecho se generaron remolinos y corrientes circulares, lo que permitió una fuerza hidráulica importante para el transporte de partículas en suspensión (Reid & Wood, 1976). Por tanto, se propició el aumento en el número de especies para esta temporada.

El valor de diversidad de Shannon (H') sin diferencias significativas para Las Orquídeas y El aljibe en tres temporadas (Tabla 7) fue debido a que en ambas localidades se incorporan manantiales al sistema, lo que generó condiciones similares; además de compartir especies que se consideran indicadoras de aguas oligotróficas como *Achnanthydium minutissimum*, *Planothidium frequentissimum* y *Rhoicosphenia abbreviata* (Cox, 1996; Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lan-

Tabla 7. Diversidad estimada con el Índice de Shannon-Wiener por sitios/temporadas. En la columna de la derecha se indican las diferencias estadísticas entre sitios/temporadas. Letras diferentes representan valores de diversidad estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). Valores marcados en negritas representan el efecto de las condiciones de los sitios en la diversidad de diatomeas.

Sitio/Temporada	Valor de H'	
Las Orquídeas/lluvias 2013	<b>2.724</b>	A
El Aljibe/estiaje 2013	2.568	AB
Las Orquídeas/poslluvias 2013	2.542	AB
El río Yerbabuena/lluvias 2013	<b>2.467</b>	B
Las Orquídeas/poslluvias 2012	<b>2.408</b>	B
Las Orquídeas/estiaje 2013	<b>2.346</b>	C
Manantial La Yerbabuena/lluvias 2013	2.285	CD
El río Yerbabuena/estiaje 2013	<b>2.278</b>	D
Manantial La Yerbabuena/estiaje 2013	<b>2.235</b>	D
El río Yerbabuena/poslluvias 2012	<b>2.202</b>	D
El río Yerbabuena/poslluvias 2013	<b>2.19</b>	D
Manantial La Yerbabuena/poslluvias 2013	<b>2.1</b>	D
La Galera/lluvias 2013	<b>1.949</b>	D
Manantial La Yerbabuena/poslluvias 2012	<b>1.712</b>	E
La Galera/estiaje 2013	1.692	E
La Galera/poslluvias 2012	1.481	E

Tabla 8. Resultados de ANOSIM de una vía para la comparación de sitios/temporadas. Áreas sombreadas representan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Jaccard	Elaj	Lgal	Lorq	Yman	Yrío
Elaj	0				
Lgal	0.2621	0			
Lorq	0.4037	0.0258	0		
Yman	0.1955	0.0312	0.0288	0	
Yrío	0.4022	0.0272	0.1379	0.3113	0

ge Bertalot, 2004a, b; Prygiel & Coste, 2000; Segura-García, 2011). La presencia de *Encyonema silesiacum*, *Eolimna subminuscula*, *Gomphonema lagenula*, especies indicadoras de contaminación (Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Segura-García, 2011), en ambos sitios revelan condiciones eutróficas, ya que El Aljibe se ve impactado por los agroquímicos de huertas de aguacate y sembradíos cercanos y Las Orquídeas recibe los residuos generados por el banco de materiales establecido en el lugar.

La agrupación entre el río la Yerbabuena (lluvias y poslluvias, 2013) y Las Orquídeas (poslluvias, 2013), obtenida en el análisis por temporadas y sitios, indicaría que su afinidad es consecuencia de las condiciones del río en esta zona, es decir, aguas con elevada oxigenación, con tendencia a la alcalinidad. En ambos sitios se registró a *Planthidium frequentissimum* como indicadora de medios oligotróficos; en tanto, *Navicula rhychocephala*, *Nitzschia palea* y *Planthidium lanceolatum* señalan la incorporación de materia orgánica al sistema (Cox, 1996; Krammer & Lange Bertalot, 1997a, b; Krammer & Lange Bertalot, 2004a, b; Segura-García, 2011). En cuanto a La Galera, el río cruza en medio del poblado y los drenajes de las viviendas se vierten directamente al cauce sin ningún tipo de tratamiento. Las especies que estuvieron presentes en esta localidad son consideradas como tolerantes a niveles críticos de contaminación, indicadoras de ambientes hipereutróficos, bajas concentraciones de oxígeno disuelto y aumento de sólidos disueltos (Van Dam *et al.*, 1994; Cox, 1996; Lange-Bertalot, 2001; Krammer & Lange-Bertalot, 2004 b; Segura-García, 2011) (Fig. 6). Entre las especies que destacaron por su abundancia se encuentran *Navicula germainii*, *N. recens*, *Nitzschia clausii*, *N. inconspicua* y *N. palea* (Tabla 4).

De los grupos formados a partir del ACC, el perteneciente al del río Yerbabuena incluyó especies adaptadas a elevadas concentraciones de materia orgánica; el de La Galera es un buen indicador de ambientes perturbados por actividad humana (escorrentías de aguas residuales y potreros) (Lange-Bertalot, 2001; Krammer & Lange-Bertalot, 2004 b; Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998; Segura-García, 2011); mientras que el último grupo tolera bien la desecación y se encuentran en aguas oligotróficas a mesotróficas (Van Dam *et al.*, 1994; Lange-Bertalot, 2001; Krammer & Lange-Bertalot, 2004 b; Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998; Segura-García, 2011; Segura-García *et al.*, 2012).

Las especies de diatomeas encontradas en el presente estudio reflejaron las condiciones ambientales de cada sitio y temporada en las que fueron recolectadas, puesto que se identificaron especies indicadoras de aguas oligotróficas, ambiente inherente al nacimiento de un río, y especies que revelan contaminación proveniente de actividad urbana, industrial y agrícola.

Los resultados del presente estudio dieron a conocer que los géneros de diatomeas epilíticas mayormente representados fueron *Navicula* con 11 especies, *Nitzschia* y *Gomphonema* con 7 y *Pinnularia* con 6, todas pertenecientes al orden Pennales.

Fue evidente que las actividades humanas en la cabecera del río Zinapécuaro están modificando las características fisicoquímicas del agua, así como las condiciones ambientales en las que se encuentran los organismos. Especies de diatomeas previamente reportadas como indicadoras de sitios eutrofizados para otras regiones de México y del mundo fueron encontradas en este río como un efecto del impacto antrópico.

El análisis de las comunidades de diatomeas epilíticas de la cabecera del río Zinapécuaro ha demostrado ser muy útil para la evaluación de la variación espaciotemporal asociada a ella, sin embargo, es necesario continuar con muestreos estacionales que permitan caracterizar las condiciones ecológicas del cuerpo de agua, la utilidad de la composición, abundancia y distribución de las especies de diatomeas como bioindicadores de éste y otros sistemas acuáticos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los revisores anónimos sus comentarios, quienes contribuyeron a mejorar el trabajo; también al Dr. Luis Giovanni Ramírez Sánchez por la elaboración del mapa del área de estudio.

Tabla 9. Valores de correlación canónica obtenidos para los diferentes parámetros fisicoquímicos medidos en los diferentes sitios y épocas. El eje 1 está relacionado positivamente con la profundidad y negativamente con el pH y la dureza total. El eje 2 está correlacionado positivamente con los nitritos y el amonio.

Variante	Coeficientes de correlación canónica		
Profundidad Z (cm)	0.587639	0.325134	-0.431062
Temperatura T (°C)	0.317233	0.002609	-0.188714
pH	<b>-0.65557</b>	-0.190009	-0.293711
Oxígeno disuelto [O. D.] (mg/L)	0.02544	-0.0248693	-0.35453
Nitritos N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	0.02913	<b>0.724682</b>	0.0353778
Amonio N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	-0.02664	<b>0.279183</b>	0.657764
Alcalinidad a la fenofaleína Alc (fenof-mg/L)	-0.30149	0.140952	-0.012417
Dureza total Dt (mg/L)	<b>-0.97209</b>	-0.106322	-0.03616

## REFERENCIAS

- CORREA, P. G. 2003. *Atlas geográfico de Michoacán*. Secretaría de Educación Pública en Michoacán y Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. México. 308 p.
- COX, E. J. 1996. *Identification of freshwater diatoms from live material*. Chapman & Hall. Oxford. 158 p. DOI: 10.1017/S0967026296221006
- DE LEÓN, L. 2002. Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. In: Domínguez, A. & R. G. Prieto (Eds.). *Perfil Ambiental del Uruguay 2002*. Nordan-Comunidad, Montevideo.
- DERE, S., N. DALKIRON, D. KARACAĞLU, A. ELMACI, B. DÜLGER & E. SENTÜRK. 2006. Relationship among epipellic diatom taxa, bacterial abundances and water quality in a highly polluted stream catchment, Bursa-Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 112: 1-22. DOI: 10.1007/s10661-006-0213-7
- DÍAZ, R. J. 2013. *El Consejo de Cuenca Lerma Chapala, un análisis de la participación de los grupos de interés en la toma de decisiones*. Memorias del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Morelia, Mich. pp. 25-33. Disponible en línea en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013\\_Mem\\_IIIcongreso\\_cuencas.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2013_Mem_IIIcongreso_cuencas.pdf) (consultado el 20 de octubre 2014)
- DÍAZ, P. C. & N. I. MAIDANA. 2005. *Diatomeas de los salares. Atacama y Punta Negra. II Región Chile*. Centro de Ecología Aplicada. Minera Escondida Ltda. Santiago de Chile. 146 p.
- GAMBOA, M., R. REYES & J. ARRIVILLAGA. 2008. Macroinvertebrados como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* XLVIII (2): 109-120.
- GERMAIN, H. 1981. Flore des Diatomées, Diatomophycées, eux douces et saumâtres du Massif Armoricaïn et des contrées voisines d'Europe occidentale. Soc. Nouv. des Éd. Boubée. 444 p.
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1). 9 p. Disponible en línea en: [http://palaeoelectronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) (consultado el 28 de octubre de 2014)
- HANSON, P., M. SPRINGER & A. RAMÍREZ. 2010. Capítulo 1. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Biología Tropical* 58 (4): 3-37.
- ISERENTANT, R., L. ECTOR, F. STRAUB & D. U. HERNÁNDEZ-BECERRIL. 1999. Méthodes et techniques de préparation des échantillons de diatomées. *Cryptogamie Algologie* 20: 143-148.
- KELLY, M. G., A. CAZAUBON, E. CORING, A. DELL'UOMO, L. ECTOR, B. GOLDSMITH, H. GUASCH, J. HÜRLIMANN, A. JARLMAN, B. KAWECKA, J. KWANDRANS, R. LAUGASTE, E.-A. LINDSTRØM, M. LEITAO, P. MARVAN, J. PADISÁK, E. PIPP, J. PRYGIEL, E. ROTT, S. SABATER, H. VAN DAM & J. VIZINET. 1998. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *Journal of Applied Phycology* 10: 215-224. DOI: 10.1023/A:1008033201227
- KÖSTER, D & T. HÜBENER. 2001. Application of Diatom Indices in a Planted Ditch Constructed for Tertiary Sewage Treatment in Schwaan, Germany. *International Review of Hydrobiology* 86 (2): 241-252. DOI: 10.1002/1522-2632(200104)86:2<241::AID-IR0H241>3.0.CO;2-H
- KRAMMER, K. 1997. Die cymbelloiden Diatomeen; Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. *Encyonema part., Encyonopsis and Cymbellopsis. Bibliotheca Diatomologica*. Band 37. J. Cramer. Berlin. 469 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1997 a. Bacillariophyceae 2/1. Teil : Naviculaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 876 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1997 b. Bacillariophyceae 2/2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 437 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 2004 a. Bacillariophyceae. 2/3. Teil : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 598 p.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 2004 b. Bacillariophyceae. 2/4. Teil : Achnantheaceae Kritische Ergänzungen zu *Achnanthes* s. l., *Navicula* s. str., *Gomphonema*. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 468 p.
- LANGE-BERTALOT, H. 2001. *Diatoms of Europe. Diatoms of the european inland waters and comparable habitats. Navicula sensu stricto; 10 genera separated from Navicula sensu lato Frustulia*. Vol. 2. Gantner Verlag. K. G. 526 p.
- LELAND, H. & S. D. PORTER. 2000. Distribution of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use. *Freshwater Biology* 44: 279-301. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2000.00536.x
- LÓPEZ-FUERTE, F. O. & D. A. SIQUEIROS-BELTRONES. 2011. Diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur, México. *CONABIO. Biodiversitas* 99: 8-11.
- MAGURRAN, A. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd, Blackwell Publishing. UK. 215 p.
- MCALLECE, N., J. D. G. GAGE, P. J. D., LAMSHEAD & G. L. J. PATERSON. 1997. *BioDiversity Professional statistics analysis software*. Jointly developed by the Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London. Disponible en línea en: <http://www.sams.ac.uk/peter-lamont/biodiversity-pro#sthash.KpGHNtm1.dpuf> (Consultado el 20 de noviembre de 2014).
- MARTÍNEZ DE FABRICIUS, A., N. MAIDANA, N. GÓMEZ & S. SABATER. 2003. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). *Biodiversity and Conservation* 12: 2443-2454. DOI: 10.1023/A:1025857715437
- MESTRE, R., J. 2014. El Programa Nacional Hídrico 2013-2018. *H<sub>2</sub>O Gestión del Agua* 2: 26 - 32. Disponible en línea en: <http://issuu.com/>

- helios\_comunicacion/docs/h2o\_-\_2 (consultado el 25 de octubre de 2014)
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 2002. *Diatoms from the "Island Continent" Madagascar*. Gantner Verlag K. G. Germany. 286 p.
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 1998. *Tropical Diatoms of South America I; about 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora*. Iconographia Diatomologica. Vol. 5. Koeltz Scientific Books. 695 p.
- METZELTIN, D., H. LANGE-BERTALOT & F. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2005. Diatoms of Uruguay; taxonomy-biogeography-diversity. *Iconographia Diatomologica*. Vol. 15. Gantner Verlag, K. G. Germany. 736 p.
- NDIRITU, G. G., N. N. GICHUKI & L. TRIEST. 2006. Distribution of epilithic diatoms in response to environmental conditions in an urban tropical stream, Central Kenya. *Biodiversity and conservation* 15: 3267-3293. DOI: 10.1007/s10531-005-0600-3
- NOVELO, E., R. TAVERA & C. IBARRA. 2007. Bacillariophyceae from karstic wetlands in Mexico. *Bibliotheca Diatomologica*. Band 54. J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Berlin. Stuttgart. 136 p.
- NOVELO-MALDONADO, E. 1998. Floras ficológicas del Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias; División de Estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. 599 p.
- PEDRAZA-GARZÓN, E. & J. DONATO-RONDÓN. 2011. Diversidad y distribución de diatomeas en un arroyo de montaña de los Andes Colombianos. *Caldasia* 33 (1): 177-191.
- PENALTA-RODRÍGUEZ, M. & LÓPEZ-RODRÍGUEZ, M. 2007. Diatomeas y calidad del agua de los ríos del Macizo Central Gallego (Ourense, N.O. España) mediante la aplicación de índices diatomológicos. *Limnetica* 26 (2): 351-358.
- POTAPOVA, M. G. & D. F. CHARLES. 2002. Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography* 29 (2): 167-187. DOI: 10.1046/j.1365-2699.2002.00668.x
- PRYGIEL, J. & M. COSTE. 2000. Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354. Agences de l'Eau-Cemagref-Groupement de Bordeaux. Agences de l'Eau.
- REID, G. & R. WOOD. 1976. Ecology of inland waters and estuaries. D. Van Nostrand Co. USA. 485 p.
- SALOMONI, S. E., O. ROCHA, V. L. CALLEGARO & E. A. LOBO. 2006. Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravataí river, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia* 559: 233-246. DOI: 10.1007/s10750-005-9012-3
- SEGURA-GARCÍA, V. 2011. Taxonomía y ecología de las diatomeas epilíticas de la cuenca del Alto Lerma, México. Tesis de Doctorado en Ciencias (Limnología), Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 149 p.
- SEGURA-GARCÍA V., E. A. CANTORAL-URIZA, I. ISRADE & N. MAIDANA. 2012. Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water quality in the Upper Lerma River, Mexico. *Hidrobiológica* 22 (1): 16-27.
- SOININEN, J., R. PAAVOLA & T. MUOKTA. 2004. Benthic diatom communities in boreal streams: community structure in relation to environmental and spatial gradients. *Ecography* 27: 330-342. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2004.03749.x
- SZCZEPÓCKA, E. & B. SZULC. 2006. Benthic diatoms in the central section of the Pilica river and Sulejów reservoir. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology XXXV* (2): 171-178.
- TANG, T., Q. CAI, & J. LIU. 2006. Using epilithic diatom communities to assess ecological condition of Xiangxi river system. *Environmental Monitoring and Assessment* 112: 347-361. DOI: 10.1007/s10661-006-7666-6
- VALDÉZ, B., M. SCHORR, M. CARRILLO, R. ZLATEV, G. MONTERO, H. CAMPBELL, J. OCAMPO, N. ROSAS & L. VARGAS. 2013. Corrosión en la Industria geotermoelectrica. Pp: 49-68. In: Valdéz, B & W. Schorr (Eds.). *Corrosión y preservación de la infraestructura industrial*. Barcelona, España. *OmniaScience*. DOI: 10.3926/oms.36
- VAN DAM, H., A. MERTENS & J. SINKELDAM. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28 (1): 117-133. DOI: 10.1007/BF02334251
- WALKER, C. & Y. PAN. 2006. Using diatom assemblages to assess urban stream conditions. *Hydrobiologia* 561: 179-189. DOI: 10.1007/1-4020-5070-4\_13
- WEILHOEFER, C. & Y. PAN. 2006. Diatom assemblages and their associations with environmental variables in Oregon Coast Range streams, USA. *Hydrobiologia* 561: 207-219. DOI: 10.1007/s10750-005-1615-1
- WETZEL, R. 2001. *Limnology*. Saunders College Publishing. USA. 767 p.
- ZAMPELLA, R. A., K. J. LAIDIG & R. L. LOWE. 2007. Distribution of diatoms in relation to land use and pH in blackwater coastal plain streams. *Environmental Management* 39: 369-384. DOI: 10.1007/s00267-006-0041-0
- ZAR, J. H. 2010. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey, USA. 944 p.
- ZUBIETA-ROJAS, T., C. E. CRIOLLO ARÉVALO, C. ORTIZ PANIAGUA & J. ESPINO ESPINO. 2010. Componente socioeconómico, demográfico y sectorial. In: Villaseñor-Gómez, L. E. (Ed.). *Informe final del ordenamiento ecológico territorial del municipio de Zinapécuaro, Michoacán*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Michoacán. pp. 176-209.

**Recibido:** 12 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 20 de junio de 2016.



## Morphological and molecular evidence for *Osmundea coelenterata* comb. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) from the tropical Atlantic Ocean

## Evidencias morfológicas y moleculares para *Osmundea coelenterata* comb. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) del Océano Atlántico tropical

Mutue T. Fujii<sup>1</sup>, Abel Senties<sup>2</sup>, Abdiel Jover C.<sup>3</sup>, Jhoana Díaz-Larrea<sup>2</sup> and Arsenio Areces<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Pesquisa em Ficologia, Instituto de Botânica, Av. Miguel Estéfano, 3687 - 04301-902 São Paulo. Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Apdo. Postal 55-535, CDMX, 09340. México

<sup>3</sup>Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Patricio Lumumba s/n. CP: 90500 Santiago de Cuba. Cuba

<sup>4</sup>Instituto de Oceanología, Primera no. 18406, Rpto. Flores, Playa, Habana. Cuba  
e-mail: mutue.fujii@pq.cnpq.br

Fujii M. T., A. Senties, C. A. Jover, J. Díaz-Larrea and A. Areces. 2016. Morphological and molecular evidence for *Osmundea coelenterata* comb. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) from the tropical Atlantic Ocean. *Hidrobiológica* 26 (2): 203-211.

### ABSTRACT

**Background.** As part of the monographic studies on the *Laurencia* complex (Rhodomelaceae, Rhodophyta) from Cuba, detailed taxonomic research was carried out on *Laurencia coelenterata*, a diminutive species collected in Santiago de Cuba, in the eastern Cuban archipelago. The vegetative and reproductive features of the species clearly belong to the genus *Osmundea*, a member of the *Laurencia* complex: two pericentral cells per each vegetative axial segment, tetrasporangia cut off randomly from cortical cells, and filament-type spermatangial branches. **Goals.** In this study the morphological characteristics previously unknown to *Laurencia coelenterata* are shown, and in order that their taxonomic position within the *Laurencia* complex is discussed. Furthermore, the global geographic distribution of the *Osmundea* species is analysed. **Methods.** Morphological and molecular analysis of the *rbcl* gene sequences were performed allied with the preparation and interpretation of phylogenetic hypotheses. **Results.** The new morphological analysis of the paratype specimen (# 4451) housed in the Puertorriqueño Marine Herbarium showed that *Laurencia coelenterata* was incorrectly placed in the genus *Laurencia*. The phylogenetic position of the present species was inferred by the analysis of the chloroplast-encoded *rbcl* gene sequences, and the range of the genetic variation found in this analysis also supports the transfer of *Laurencia coelenterata* to the genus *Osmundea*, as *O. coelenterata* (D. L. Ballantine *et* Aponte) M.T. Fujii, Senties *et* Areces. **Conclusions.** The morphological and molecular approach in algal taxonomy is allowing consolidate the nomenclatural status of the species, and the new combination for *Laurencia coelenterata* as *Osmundea coelenterata* is not an exception.

**Key words:** *Laurencia* sensu lato, *Osmundea*, *rbcl*, Santiago de Cuba, taxonomy.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Como parte de los estudios monográficos sobre el complejo *Laurencia* (Rhodomelaceae, Rhodophyta) en Cuba, se llevó a cabo la recolecta e investigación taxonómica detallada de una pequeña especie *Laurencia coelenterata*, presente en Santiago de Cuba, región oriental del archipiélago cubano. Los caracteres vegetativos y reproductivos presentes en esta especie y que son exclusivos del género *Osmundea* (miembro del complejo *Laurencia*) son: dos células periacentrales por cada segmento axial vegetativo, los tetrasporangios nacen al azar de las células corticales y las ramas espermatangiales son de tipo "filamento". **Objetivos.** En este trabajo se describen caracteres morfológicos previamente no conocidos para *Laurencia coelenterata* y se discute su posición taxonómica dentro del complejo *Laurencia*. Además se analiza la distribución geográfica global de las especies de *Osmundea*. **Métodos.** Se realizaron análisis morfológicos y moleculares de secuencias del gen *rbcl*. Complementándose con la elaboración e interpretación de las hipótesis filogenéticas. **Resultados.** El análisis morfológico actual del paratipo (# 4451) resguardado en el Herbario Marino Puertorriqueño mostró que *L. coelenterata* fue ubicado de manera incorrecta dentro del género *Laurencia*. La posición filogenética de esta especie fue inferida por secuencias del gene cloroplástico *rbcl* y el intervalo de variación genética encontrado, también soporta la transferencia de *Laurencia coelenterata* al género *Osmundea*, como *O. coelenterata* (D. L. Ballantine *et* Aponte) M.T. Fujii, Senties *et* Areces. **Conclusiones.** La aproximación morfológica y molecular en la taxonomía algal esta permitiendo consolidar el status nomenclatural de las especies, este estudio no es la excepción para la nueva combinación de *Osmundea coelenterata*.

**Palabras clave:** *Laurencia* sensu lato, *Osmundea*, *rbcl*, Santiago de Cuba, taxonomía.

## INTRODUCTION

*Laurencia coelenterata* D. L. Ballantine and Aponte (Ballantine *et Aponte*, 1995) is a diminutive species, originally collected from the Dry Tortugas, Florida, at 9 m depth. According to the authors, the name given to it was due to the superficial resemblance of juvenile plants to an anemone. Despite this characteristic, the species is not easily found in the natural environment because of its small thalli.

The taxonomy of the red algal genus *Laurencia* J. V. Lamouroux *sensu lato* is extremely complicated because of the large degree of morphological plasticity and worldwide distribution from temperate to tropical oceans. Consequently, the taxonomic position of the species in this group has changed rapidly as new morphological and molecular data are processed. In the roughly two hundred years since the creation of the genus *Laurencia* (Lamouroux, 1813), many changes have been proposed in what we currently refer to as the *Laurencia* complex, made up of seven formally proposed genera: *Laurencia sensu stricto*, *Osmundea* Stackhouse (Stackhouse, 1809), *Chondrophyucus* (Tokida *et Saito*) Garbary *et J. T. Harper* (Garbary & Harper, 1998), *Palisada* (Yamada) K. W. Nam (Nam, 2007), *Laurenciella* Gil-Rodríguez, Senties, Díaz-Larrea, Cassano *et M. T. Fujii* (Cassano *et al.*, 2012), and most recently *Coronaphycus* Metti, (Metti *et al.*, 2015).

In the Cuban archipelago, the *Laurencia* complex has 17 species, distributed into 3 genera: *Laurencia sensu stricto* (11), *Palisada* (5), and *Yuzurua* (1 with two varieties) (Suárez *et al.*, 2015).

During the *Laurencia* complex expedition to the eastern coast of the Cuban archipelago, *Laurencia coelenterata* was found growing on the consolidated substrata in a biogenic sand beach, with limestone and beds of the seagrass *Thalassia testudinum* Banks *ex König* at the bottom. The detailed morphological studies carried out on this material revealed vegetative and reproductive characteristics belonging to the genus *Osmundea*, and not to the genus *Laurencia* (Ballantine & Aponte, 1995). In this study, previously unknown morphological features of *L. coelenterata* are revealed that justify its transfer to *Osmundea*. Emendation to the species's original description is provided. The new combination is corroborated by chloroplast-encoded *rbcl* gene-sequence analysis.

## MATERIAL AND METHODS

**Study area.** Samples were collected at the Cazonal beach, Santiago de Cuba (19° 53'39" N and 75° 31'8.7" W), Cuba. Cazonal is a biogenic sand beach, 60 cm deep, with isolated limestone and beds of the seagrass *Thalassia testudinum* at the bottom. The beach is located 52 km east of the city of Santiago de Cuba.

**Morphological study.** Transverse and longitudinal hand sections were made with a stainless-steel razor blade and stained with 0.5% aqueous aniline blue solution, acidified with 1N HCl, to highlight the diagnostic morphological features.

The microscopic measurements were obtained using a calibrated ocular micrometer. Photographs were taken with a Panasonic FT3 Lumix digital camera and the photomicrographs were obtained using a Zeiss AxioCam ERC-5S digital camera (Göttingen, Germany) coupled to an Axioskop 2 Zeiss microscope (Göttingen, Germany). The vouchers were deposited at the herbarium of the Instituto de Botânica, at São Paulo, Brazil (SP) and at the phycological collections of the Oriente University, at Santiago de Cuba, Cuba (FCA 191-ah).

**Molecular study.** Samples for molecular analysis were cleaned, dried, and preserved in silica gel. Total DNA was extracted using a DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN, Valencia, CA, USA), according to the manufacturer's instructions. The *rbcl* gene was amplified in three overlapping fragments with the primer pairs suggested by Freshwater & Rueness (1994), using the Taq polymerase chain reaction (PCR) Core Kit (QIAGEN). All PCR products were analyzed by electrophoresis in 1% agarose to confirm product size. The PCR products were purified with the QIAquick Purification Kit (QIAGEN) according to the manufacturer's recommendations. Cycle sequencing was carried out on an ABI PRISM 3100 Genetic Analyzer (Applied Biosystems, Carlsbad, CA, USA), using the BigDye Terminator Cycle Sequencing Reaction Kit (Applied Biosystems). Primers were used for PCR amplification and cycle sequencing. Sequences were analyzed with Sequence Navigator software, version 1.0.1 (Applied Biosystems).

**Phylogenetic analyses.** Phylogenetic relationships were inferred with PAUP\* version 4.0b10 (Swofford 2002) and MrBayes v.3.0 beta 4 (Huelsenbeck & Ronquist, 2001). Maximum parsimony (MP) trees were constructed by applying the heuristic search option, tree-bisection-reconnection (TBR) branch swapping, with unordered and unweighted characters, and gaps treated as missing data. Modeltest software, version 3.7 (Posada & Crandall, 1998), was used to find the model of sequence evolution least rejected in each data set by a hierarchical likelihood ratio test. Once the evolution model had determined a Maximum Likelihood (ML), searches were performed by applying the estimated parameters (substitution model, gamma distribution, proportion of invariant sites, and frequencies of the bases). Maximum likelihood analysis was then employed to construct the most likely tree from the data set. Maximum Likelihood and MP branch supports were calculated by nonparametric bootstrapping analysis (Felsenstein, 1985), as implemented in PAUP\*.

The general time-reversible model of nucleotide substitution with invariant sites and gamma-distributed rates for the variable sites (GTR + I + G) were used for Bayesian analysis (BI). This model was selected based on an ML ratio test implemented by the software Modeltest, version 3.06 (Posada & Crandall, 1998), with a significance level of 0.01. For Bayesian analysis, we ran four chains of Markov Chain Monte Carlo, sampling one tree every 1,000 generations for 4,000,000 generations, starting with a random tree. A 50% consensus tree-majority rule (as implemented by PAUP\*) was computed after the burn-in point. The range of *rbcl* divergence values within and between species was calculated using uncorrected "p" distances obtained from PAUP\*.

## RESULTS

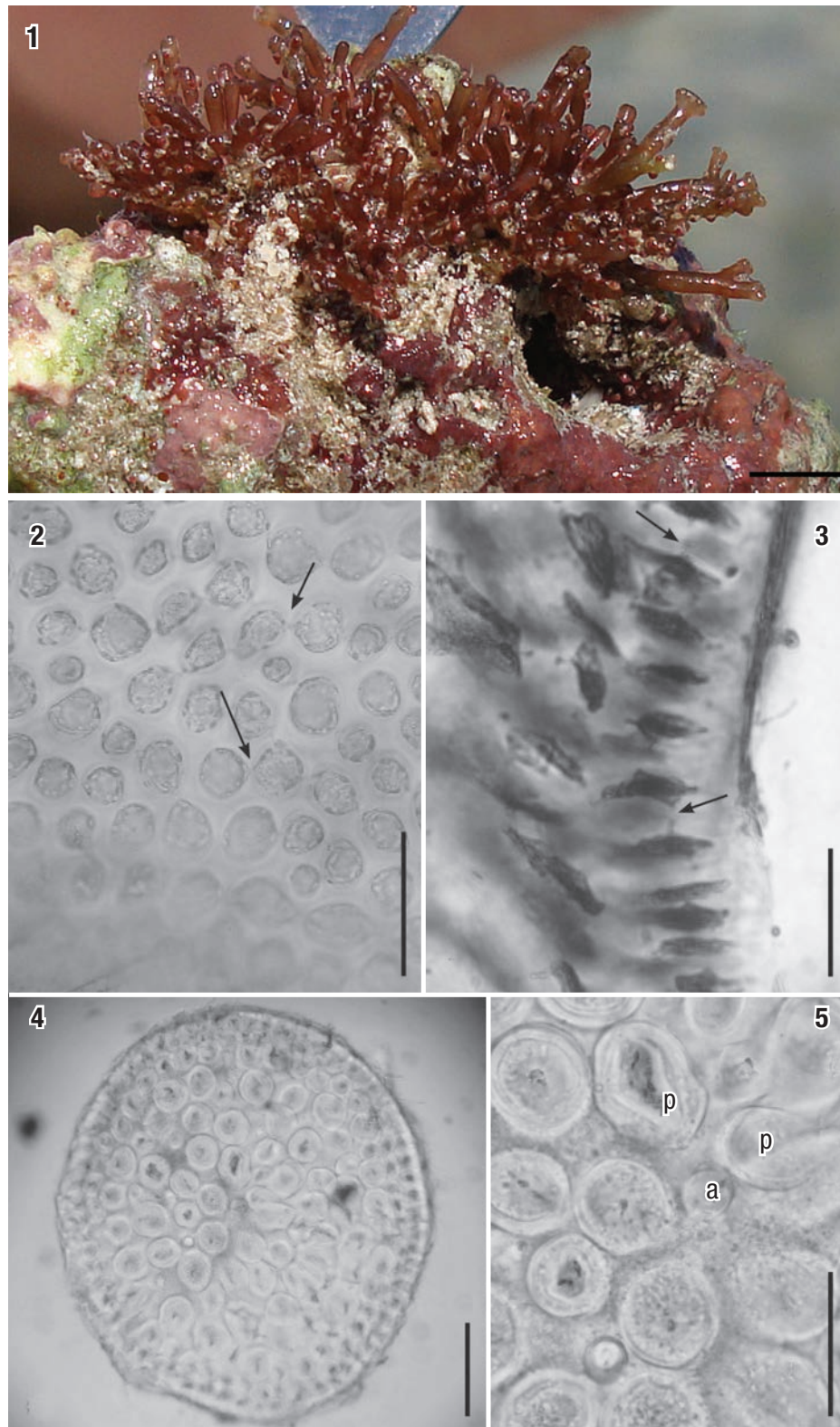
***Osmundea coelenterata* (D.L. Ballantine *et Aponte*) M.T. Fujii, Senties *et Areces comb. nov.* (Figs 1-9).**

BASIONYM: *Laurencia coelenterata* D.L. Ballantine *et Aponte*, 1995, Bot. Mar. 38: 417-418, figs. 1-2).

HOLOTYPE: US (D.L. Ballantine # 3908)

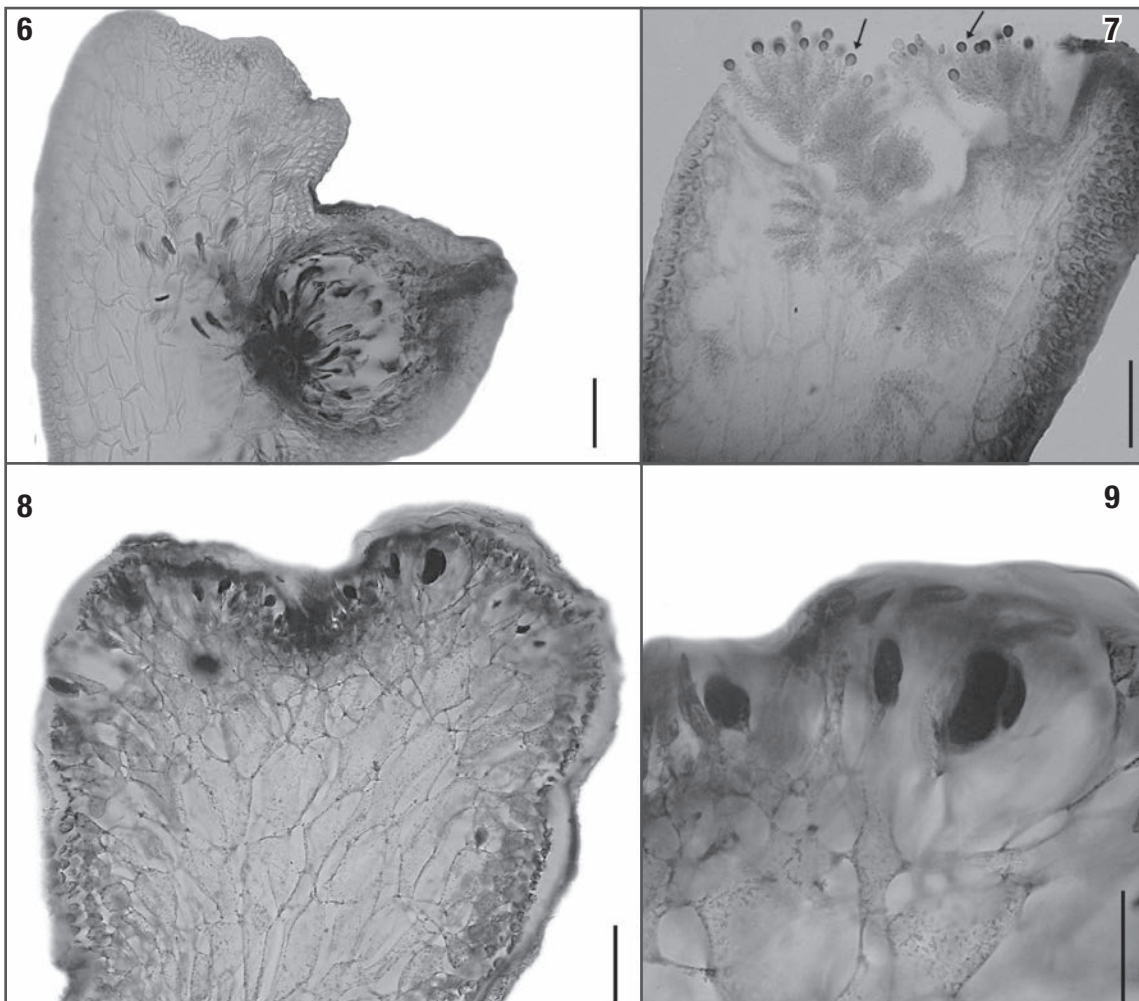
PARATYPE: Herbario Marino Puertorriqueño # 4451!

TYPE LOCALITY: Pulaski Shoals, Dry Tortugas, Florida, USA (24°41.661" N, 82°42.296"W).



Figures 1-5. *Osmundea coelenterata* comb. nov. 1 Aspect of a tuft from Cuba on the natural substrate. Scale bar: 2 mm. 2-3) Cortical cells in surface view and in longitudinal section view, respectively. Arrows indicate secondary pit connections. 4) Transverse section of the thallus (note thick-walled medullary cells). 5) Detail of medulla in transverse section, showing an axial cell (a) with two pericentral cells (p). Scale bars = 100  $\mu$ m (Figs 2, 5), 50  $\mu$ m (Fig. 3) and 200  $\mu$ m (Fig. 4).





Figures 6-9. *Osmundea coelenterata* comb. nov. 6) Longitudinal section through a mature cystocarp (note the cystocarp partially immersed in the thallus). 7) Longitudinal section through a cup-shaped spermatangial pit, showing "filament-type" spermatangial branches originated from cortical cells, and terminating in a single vesicular sterile cell (arrows). 8-9) Longitudinal sections through the tetrasporangial branches, with tetrasporangia originated from cortical cells, and showing right angle arrangement in relation to the branch. Scale bars = 100  $\mu$ m (Figs 6, 8), 50  $\mu$ m (Figs 7, 9).

**Amended diagnosis:** vegetative axial segment with two pericentral cells, whose diameters are slightly smaller than those of the surrounding cells; male gametophytes with 'filament-type' spermatangial branches originated from apical and cortical cells; tetrasporangia are randomly produced from cortical cells at the apex of the branches.

**Habit:** plants forming tufts, strongly attached to the substrate by a discoid holdfast, rigid, cartilaginous in texture, not adhering to herbarium paper when dried. The thalli are reddish-brown, the axes terete to slightly compressed, claviform, 3-4 mm high and 500-800  $\mu$ m diameter. The axes are sparsely branched and the branches are produced alternately. Short branchlets are present in the apical portions of some branches and axes, giving the species a very characteristic appearance (Fig. 1).

**Vegetative structures:** in surface view, cortical cells are rounded, regularly arranged throughout the thalli, 10-25  $\mu$ m diameter, with secondary pit connections frequently present between the cortical cells (Fig. 2). *Corps en cerise* absent. In transverse section, thalli with one-two layers of quadratic to slightly radially elongated pigmented cortical cells, not arranged as palisade, 20-35  $\mu$ m high x 20-30  $\mu$ m wide in the middle portions of the main axes (Fig. 3). Medullary region with three or four layers of colorless cells, rounded, (50)90-130  $\mu$ m diameter, where the pericentral cells are smaller than those in the other layers. Medullary cell walls are extremely thick and can almost completely fill the lumen of the cells. However, lenticular thickenings are absent (Figs 4-5). Each vegetative axial segment cuts off two pericentral cells, rounded, 90-130  $\mu$ m diameter (Fig. 5). In median longitudinal section through a branchlet, cortical cell walls near apices not projecting beyond the surface.



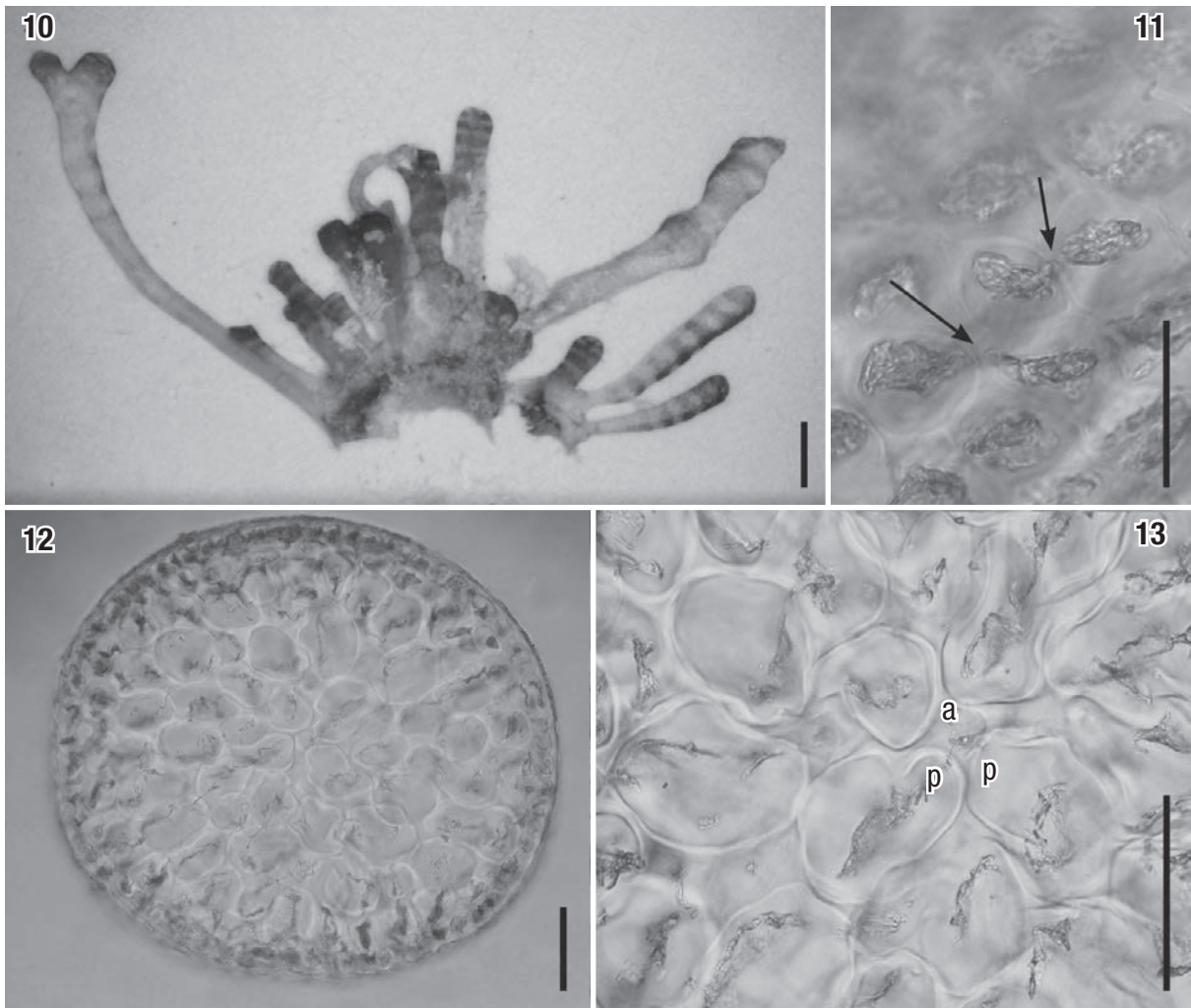
Reproductive structures: female gametophytes are characterized by laterally bearing cystocarps partially immersed in the thalli. The cystocarps are pyriform, 350-500  $\mu\text{m}$  diameter, bearing a prominent carpostome. Carpospores are claviform, 40-45  $\mu\text{m}$  high x 10-15  $\mu\text{m}$  wide, and are produced abundantly (Fig. 6). Male gametophytes have filament-type spermatangial branches originating in cortical cells in the cup-shaped spermatangial pit. Spermatangial branches bear spermatangial mother cells that give rise to several elliptical spermatangia, 4-8  $\mu\text{m}$  diameter, each with a single distally located nucleus, and usually terminating in one elliptical vesicular sterile cell, 7-8.5  $\mu\text{m}$  high x 6.0-6.5  $\mu\text{m}$  wide. (Fig. 7). Tetrasporangia are cut off randomly from the cortical cells at the apex of the branches and have a diameter of 50-80  $\mu\text{m}$ , displaying right-angle arrangement in relation to the longitudinal axes. The fertile pericentral cells cut off two presporangial cover cells distally and the tetrasporangia. The post-sporangial cell was not discernible (Figs. 8-9).

**Habitat and distribution:** The holotype specimens were collected by SCUBA at 9 m depth at the Dry Tortugas, Florida, USA. In Santiago de Cuba, however, *Osmundea coelenterata* was found growing on the consolidated substrata in a biogenic sand beach, with isolated limestone and beds of the seagrass *Thalassia testudinum* at the bottom.

**Material examined:** CUBA: IDO-161, Cayo Paredon Grande, Archipiélago Jardines del Rey (intertidal), 21.x.1992, Leg. A. Areces (SP 401499). Santiago de Cuba, Playa Cazonal, 12.xi.2008, Leg. A. Jover Capote, female, male, and tetrasporangial specimens (FCA 191-ah).

Additional material examined: *Laurencia coelenterata*, USA, Dry Tortugas, Pulaski Shoals, 9 m, 17.ix.1991, Leg. David L. Ballantine, (Herbario Marino Puertorriqueño # 4451 - Paratype) (Figs 10-13).

**Molecular analyses.** A total of 37 sequences were analyzed including five outgroup taxa, *Bostrychia radicans* (Montagne) Montagne, *Chondria*



Figures 10-13. Paratype of *Laurencia coelenterata* (# 4551). 10) Habit of the plant. 11) Cortical cells in surface view, showing a secondary pit-connection between them (arrows). 12) Transverse section of the thallus. 13) Detail of the upper portion of a branch with an axial cell (a) and two pericentral cells (p). Scale bars: 1 mm (Fig. 10), 50  $\mu\text{m}$  (Figs 11 and 13) and 100  $\mu\text{m}$  (Fig. 12).

*collinsiana* M. A. Howe, *C. dasyphylla* (Woodward) C. Agardh, *C. californica* (Collins) Kylin in the Rhodomelaceae, and *Ceramium brevizonatum* H. E. Petersen in the Ceramiaceae. Maximum Parsimony, ML and BI topologies were similar. The first 50 nucleotides and the last 40 bp of all *rbcl* sequences were removed, producing a data set of 1377 base pairs, and the rest of the sequences were aligned without ambiguity.

Intergeneric divergence varied from 9.2 to 13.7% for *Laurencia* and *Osmundea* from 8.5 to 12% for *Chondrophycus* and *Laurencia*, from 9 to 11.5% for *Chondrophycus* and *Osmundea*, from 8 to 10% for *Laurenciella* and *Laurencia*, from 8.2 to 10% for *Laurenciella* and *Palisada*, from 10 to 11% for *Laurenciella* and *Chondrophycus*, from 10 to 13% for *Laurenciella* and *Osmundea*, from 9.8 to 10.2% *Laurenciella* and *Yu-*

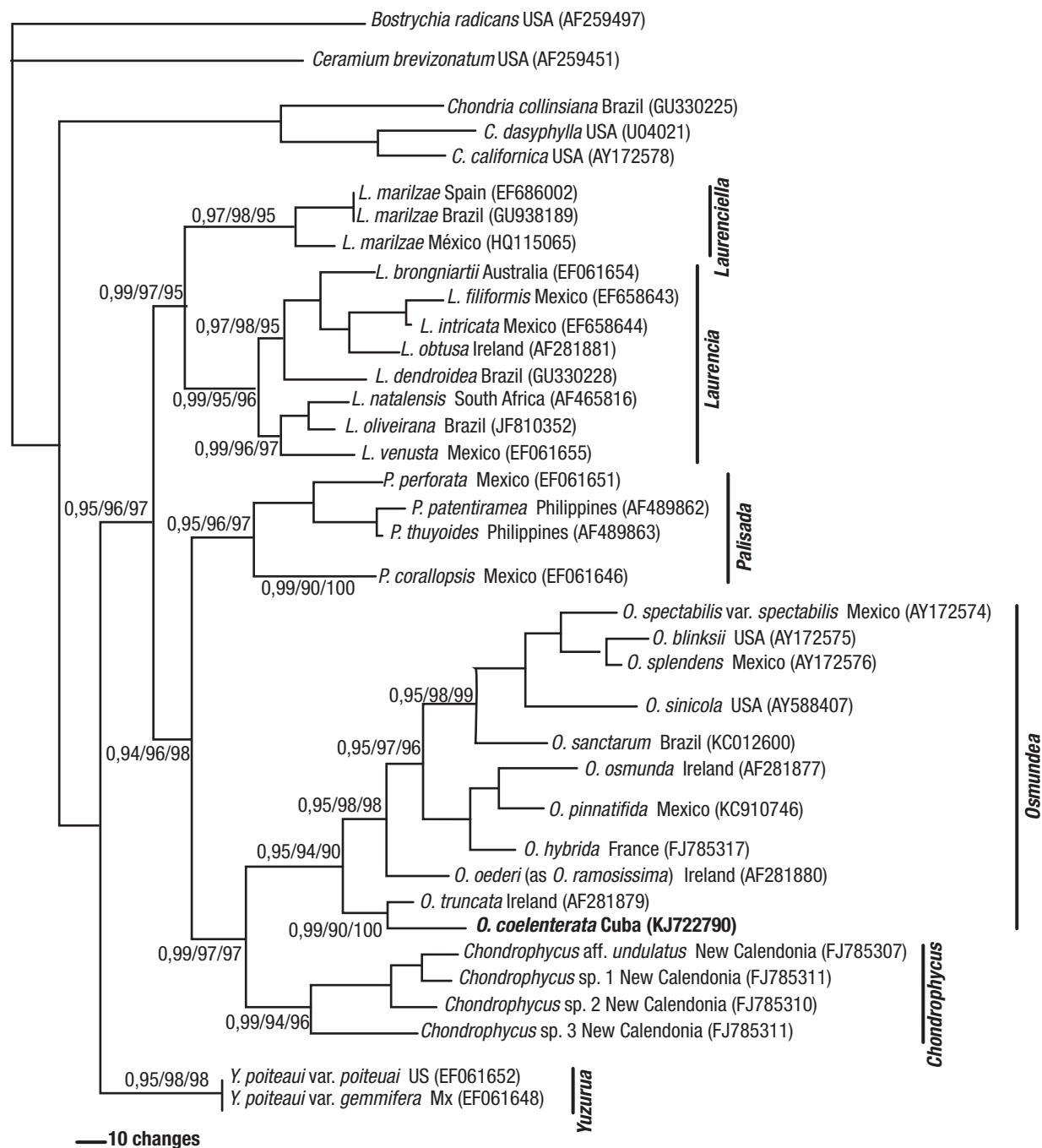


Figure 14. Phylogenetic relationships in the *Laurencia* complex based on Bayesian analysis of *rbcl* DNA sequences. Bayesian posterior probability/MP bootstrap/and ML bootstrap values are indicated at the nodes. Taxa marked in bold indicate newly determined sequence.

zurua, from 7 to 10.5% for *Laurencia* and *Palisada*, from 8.5 to 10% for *Laurencia* and *Yuzurua*, from 8 to 9.2% for *Palisada* and *Chondrophycus*, from 8.5 to 12.5% for *Palisada* and *Osmundea*, from 8 to 10.5% for *Palisada* and *Yuzurua*, from 9.5 to 10.8% for *Chondrophycus* and *Yuzurua*, and from 10.5 to 11.9% for *Osmundea* and *Yuzurua*.

Interspecific divergence obtained for the species of *Laurencia* varied from 1 to 6%, from 1.3 to 6% for *Palisada*, from 1.8 to 7% for *Osmundea*, from 1.3 to 1.5% for *Laurenciella*, 0.5% for *Yuzurua*, and from 1.6 to 6% for those of *Chondrophycus*.

Finally, the divergence of the Cuban specimen from other *Osmundea* species was 3.0-8.5%.

The topology of the majority rule Bayesian tree is shown in Figure 14. The data set consisted of 907 constant characters, 170 parsimony informative sites, and 300 parsimony non-informative sites.

The analyses show a monophyletic *Laurencia* complex with high bootstrap support in relation to the members of the outgroups. The *Laurencia* complex separated into six clades with high bootstrap support, corresponding to the following genera: *Laurencia*, *Chondrophycus*, *Osmundea*, *Palisada*, *Laurencia*, and *Laurenciella*.

The monophyletic clade that corresponded to the genus *Osmundea* included eleven species. Within the *Osmundea* assemblage, the Cuban specimen formed a well-supported clade with *O. truncata* (Kützing) K.W.Nam *et Maggs* from Ireland.

## DISCUSSION

The Cuban specimens formed a well-supported clade with other species of *Osmundea* corroborating the morphological data. The divergence of the Cuban specimen from other *Osmundea* species was high, which confirms that it constitutes an authentic taxonomic entity. The intergeneric and interspecific divergence values obtained in the present work are similar to those reported by other authors for the *Laurencia* complex (McIvor *et al.*, 2002; Cassano *et al.*, 2012a,b; Machin-Sanchez *et al.*, 2014; Metti *et al.*, 2015).

The genera *Laurencia* and *Osmundea* are clearly distinguished genetically as well as morphologically. Some features, such as the presence of the secondary pit connections between cortical cells and the presence/absence of lenticular thickening are shared by both genera, but the majority of diagnostic morphological features are distinct, such as four pericentral cells per vegetative segment in *Laurencia* against two in *Osmundea*; the origin of spermatangia and tetrasporangia is random from cortical cells in *Osmundea*, whereas in *Laurencia* they are from a particular fertile pericentral cell.

The tetrasporangial arrangement in superficial view of the branches is parallel in *Laurencia*, whereas it can be parallel or right-angled in *Osmundea*.

Ballantine and Aponte (1995) had already noticed that *L. coelenterata* does not conform to Saito's (1967) concept of the subgenera *Laurencia* and *Chondrophycus*, since the species possesses tetrasporangia with a right-angle arrangement (a character of the subgenus *Chondrophycus*), and secondary pit connections between cortical cells (a character of the

subgenus *Laurencia*). Currently, we know that the right-angle arrangement of tetrasporangia is shared mainly by the species of *Chondrophycus*, *Palisada*, and *Yuzurua*, and pit connections between adjacent cortical cells could be present in all members of the *Laurencia* complex (Nam 2006, Cassano *et al.* 2012, Metti *et al.* 2015).

*Osmundea truncata* from Ireland is the closest species to this species, although their gross morphology is completely distinct. The thallus in *O. truncata* is up to 5 cm high, slightly or strongly compressed and abundantly branched (Machin-Sánchez *et al.*, 2012), whereas in *O. coelenterata* it is smaller (3-4 mm), terete, and branching is rare. In relation to the anatomical comparison, *Osmundea truncata* and *O. coelenterata* have in common the presence of longitudinally arranged secondary pit connections between adjacent cortical cells and cup-shaped spermatangial pit. Lenticular thickenings are present in the former but absent in the latter. Furthermore, the genetic divergence between these species is 1.5%, clearly representing two distinct species of *Osmundea*.

The geographic distribution of the *Osmundea* species was analyzed based on dataset presented by Guiry and Guiry (2015). In this database, there are 24 species (and infraspecific) names, of which 20 have been flagged as currently accepted taxonomically. Eight species (40%) of these occur exclusively in the North American Pacific: *O. blinksii* (Hollenberg *et al.* A. Abbott) K. W. Nam, *O. crispa* (Hollenberg) K. W. Nam, *O. estebaniana* (Setchell & N. L. Gardner) J.N. Norris, *O. multibulba* (E.Y. Dawson, Neushul *et Wildman*) K. W. Nam, *O. purepecha* Senties, Mendoza-González *et Mateo-Cid*, *O. spectabilis* (Postels *et Ruprecht*) K. W. Nam, and *O. splendens* (Hollenberg) K. W. Nam.

*Osmundea lata* (M. Howe *et W.R.* Taylor) Yoneshigue-Valentin, M. T. Fujii *et Gurgel* and *O. sanctarum* M. T. Fujii *et Rocha-Jorge* occur only in Brazil and they have restricted and timely distribution in subtidal conditions, under the influence of cold waters of the South Atlantic Central Waters (Howe & Taylor, 1931; Yoneshigue-Valentin *et al.*, 1995, 2003; Rocha-Jorge *et al.*, 2013).

The Northern hemisphere of the Atlantic Ocean, including the Mediterranean, Adriatic Sea, and Macaronesia houses 50% of the *Osmundea* species known to date: *O. hybrida* (A. P. de Candolle) K. W. Nam, *O. maggsiana* Serio, Cormaci *et G.* Furnari, *O. oederi* (Gunnerus) G. Furnari, *O. osmunda* (S. G. Gmelin) K. W. Nam and Maggs, *O. pedicularioides* (Børgesen) G. Furnari, Serio *et Cormaci*, *O. pelagiensis* G. Furnari, *O. pelagosae* (Schiffner) K. W. Nam, *O. pinnatifida* (Hudson) Stackhouse, *O. truncata* (Kützing) K. W. Nam *et Maggs*, and *O. verlaquei* G. Furnari (Gury & Gury 2015). Except *Osmundea maggsiana* and *O. pelagiensis* that are reported only from the Mediterranean and/or Adriatic Sea (Cormaci *et al.*, 1994; Serio *et al.*, 2008), all others are widely distributed in the Northern Atlantic Ocean and beyond but have never occurred in the North American Pacific.

*Osmundea pinnatifida* is the most widely distributed species in the northern hemisphere of the Atlantic Ocean and also in the Indian and Pacific Oceans (Guiry & Gury, 2015), characterizing the Hommersand's late Tethyan distribution pattern, according to McIvor *et al.* (2002), corroborated by Furnari *et al.* (2004). The reference to this species in Brazil was never confirmed nor was *O. hybrida* (Fujii *et al.*, 2011).



The geographic distribution pattern found for the species of *Osmundea* suggests their affinity to temperate and warm temperate conditions. Therefore, this is the first report of *Osmundea* in the Caribbean, occurring in a typical tropical environment. This fact indicates that further studies are needed in the Caribbean region and in the Western Atlantic.

### ACKNOWLEDGEMENTS

This work was partially supported by research grants from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Proc. 484647/2012-1) and the “Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo” (FAPESP-Proc. 2012/18775-6). M.T.F. thanks CNPq for a Productivity Fellowship (Proc. 303915/2013-7). A.S. thanks both the UAMI, Consejo de la Div. C.B.S., (Sesión 15.14-131014), and the Secretaría de Educación Pública-PRONAP (UAMI-CA-117). We are very grateful to Dr. David L. Ballantine for sending us the paratype material cited in this study, to Dr. Michel J. Wynne for reading the manuscript and his valuable suggestions for improvement, and to Dr. Liliana María Gómez Luna for her inestimable logistic support.

### REFERENCES

- BALLANTINE, D. L. & N. E. APONTE. 1995. *Laurencia coelenterata* (Rhodomelaceae, Rhodophyta), a new diminutive species from the Dry Tortugas, Florida. *Botanica Marina* 38: 417-421. DOI: 10.1515/botm.1995.38.1-6.417
- CASSANO, V., Y. METTI, A. J. K. MILLAR, M. C. GIL-RODRÍGUEZ, A. SENTÍES, J. DÍAZ-LARREA, M. C. OLIVEIRA & M. T. FUJII. 2012a. Redefining the taxonomic status of *Laurencia dendroidea* (Ceramiales, Rhodophyta) from Brazil and the Canary Islands. *European Journal of Phycology* 47: 67-81. DOI: 10.1080/09670262.2011.647334
- CASSANO, V., M. C. OLIVEIRA, M. C. GIL-RODRÍGUEZ, A. SENTÍES, J. DÍAZ-LARREA & M. T. FUJII. 2012b. Molecular support for the establishment of the new genus *Laurenciella* within the *Laurencia* complex (ceramiales, Rhodophyta). *Botanica Marina* 55: 349-357. DOI: 10.1515/bot-2012-0133,
- CORMACI, M., G. FURNARI & D. SERIO. 1994. Two new species of *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta) from the Mediterranean Sea: *Laurencia pelagiensis* sp. nov. and *Laurencia verlaquei* sp. nov. *Japanese Journal of Phycology* 42: 365-375.
- FELSENSTEIN, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution* 39: 783-791. DOI: 10.2307/2408678
- FRESHWATER, D. W. & J. RUENESS. 1994. Phylogenetic relationships of some European *Gelidium* (Gelidiales, Rhodophyta) species based on *rbcl* nucleotide sequence analysis. *Phycologia* 33: 187-194. DOI: 10.2216/i0031-8884-33-3-187.1
- FUJII, M. T., V. CASSANO, E. M. STEIN & L. R. CARVALHO. 2011. Overview of the taxonomy and of the major secondary metabolites and their biological activities related to human health of the *Laurencia* complex (Ceramiales, Rhodophyta) from Brazil. *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 21: 268-282. DOI: 10.1590/S0102-695X2011005000064
- FURNARI, G., D. SERIO & M. CORMACI. 2004. Revision of *Laurencia pedicularioides* (Ceramiales, Rhodophyta). *Taxon* 53: 453-460. DOI: 10.2307/4135621
- GARBARY, D. J. & J. T. HARPER. 1998. A phylogenetic analysis of the *Laurencia* complex (Rhodomelaceae) of the red algae. *Cryptogamie Algologie* 19: 185-200.
- GUIRY, M. D. & G. M. GUIRY. 2015. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algae-base.org>; searched on 09 October 2015.
- HOWE, M. A. & W. R. TAYLOR. 1931. Notes on new or little-known marine algae from Brazil. *Brittonia* 1: 7-33. DOI: 10.2307/2804654
- HUELSENBECK, J. P. & F. R. RONQUIST. 2001. MrBayes: Bayesian inference of phylogeny. *Biometrics* 17: 754-755. DOI: 10.1093/bioinformatics/17.8.754
- LAMOUREUX, J. V. F. 1813. Essai sur les genres de la famille des thalassiophytes non articulées. *Annales du Muséum d'Histoire Naturelle, Paris* 20: 21-47, 115-139, 267-293, pl. 713.
- MACHIN-SÁNCHEZ, M., J. DÍAZ-LARREA, M. T. FUJII, A. SENTÍES, V. CASSANO & M. C. GIL-RODRÍGUEZ. 2012. Morphological and molecular evidences within *Osmundea* (Ceramiales, Rhodophyta) from Canary Islands, Eastern Atlantic Ocean. *African Journal of Marine Science* 34: 27-42. DOI: 10.2989/1814232X.2012.673269
- MACHIN-SÁNCHEZ, M., L. LE-GALL, A.I. NETO, F. ROUSSEAU, V. CASSANO, A. SENTÍES, M. T. FUJII, J. DÍAZ-LARREA, W. F. PRUD'HOMME VAN REINE, C. BONILLO & M. C. GIL-RODRÍGUEZ. 2014. A combined barcode and morphological approach to the systematics and biogeography of *L. pyramidalis* and *Laurenciella marizae* (Rhodophyta). *European Journal of Phycology* 49 (1): 115-127. DOI: 10.1080/09670262.2014.893017
- MARTIN-LESCANNE, J., F. ROUSSEAU, B. DE REVIERS, C. PAYRI, A. COULOUX, C. CRUAUD & L. LE GALL. 2010. Phylogenetic analyses of the *Laurencia* complex (Rhodomelaceae, Ceramiales) support recognition of five genera: *Chondrophyucus*, *Laurencia*, *Osmundea*, *Palisada* and *Yuzurua* stat. nov. *European Journal of Phycology* 45: 51-61. DOI: 10.1080/09670260903314292
- MCIVOR, L., C. A. MAGGS, M. D. GUIRY & M. H. HOMMERSAND. 2002. Phylogenetic analysis of the geographically disjunct genus *Osmundea* Stackhouse (Rhodomelaceae, Rhodophyta). *Constancea* 83: 1-11.
- METTI, Y., A. J. K. MILLAR & P. STEINBERG. 2015. A new molecular phylogeny of the *Laurencia* complex (Rhodophyta, Rhodomelaceae) and a review of key morphological characters result in a new genus: *Coronaphycus*, and a description of *C. novus*. *Journal of Phycology* 51 (5): 929-942. DOI: 10.1111/jpy.12333
- NAM, K. W. 2006. Phylogenetic re-evaluation of the *Laurencia* complex (Rhodophyta) with a description of *L. succulenta* sp. nov. from Korea. *Journal of Applied Phycology* 18: 679-697. DOI: 10.1007/s10811-006-9073-3



- NAM, K. W. 2007. Validation of the generic name *Palisada* (Rhodomelaceae, Rhodophyta). *Algae* 22: 53-55. DOI: 10.4490/ALGAE.2007.22.2.053
- POSADA, D. & K. A. CRANDALL. 1998. Modeltest: testing the model of DNA substitution. *Bioinformatics* 14: 817-818. DOI: 10.1093/bioinformatics/14.9.817
- ROCHA-JORGE, R., V. CASSANO, M. B. BARROS-BARRETO, J. DÍAZ-LARREA, A. SENTÍES, M. C. GIL-RODRÍGUEZ & M. T. FUJII. 2013. *Osmundea sanctarum* sp. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) from the southwestern Atlantic Ocean. *Phytotaxa* 100: 41-56. DOI: 10.11646/phytotaxa.100.1.5.
- SERIO, D., A. PETROCELLI, M. CORMACI, E. CECERE & G. FURNARI. 2008. First record of *Osmundea oederi* (Gunnerus) G. Furnari comb. nov. (Rhodomelaceae, Rhodophyta) from the Mediterranean Sea. *Cryptogamie Algologie* 29: 119-127.
- STACKHOUSE, J. 1809. Tentamen marino-cryptogamicum, ordinem novum in genera et species distributum in Classe XXIVta Linnaei sistens. *Mémoires de la Société Imperiale des Naturalistes de Moscou* 2: 50-97.
- SUÁREZ, A. M., B. MARTÍNEZ-DARANAS & Y. ALFONSO. 2015. Macroalgas marinas de Cuba. Editorial UH, La Habana. 266 p.
- SWOFFORD, D. L. 2002. PAUP. Phylogenetic analysis using parsimony (\*and other methods). Version 4. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- YONESHIGUE-VALENTIN, Y., G. J. P. MITCHELL & C. F. D. GURGEL. 1995. Quelques observations préliminaires sur les macroalgues de la plateforme continentale du sud-est brésilien. *Acta Botanica Gallica* 142: 161-165. DOI: 10.1080/12538078.1995.10515704
- YONESHIGUE-VALENTIN, Y., M. T. FUJII & C. F. D. GURGEL. 2003. *Osmundea lata* (M. Howe & W.R. Taylor) comb. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) from the Brazilian south-eastern continental shelf. *Phycologia* 42: 301-307. DOI: 10.2216/i0031-8884-42-3-301.1.

**Recibido:** 12 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 25 de noviembre de 2015.

## Macroalgas marinas bentónicas de Isla Guadalupe, Baja California, México

## Bentic marine macroalgae from Guadalupe Island, Baja California, Mexico

Brigida Cosette Quiñones-Peyro<sup>1</sup>, Francisco Omar López-Fuerte<sup>1</sup>, Alejandra Mazariegos Villareal<sup>2</sup>, Elisa Serviere-Zaragoza<sup>2</sup>, Margarita Casas Valdez<sup>3</sup> y Ricardo Yabur Pacheco<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., 23080. México

<sup>2</sup>Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. La Paz, B.C.S., 23096. México

<sup>3</sup>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S., 23096. México

<sup>4</sup>Universidad Olmeca. Carretera Villahermosa-Macuspán Km. 14. Villahermosa, Tabasco, 86280. México  
e-mail: ryabur72@hotmail.com

Quiñones-Peyro B. C., F. O. López-Fuerte, A. Mazariegos Villareal, E. Serviere-Zaragoza, M. Casas Valdez y R. Yabur Pacheco. 2016. Macroalgas marinas bentónicas de Isla Guadalupe, Baja California, México. *Hidrobiológica* 26 (2): 213-223.

## RESUMEN

**Antecedentes.** El último inventario florístico de algas marinas de Isla Guadalupe se publicó en la década de 1980, e incluye una recopilación de trabajos de colecciones de principios del siglo pasado. **Objetivos.** Realizar un inventario y un análisis actualizado de la comunidad de macroalgas de Isla Guadalupe. **Métodos.** Se efectuaron cuatro muestreos durante los meses de enero, abril y octubre del 2013 y mayo del 2014, en la zona intermareal y en la submareal, a 10 y 18 m de profundidad, dependiendo de la localidad. **Resultados.** En total se determinaron 102 especies, entre las que se encuentran representantes de las tres principales Divisiones taxonómicas: 14 especies de la División Chlorophyta, 29 especies de la División Ochrophyta y 59 especies de la División Rhodophyta, las cuales se relacionan con 39 familias y 65 géneros. De los organismos determinados a nivel específico, 30 corresponden a nuevos registros, 13 con sinonimia taxonómica y 59 especies están previamente registradas. De acuerdo con el índice de Margalef, durante mayo del 2014 se presentó la mayor riqueza biológica, en este mismo periodo, según el índice de Shannon-Wiener, se encontró una mayor diversidad. Los datos se analizaron estadísticamente con el análisis PERMANOVA, el cual mostró diferencias significativas entre los factores examinados de profundidad, temporada, zona y localidad de muestreo, lo que indica una alta heterogeneidad entre las localidades, principalmente entre la zona norte y la oeste de la isla. **Conclusiones.** Isla Guadalupe presenta una gran riqueza y diversidad biológica. De acuerdo con el análisis SIMPER, las especies que más contribuyen a las diferencias cualitativas de los factores analizados son *Zonaria farlowii*, *Jania rosea*, *Sargassum palmeri*, *Dictyopteris undulata* y *Padina durvillei*.

**Palabras clave:** Isla Guadalupe, macroalgas, nuevos registros, Pacífico.

## ABSTRACT

**Background.** The last floristic survey of marine algae species from Guadalupe Island was published in the 1980s, including a summary of surveys from collections dating back to the beginning of the past century. **Goals.** To update the species inventory and analyze the macroalgae community on Guadalupe Island. **Methods.** Four sampling procedures were undertaken, during January, April, and October 2013, and May 2014, from intertidal and subtidal zones, at depths of between 10 and 18m, depending on the locality. **Results.** 102 species were identified as representatives of the three main taxonomic divisions; 14 species belonging to Chlorophyta, 29 to Ochrophyta, and 59 to Rhodophyta, related to 39 families and 65 genera. Of the organisms found at a specific level, 30 are new records, 13 are taxonomically synonymous, and 59 correspond to previous registries. The Margalef index shows that the highest biologic richness occurred in May 2014, as while the highest diversity also appeared in that same month, as the Shannon-Wiener index indicates. Data were statistically evaluated with the PERMANOVA analysis, showing statistical differences between the analyzed factors (depth, season, zone, and locality), thus demonstrating high heterogeneity at the localities, mainly between the northern and western areas of the island. **Conclusions.** Guadalupe Island has high species richness and diversity. In accordance to SIMPER analysis, the species that contribute most to the qualitative differences found in the analyzed factors are *Zonaria farlowii*, *Jania rosea*, *Sargassum palmeri*, *Dictyopteris undulata*, and *Padina durvillei*.

**Key words:** Guadalupe Island, macroalgae, new records, Pacific coast.

## INTRODUCCIÓN

La reserva de la biosfera de Isla Guadalupe es una de las principales áreas naturales protegidas del país, con una superficie aproximada de 476,972 ha (SEMARNAT, 2005). Se ubica a 260 km de la costa del Pacífico de Baja California y es un área de gran relevancia a nivel nacional e internacional (SEMARNAT, 2002) en términos biológicos, ecológicos y biogeográficos. La zona costera, presenta un alto grado de heterogeneidad ambiental, lo que permite una considerable riqueza de especies, incluidas las macroalgas, donde se destaca un importante endemismo, que derivó del aislamiento del continente y de las condiciones particulares de la isla (Setchell & Gardner, 1930; Dawson, 1960a). La enorme diversidad y abundancia de macroalgas permite que el área sea un importante sitio de alimentación, refugio, reproducción, desarrollo y crecimiento para diferentes especies de vertebrados e invertebrados (Setchell & Gardner, 1930). Los primeros trabajos formales que se realizaron para determinar la riqueza de macroalgas de la región, datan de 1925-1930. Setchell y Gardner (1930) publicaron la primera descripción de las algas de Isla Guadalupe, en donde incluyeron un listado de 90 especies, de las cuales 22 las registraron como nuevas. Estas descripciones se basaron principalmente en los organismos recolectados de anclas y dragas, derivadas de la expedición de H. L. Mason en 1925. En 1984, Stewart y Stewart, hicieron la última revisión de macroalgas de Isla Guadalupe, por medio de recolectas de organismos únicamente del lado este de la isla, en agosto de 1983, junto con una recopilación de los trabajos de Setchell y Gardner (1930, 1937) y Dawson (1960a), quienes incluyeron las colecciones de E. Palmer del año 1875, Brandegee de 1897, y C. L. Hubbs de 1946. En su lista de verificación, se incluyeron 21 especies de Chlorophyta, 33 Ochrophyta y 158 Rhodophyta, de las cuales 24 se reportaron como nuevos registros. Recientemente se han realizado algunas revisiones de organismos herborizados (Silva, 2008) y recolectados (Aguilar-Rosas *et al.*, 2012).

El objetivo de este trabajo fue realizar un inventario de las macroalgas en Isla Guadalupe, incluyendo un monitoreo de la parte norte, sur, este y oeste de la isla, y analizar la estructura de la comunidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para cubrir las diferencias espaciales y temporales del área de estudio, se realizaron cuatro visitas a Isla Guadalupe: enero, abril y octubre del 2013 y mayo del 2014. En cada periodo, se recolectaron manualmente, mediante buceo libre, scuba y hookah, todas las especies de macroalgas contenidas en diez cuadrantes (50 cm x 50 cm) y colocados a través de transectos de 50 m de longitud, orientados de forma paralela a la costa a dos profundidades (10 m, y/o 18 m) y/o en el intermareal, según el sitio de recolecta y accesibilidad, con un total de 250 cuadrantes evaluados, de 8 sitios (Fig. 1). Los organismos seleccionados se depositaron en bolsas plásticas y frascos previamente etiquetados con los datos de recolecta: localidad, fecha, transecto, número de cuadrante del transecto y profundidad. Parte de las muestras se herborizaron directamente en montajes permanentes en seco, mediante técnicas estandarizadas para montaje. Debido a las recomendaciones de la Comisión de Áreas Naturales Protegidas no se transportó ni utilizó formaldehído para almacenar ejemplares para su traslado al laboratorio. Así mismo, en campo se realizaron preparaciones permanentes en laminillas, de aquellos organismos que presentaron estructuras reproductivas aparentes, y se observaron *in situ* con un microscopio óptico. Cada organismo fue fotografiado previa-

mente a su procesamiento, con una cámara fotográfica digital FinePix® FujiFilm® S5000 y NIKON® COOLPix® 7100, para generar un acervo fotográfico.

**Trabajo taxonómico.** Para la identificación de las especies, se consideraron los aspectos de su morfología externa, como tamaño, color, tipo de ramificación, tipo de talo, y se realizaron preparaciones semipermanentes para la observación de características reproductivas y arreglo de la estructura celular. En el caso de ejemplares calcificados, en el laboratorio se realizaron procedimientos de descalcificación con ácido nítrico 0.5 N hasta su preparación para inclusión en parafina. Las observaciones se compararon con claves y listas de especies de la región del Golfo de California y Pacífico Norte. Fueron utilizadas como base las referencias de Setchell y Gardner (1920, 1924, 1925, 1930), Smith (1944), Taylor (1945, 1960), Dawson (1941, 1953, 1954, 1960b, 1961, 1962, 1963a, 1963b), Nizamudin (1969), Kogame (1966), Abbott y Hollenberg (1976), Norris y Johansen (1981), Brostoff (1984), Stewart y Norris (1981), Stewart y Stewart (1984), Mateo-Cid *et al.* (2000), Mendoza-González y Mateo-Cid (2000, 2005), Pedroche *et al.* (2002), Keum *et al.* (2003), Kraft y Abbott (2003), Ávila-Ortiz y Pedroche (2005), Pedroche *et al.* (2005, 2008), Leliaert *et al.* (2008), Silva (2008), León-Cisneros *et al.* (2009), Won *et al.* (2009), Mazariegos-Villarreal *et al.* (2010), Nelson y Wilcox (2010), Norris (2010), West *et al.* (2010) y Aguilar-Rosas *et al.* (2012), Silva *et al.* (2014). La nomenclatura de las especies se actualizó con base en el catálogo disponible en el sitio de internet *Algae Base* (Guiry & Guiry, 2014; <http://www.algaebase.org>). Las especies fueron ordenadas alfabéticamente dentro de cada División.

**Análisis estadístico.** Para confirmar la integridad del inventario de especies se realizaron curvas acumulativas de especies por número de cuadrantes. Para analizar la estructura de la comunidad se determinaron los parámetros descriptivos básicos: riqueza específica de Margalef, índice de diversidad Shannon-Wiener ( $H'$ ) y equitatividad de Pielou (J), con el programa PAST 3.12 (Hammer *et al.*, 2001). Una vez que los índices fueron calculados, se realizó un análisis de variancia de permutación multivariado (PERMANOVA; Anderson, 2001) para determinar las diferencias en la estructura de las comunidades, empleando sitios, profundidad, zona y fecha de colecta como factores. El coeficiente de Bray-Curtis se usó para comparar la similitud en la composición entre los factores. Se realizaron las comparaciones pareadas entre grupos particulares mediante el cálculo del estadístico  $t$  como prueba *a posteriori* y el valor  $p$ . Finalmente se realizó un análisis de porcentaje de similaridad con la prueba SIMPER, y con la distancia de similaridad de Cosin para identificar las especies que más contribuyen a ubicar las diferencias cualitativas para los factores analizados, con el programa PAST 3.12 (Hammer *et al.*, 2001).

## RESULTADOS

En la tabla 1, se presentan los taxones de los organismos que fueron determinados durante esta investigación, y se hace mención de las especies que presentan registro previo para Isla Guadalupe, así como los que corresponden a nuevos registros y su sinonimia taxonómica. Entre los organismos identificados a nivel específico, se encuentran 14 especies dentro de la División Chlorophyta, 29 especies dentro de la División Ochrophyta, y 59 especies dentro de la División Rhodophyta, las cuales se relacionan con 39 familias, 65 géneros y 102 especies. Los datos obtenidos, a partir de la recolección y observación de organismos, fueron registrados en una base de datos en el sistema de información BIOTICA de la CONABIO (Yabur-Pacheco, 2014). El material determinado y her-

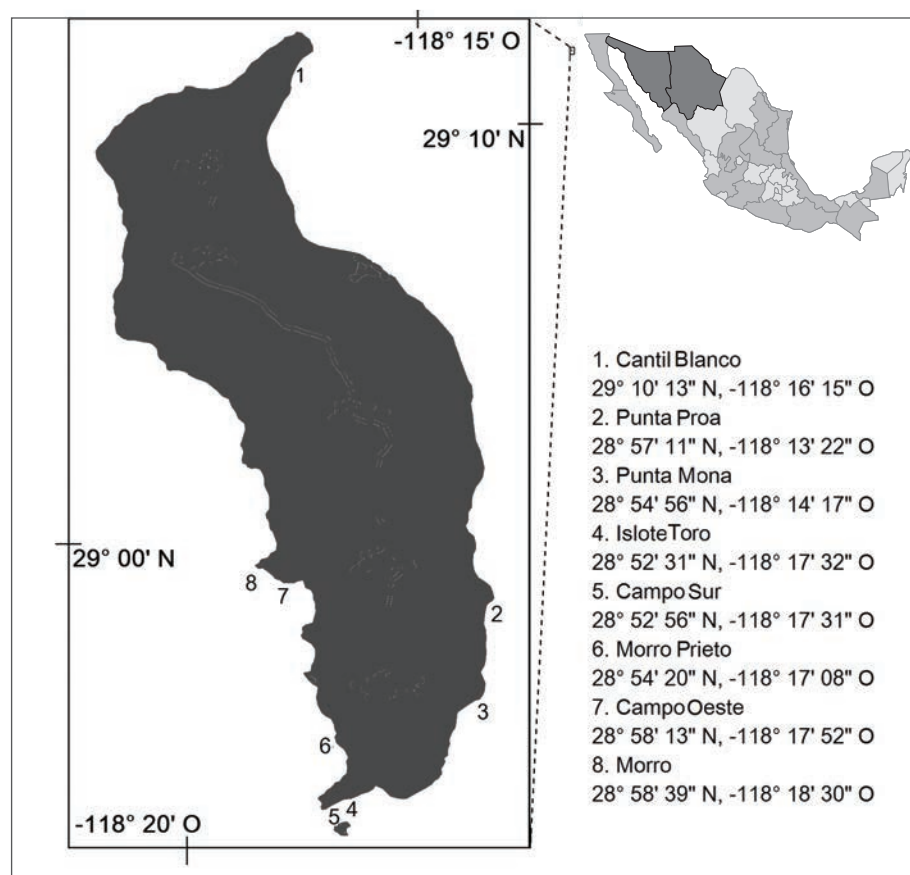


Figura 1. Área de estudio: Isla Guadalupe México. Los números representan los sitios de muestreo.

borizado fue depositado en el herbario del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, del Instituto Politécnico Nacional.

De las 316 especies que se han registrado en Isla Guadalupe, entre los trabajos de Setchell y Gardner (1920, 1930, 1937), Dawson (1944, 1960, 1961, 1962), Stewart y Stewart (1984), Mendoza-González y Mateo-Cid (2000), Pedroche *et al.* (2005, 2008), Aguilar-Rosas *et al.* (2006), Mateo-Cid *et al.* (2008), Silva (2008), Mateo-Cid y Mendoza-González (2009), Aguilar-Rosas *et al.* (2006, 2012), el 20% de ellas se documentaron en esta investigación (Tabla 1): 30 especies corresponden a nuevos registros y 13 son sinónimos taxonómicos.

Con base en los muestreos de enero del 2013, se realizaron curvas acumulativas de especies por número de cuadrantes, y se determinó que el número de cuadrantes fue el adecuado. En la tabla 2 se presentan las localidades en las que se realizaron los muestreos por temporada (Fig. 1), de acuerdo con su profundidad y fecha de muestreo, indicando las zonas definidas para cada una de ellas, y que fueron delimitadas como norte, sur, este y oeste. Según los datos obtenidos en el índice de Margalef, la mayor riqueza específica se encontró en los muestreos de mayo del 2014 (Fig. 2), que corresponden al período de primavera y el menor en el muestreo de octubre del 2013 (otoño). Estos valores también se ven reflejados en la diversidad de taxa por localidades (Fig. 3), donde fue mayor en el muestreo de mayo del 2014, y es menor en octubre del 2013, conforme al índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ). El índice de equitatividad de Pielou ( $J$ ), muestra una distribución similar de la abundancia de las especies, sin

diferencias significativas entre las localidades (Fig. 4). Los análisis PERMANOVA indican que estadísticamente la estructura de la comunidad de macroalgas de la isla es significativamente diferente de acuerdo con cada uno de los factores considerados (Tabla 3). Las pruebas *a posteriori* del análisis PERMANOVA muestran que hay diferencias significativas entre la profundidad intermareal con respecto a los 10 m y los 18 m ( $t=1.87$ ,  $p=0.0012$  y  $t=1.57$ ,  $p=0.094$ , respectivamente), pero no así entre las profundidades de 10 m y 18 m. La zona este no muestra diferencias significativas con la zona norte ni con la sur, mientras que la zona norte es significativamente diferente a la zona sur y a la oeste ( $t=1.43$ ,  $p=0.0049$  y  $t=1.95$ ,  $p=0.0006$ , respectivamente). También se encontraron diferencias significativas entre la zona oeste con respecto a la zona sur ( $t=1.73$ ,  $p=0.001$ ) y la zona este ( $t=1.58$ ,  $p=0.0055$ ). De acuerdo a la temporada de muestreo, el cuarto monitoreo que se realizó en mayo del 2014, presenta los valores más altos de riqueza y biodiversidad y mayores diferencias con los otros muestreos:  $t=2.417$ ,  $p=0.0021$  en comparación con enero del 2013;  $t=1.931$ ,  $p=0.0303$ , con abril del 2013;  $t=2.24$ ,  $p=0.0171$ , con respecto a octubre. La localidad del Cantil Blanco, localizada en la zona norte, mostró diferencias significativas cuando se comparó con las localidades de Islote Toro ( $t=1.43$ ,  $p=0.0108$ ), Campo Oeste ( $t=1.49$ ,  $p=0.0017$ ) y el Morro ( $t=1.98$ ,  $p=0.0141$ ). El Morro también fue significativamente diferente a Punta Prieta ( $t=1.56$ ,  $p=0.0976$ ) y a Campo Oeste ( $t=1.30$ ,  $p=0.0366$ ), mientras que el Islote Toro lo fue con respecto a Punta Proa ( $t=1.43$ ,  $p=0.0194$ ) y Campo Oeste ( $t=1.78$ ,  $p=0.0073$ ).



Tabla 1. Macroalgas registradas en Isla Guadalupe, México, durante el presente estudio, ordenadas según la clasificación de Guiry & Guiry (2014). Se indican tanto los nuevos registros para la localidad como los registros previos con sus referencias. En los taxones la indicación / = sinónimos taxonómicos registrados previamente.

División	Taxón	Referencias	
Chlorophyta	<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillwyn) Kützinger*		
	<i>Chaetomorpha spiralis</i> Okamura*		
	<i>Cladophora columbiana</i> F.S. Collins*		
	<i>Codium dawsonii</i> P. C. Silva, F. F. Pedroche, M. E. Chacana <i>et</i> K. A. Miller	11, 18	
	<i>Codium fragile</i> (Suringar) Hariot	14, 17	
	<i>Codium hubbsii</i> E. Y. Dawson	2, 11, 17	
	<i>Codium latum</i> subsp. <i>palmeri</i> (E. Y. Dawson) P. C. Silva	11, 14, 17	
	<i>Codium schmiederi</i> P. C. Silva, F. F. Pedroche <i>et</i> M. E. Chacana	11, 18	
	<i>Codium simulans</i> Setchell <i>et</i> N. L. Gardner	5, 11, 17	
	<i>Microdictyon palmeri</i> Setchell	5, 11, 14, 17	
	<i>Phyllocladon robustum</i> (Setchell <i>et</i> N. L. Gardner) Leliaert <i>et</i> Wysor*		
	<i>Siphonogramen parvum</i> (W.J. Gilbert) I. A. Abbott <i>et</i> Huisman*		
	<i>Ulva californica</i> Wille / <i>Ulva angusta</i> Setchell <i>et</i> N. L. Gardner	5, 14, 17	
	<i>Ulvella lens</i> P. Crouan <i>et</i> H. Crouan	14	
	Ochrophyta	<i>Asteronema breviarticulatum</i> (J. Agardh) Ouriques <i>et</i> Bouzon	12, 14
		<i>Chnoospora minima</i> (Hering) Papenfuss*	
<i>Cladostephus spongiosus</i> (Hudson) C. Agardh		1	
<i>Coilodesme corrugata</i> Setchell <i>et</i> N. L. Gardner*			
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbès <i>et</i> Solier		12, 17	
<i>Desmarestia viridis</i> (O.F. Müller) J. V. Lamouroux		12, 14, 17	
<i>Dictyopteris polypodioides</i> (A. P. De Candolle) J.V. Lamouroux		3, 7, 10, 12	
<i>Dictyopteris undulata</i> Holmes		12, 17	
<i>Dictyota binghamiae</i> J. Agardh		12, 17	
<i>Dictyota cervicornis</i> Kützinger*			
<i>Dictyota dichotoma</i> var. <i>intricata</i> (C. Agardh) Greville / <i>Dictyota divaricata</i> (J. Agardh) J. Agardh		5, 11, 17	
<i>Dictyota flabellata</i> (F. S. Collins) Setchell <i>et</i> N. L. Gardner		12, 17	
<i>Eisenia desmarestioides</i> Setchell <i>et</i> N.L. Gardner		4, 12, 14, 16, 17	
<i>Feldmannia mitchelliae</i> (Harvey) H.-S. Kim		12, 14	
<i>Hydroclathrus clathratus</i> (C. Agardh) M. A. Howe		12, 17	
<i>Padina caulescens</i> Thivy*			
<i>Padina durvillei</i> Bory Saint-Vincent		12, 17	
<i>Rosenvingea orientalis</i> (J. Agardh) Børgesen*			
<i>Sargassum agardhianum</i> Farlow		12, 17	
<i>Sargassum muticum</i> (Yendo) Fensholt		11	
<i>Sargassum palmeri</i> Grunow		4, 11, 14, 15, 17	
<i>Scytosiphon canaliculatus</i> (Setchell <i>et</i> N. L. Gardner) Kogame / <i>Hapterophycus canaliculatus</i> (Setchell <i>et</i> N. L. Gardner)		12, 17	
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngbye) Link		12, 17	
<i>Sphacelaria novae-hollandiae</i> Sonder		9, 12, 14, 17	
<i>Sphacelaria rigidula</i> Kützinger / <i>Sphacelaria furcigera</i> Kützinger		12, 14, 17	
<i>Sporochnus bolleanus</i> Montagne		5, 12, 14, 17	
<i>Sporochnus pedunculatus</i> (Hudson) C. Agardh		5, 12, 14, 17	
<i>Stolonophora brandegeei</i> (Setchell <i>et</i> N. L. Gardner) Nizamuddin		12, 13, 14, 17	
<i>Zonaria farlowii</i> Setchell <i>et</i> N. L. Gardner		12, 14, 17	
Rhodophyta		<i>Aglaothamnion cordatum</i> (Børgesen) Feldmann-Mazoyer	6, 17
	<i>Amphiroa beauvoisii</i> J.V. Lamouroux	8, 17	
	<i>Amphiroa magdalenensis</i> E. Y. Dawson	4, 5, 17	
	<i>Amphiroa misakiensis</i> Yendo*		
	<i>Amphiroa valonioides</i> Yendo	17	
	<i>Anotrichium anthericephalum</i> (E. Y. Dawson) Baldock / <i>Griffithsia anthericephala</i> E. Y. Dawson	5, 17	
	<i>Anotrichium furcellatum</i> (J. Agardh) Baldock / <i>Griffithsia furcellata</i> J. Agardh	17	
	<i>Anotrichium tenue</i> (C. Agardh) Nägeli / <i>Griffithsia tenuis</i> C. Agardh	6, 17	

Continuación tabla 1.

División	Taxón	Referencias
Rhodophyta	<i>Antithamnion hubbsii</i> E. Y. Dawson	17
	<i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan	4, 5, 17
	<i>Bonnemaisonia hamifera</i> Hariot	4
	<i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh) Montagne	17
	<i>Ceramium caudatum</i> Setchell et N. L. Gardner	4, 6, 17
	<i>Chondria californica</i> (Collins) Kylin	17
	<i>Corallina vancouveriensis</i> Yendo	17
	<i>Crouania attenuata</i> (C. Agardh) J. Agardh	5, 6, 14, 17
	<i>Cryptopleura peltata</i> (Montagne) M. J. Wynne	6, 17
	<i>Cryptopleura ramosa</i> (Hudson) L. Newton*	
	<i>Dasya binghamiae</i> A. J. K. Millar*	
	<i>Dasya sinicola</i> var. <i>abyssicola</i> (Dawson) Dawson*	
	<i>Gayliella flaccida</i> (Harvey ex Kützing) T. O. Cho et L. J. McIvor in Cho, T.O., Boo, S. M., Hommersand, M. H., Maggs, C. A., McIvor, L. J. y Fredericq, S. 2008/ <i>Ceramium flaccidum</i> (Harvey ex Kützing) Ardissonne	17
	<i>Gayliella taylorii</i> (E. Y. Dawson) T. O. Cho et S. M. Boo*	
	<i>Gelidium purpurascens</i> N. L. Gardner	17
	<i>Grateloupia cornea</i> Okamura*	
	<i>Grateloupia howeii</i> Setchell et Gardner	4, 17
	<i>Haliptilon janioides</i> (E. Y. Dawson) Garbary et H. W. Johansen / <i>Corallina janioides</i> E. Y. Dawson	4, 17
	<i>Helminthocladia australis</i> Harvey*	
	<i>Heterosiphonia erecta</i> N. L. Gardner	17
	<i>Hypnea cervicornis</i> J. Agardh	5, 17
	<i>Hypnea spinella</i> (C. Agardh) Kützing*	
	<i>Hypneocolax stellaris</i> Børgesen*	
	<i>Jania capillacea</i> Harvey	17
	<i>Jania rosea</i> (Lamarck) Decaisne / <i>Haliptilon gracile</i> (J. V. Lamouroux) H. W. Johansen	17
	<i>Jania tenella</i> (Kützing) Grunow	14, 17
	<i>Laurencia decidua</i> E. Y. Dawson*	
	<i>Laurencia masonii</i> Setchell et N. L. Gardner	5, 14, 17
	<i>Laurencia pacifica</i> Kylin	17
	<i>Laurencia subopposita</i> (J. Agardh) Setchell*	
	<i>Liagora californica</i> Zeh	4, 5, 17
	<i>Lithothrix aspergillum</i> J. E. Gray	17
	<i>Lomentaria catenata</i> Harvey*	
	<i>Melobesia mediocris</i> (Foslie) Setchell et L. R. Mason	17
	<i>Neosiphonia johnstonii</i> (Setchel et N. L. Gardner) J. N. Norris*	
	<i>Neosiphonia bajacali</i> (Hollenberg) N. R. Mamoozadeh et D. W. Freshwater / <i>Polysiphonia bajacali</i> Hollenberg	5, 17
	<i>Neosiphonia masonii</i> (Setchell et N. L. Gardner) / <i>Polysiphonia masonii</i> Setchell et N. L. Gardner	5, 14, 17
	<i>Nitophyllum hollenbergii</i> (Kylin) I. A. Abbott	17
	<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) P. S. Dixon	17
	<i>Plocamium violaceum</i> Farlow*	
	<i>Polysiphonia mollis</i> J. D. Hooker et Harvey	17
	<i>Pterocladia capillacea</i> (S. G. Gmelin) Santelices et Hommersand*	
	<i>Pterosiphonia baileyi</i> (Harvey) Falkenberg	17
	<i>Pterosiphonia bipinnata</i> (Postels et Ruprecht) Falkenberg*	
	<i>Pterosiphonia dendroidea</i> (Montagne) Falkenberg	17
	<i>Pterosiphonia pennata</i> (C. Agardh) Sauvageau *	
	<i>Rhodymenia californica</i> Kylin	17
	<i>Scinaia johnstoniae</i> Setchell*	
	<i>Spyridia filamentosa</i> (Wulfen) Harvey	14, 17
	<i>Taylorophycus laxus</i> (W. R. Taylor) E. Y. Dawson*	
	<i>Tricleocarpa fragilis</i> (Linnaeus) Huisman et R. A. Townsend*	

Referencias: 1) Aguilar-Rosas et al. (2012). 2) Dawson (1950). 3) Dawson (1950b). 4) Dawson (1960). 5) Dawson (1961). 6) Dawson (1962). 7) Mateo-Cid et al. (2000). 8) Mateo-Cid et al. (2008). 9) Mendoza-González y Mateo-Cid (2000). 10) Mendoza-González y Mateo-Cid (2005). 11) Pedroche et al. (2005). 12) Pedroche et al. (2008). 13) Setchell y Gardner (1925). 14) Setchell y Gardner (1930). 15) Setchell y Gardner (1937). 16) Silva (2008). 17) Stewart y Stewart (1984). 18) Silva et al. (2014). \* = Nuevos registros para Isla Guadalupe.

Tabla 2. Localidades de muestreo, por zona y profundidad, durante cuatro temporadas de muestreo (enero, abril y octubre de 2013 y mayo de 2014), en Isla Guadalupe, México.

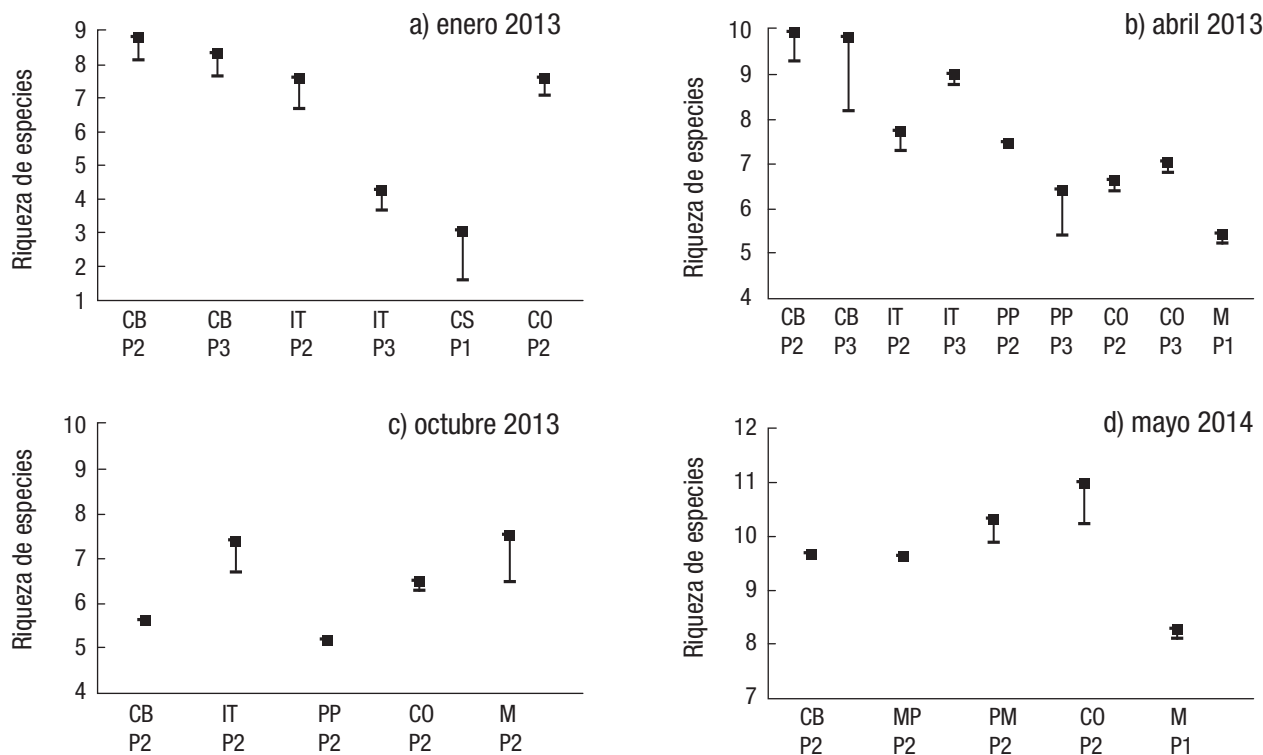
Fecha de colecta	Zona			
	Norte	Sur	Este	Oeste
Enero 2013	CB: 10 y 18 m	IT: 10 y 18 m, CS: Interm.	SD	CO: 10 m
Abril 2013	CB: 10 y 18 m	IT: 10 y 18 m	PP: 10 y 18 m	CO: 10 y 18 m, M: Interm.
Octubre 2013	CB: 10 m	IT: 10 m	PP: 10 m	CO: 10 m, M: Interm.
Mayo 2014	CB: 10 m	MP: 10 m	PM: 10 m	CO: 10 m, M: Interm.

CB = Cantil Blanco, PP = Punta Proa, PM = Punta Mona, IT = Islote Toro, CS = Campo Sur, MP = Morro Prieto, CO = Campo Oeste, M = Morro, SD = Sin datos, Interm. = Intermareal.

El análisis SIMPER (Tabla 4) indica que las especies que más contribuyen a la disimilaridad entre zonas, localidades, profundidad y temporada de muestreo son *Zonaria farlowii* Setchell *et* N. L. Gardner, *Jania rosea* (Lamarck) Decaisne, *Sargassum palmeri* Grunow, *Dictyopteris undulata* Holmes y *Padina durvillei* Bory Saint-Vincent.

En general, los órdenes más representativos fueron Ceramiales, Corallinales y Dictyotales, con 30, 11 y 9 taxones, respectivamente. El taxón con la mayor frecuencia de aparición en los sitios de muestreo fue *Zonaria farlowii*, localizada en 126 sitios/puntos (presencia en determinado número de cuadrantes, para los diferentes transectos y 8 localidades), en los cuatro meses de muestreo. En la parte este, do-

mina *Sargassum palmeri*; (97 sitios), que según comentarios de los pescadores, su distribución y crecimiento se ha visto incrementada en los últimos años. También con una notable biomasa y distribución se encuentran *Eisenia desmarestioides* Setchell *et* Gardner (56 sitios), que se localiza principalmente en la parte sur de la isla, y *Stolonophora brandegeei* (Setchell *et* Foslie) Nizamuddin (45 sitios), que domina la zona intermareal y submareal hasta los 10 m. Otros taxones con una cobertura notable, aunque de menor tamaño son *Jania rosea* (98 sitios), *Dictyopteris undulata* (74 sitios), *Padina durvillei* (65 sitios), *Spyridia filamentosa* (Wulfen) Harvey (61 sitios) y *Laurencia masonii* Setchell *et* Gardner (42 sitios).



Figuras 2a-d. Promedio ( $\pm$ EE) de la riqueza de especies (índice de Margalef) por localidad, temporada y profundidad en Isla Guadalupe, México. CB = Cantil Blanco, PP = Punta Proa, PM = Punta Mona, IT = Islote Toro, CS = Campo Sur, MP = Morro Prieto, CO = Campo Oeste, M = Morro, P1 = Intermareal, P2 = 10 m, P3 = 18 m.

### DISCUSIÓN

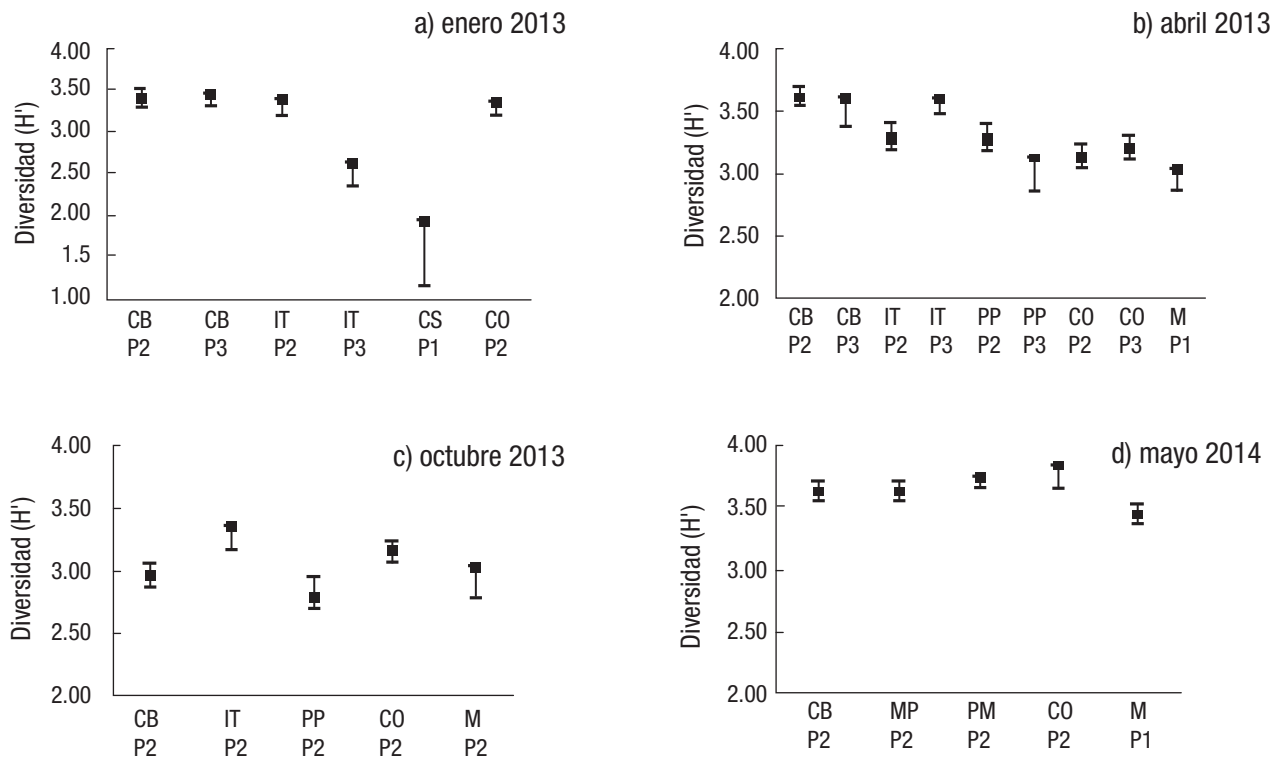
A pesar de que el número de taxa determinados a nivel específico en el presente trabajo corresponde apenas al ~20% de las especies identificadas en Isla Guadalupe, se puede destacar que las especies dominantes, en términos de frecuencia de aparición y abundancia, no han tenido grandes modificaciones a lo largo del tiempo. Las colecciones hechas por J. Stewart y Stewart, (1984), donde se incluyeron colectas que datan de 1930, mostraban que en la parte norte, lo que se denominó como Cantil Blanco (Barracks beach, en Stewart & Stewart, 1984), estaba dominada por *Sargassum palmeri* y *Eisenia desmarestioides*, que crecen en densas manchas diseminadas. De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis SIMPER, en la zona norte aún se encuentra una dominancia de estas especies, junto con *Zonaria farlowii*, *Jania rosea*, y *Dictyopteris undulata*.

Hacia la parte sur, en Cheaton Cove, cerca de la zona que denominamos como zona este, Stewart y Stewart (1984) mencionan la dominancia de *Stolonophora brandegeei*, hasta el nivel de marea alta, seguida de algas rojas entremezcladas con *Asparagopsis*, *Eisenia*, *Padina*, *Codium*, *Dictyota* y *Dictyopteris* hasta los 10 m. Dichos géneros también fueron representativos en el muestreo, sin embargo, la dominancia en la zona este también correspondió a *Zonaria farlowii*, *Sargassum palmeri*, seguida de *Jania rosea* y *Spyridia filamentosa*.

Tabla 3. PERMANOVA en base a las distancias del coeficiente de similitud Bray-Curtis, de acuerdo a los factores evaluados para la determinación de la estructura de las comunidades de macroalgas en Isla Guadalupe, México.

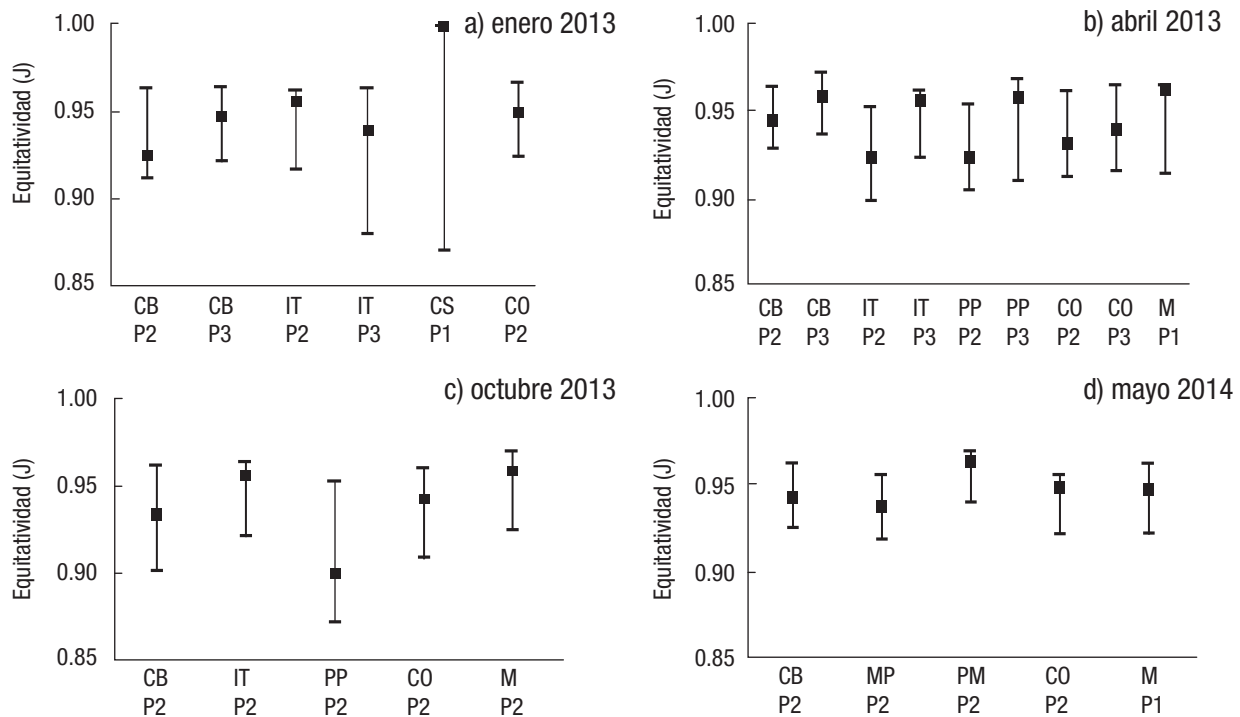
Variable	Factor			
	Zona	Profundidad	Temporada	Localidad
SS	4.180	4.173	4.156	4.227
MS	3.099	3.446	3.369	2.171
F	2.443	2.319	1.635	2.299
p	0.0001*	0.0006*	0.0092*	0.0001*

Stewart y Stewart (1984) no colectaron *Caulerpa*, *Microdictyon* y *Dictyosphaeria*, organismos típicos de aguas tropicales, aunque Mason las menciona en sus colecciones. De dichos géneros, en el presente trabajo, únicamente se encontró a *Microdictyon palmeri* Setchell, con un porcentaje de contribución del 0.0624%, según el análisis SIMPER. Otras especies comunes de aguas tropicales son *Padina*, *Asparagopsis*, *Liagora*, y *Crouania*, que se localizaron en la mayoría de sitios de muestreo, lo que prueba que la composición de macroalgas de la isla tiene representantes de lugares tanto tropicales, subtropicales y templados con diversas afinidades de distribución.



Figuras 3a-d. Promedio ( $\pm$ EE) de la diversidad de especies (índice de Shannon-Wiener [H']) por localidad, temporada y profundidad en Isla Guadalupe, México. CB = Cantil Blanco, PP = Punta Proa, PM = Punta Mona, IT = Islote Toro, CS = Campo Sur, MP = Morro Prieto, CO = Campo Oeste, M = Morro, P1 = Intermareal, P2 = 10 m, P3 = 18 m.





Figuras 4a-d. Promedio (±EE) de la equitatividad de especies (índice de Pielou, [J]) por localidad, temporada y profundidad, en isla Guadalupe, México. CB = Cantil Blanco, PP = Punta Proa, PM = Punta Mona, IT = Islote Toro, CS = Campo Sur, MP = Morro Prieto, CO = Campo Oeste, M = Morro, P1 = Intermareal, P2 = 10 m, P3 = 18 m.

Tabla 4. Resumen del análisis SIMPER, de las principales taxa de macroalgas registradas en Isla Guadalupe, México, por factor analizado, con la contribución para cada uno.

Especie	Variable	Factor			
		Zona	Profundidad	Temporada	Localidad
<i>Zonaria farlowii</i>	Posición en factor	1	1	1	1
	Prom. Disim.	0.088	0.067	0.084	0.086
	% Contribución	17.15	13.59	16.01	16.61
	% Acumulado	17.15	13.59	16.01	16.61
<i>Jania rosea</i>	Posición en factor	2	3	2	3
	Prom. Disim.	0.049	0.037	0.049	0.046
	% Contribución	9.507	7.434	9.277	8.88
	% Acumulado	26.66	40.88	34.76	34.38
<i>Sargassum palmeri</i>	Posición en factor	3	2	3	2
	Prom. Disim.	0.045	0.042	0.046	0.046
	% Contribución	8.803	8.485	8.715	8.894
	% Acumulado	44.87	33.45	43.48	25.5
<i>Dictyopteris undulata</i>	Posición en factor	4	5	5	4
	Prom. Disim.	0.028	0.027	0.027	0.031
	% Contribución	5.572	5.521	5.156	6.042
	% Acumulado	50.45	57.81	53.8	46.5

Prom. Disim. = Promedio de disimilaridad.

Algunos taxones presentan ciertas dificultades taxonómicas, por ejemplo, Setchell y Gardner (1930) mencionan que *Chnoospora pannosa* J. Agardh, posiblemente sea un estado deteriorado de *Chnoospora pacífica* J. Agardh, la cual es un sinónimo taxonómico de *Chnoospora minima* (Hering) Papenfuss. Con respecto al complejo taxonómico de "*Dictyota*

*dichotoma*", incluyendo a *D. divaricata*, existe mucha confusión sobre la posición taxonómica de las especies (Norris, 2010). En Isla Guadalupe se ha registrado la presencia de *D. divaricata* Lamouroux (Dawson, 1950, 1954, 1961; Stewart & Stewart, 1984), la cual corresponde a un sinónimo taxonómico de *Dictyota dichotoma* var *intricata* (C. Agardh) Greville, aun-

que también existe la dualidad con respecto a *D. cervicornis* que tiene un sinónimo taxonómico en *D. divaricata* (J. Agardh) J. Agardh.

Si bien es cierto, que en términos generales la composición y estructura de la comunidad de algas de Isla Guadalupe se ha mantenido estable desde las últimas colectas realizadas, según conversaciones entabladas con los pescadores de la región, se observa una importante variación en la abundancia de algunos grupos a lo largo del tiempo.

También es notable el número de nuevos registros que se han determinado en el presente trabajo. Posiblemente el principal factor determinante para estos nuevos registros sean los diferentes sitios y condiciones ambientales de las localidades en los que se realizaron los muestreos, en comparación con los realizados anteriormente. El principal esfuerzo durante esta investigación se realizó en la profundidad de 10 m, incluyendo la parte norte, sur, este y oeste, mientras que muchos de los muestreos anteriores se realizaron sólo en la zona intermareal o en el submareal de la zona este. De igual forma, muchos registros previos se derivan de recolectas realizadas en verano, estación en la cual no fue posible hacer recolectas por disposiciones de seguridad, dado que es la temporada reproductiva de algunos mamíferos de la isla y de mayor presencia de tiburón blanco, además los pescadores pasan su tiempo de vacaciones fuera de la isla.

Aunado a esto no puede descartarse el periodo de tiempo y los cambios climáticos que se han presentado desde los primeros muestreos hechos en la isla y la presencia de algunas especies introducidas como *Cladostephus spongiosus* (Hudson) C. Agardh, que ha contribuido a la diversificación de las comunidades algales de la isla. Es importante recordar que Isla Guadalupe es un área natural protegida de extrema importancia, y que es parte de los sitios de la alianza para la extinción cero, por lo que su monitoreo debe ser constante.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al apoyo de la CONABIO (convenio SNIB-CONABIO, proyecto No. JF170), de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera de Participación Estatal Abuloneros y Langosteros S.C.I., y la Secretaría de Marina. Permisos: SEMARNAT SGPA/DGVS/05604/12; SEGOB DICOPPU/211/0053/13; SAGARPA PPF/DGOPA-215/2013; CO-NANP F00.DRPBCPN-000025.

## REFERENCIAS

- ABBOTT, I. A. & G. J. HOLLENBERG. 1976. *Marine algae of California*. Stanford, California. Stanford University Press. 827 p.
- AGUILAR-ROSAS, R., L. E. AGUILAR-ROSAS & F. F. PEDROCHE. 2006. Descripción de talos espermatangiales y combinación de fases en *Polysiphonia confusa* (Rhodomelaceae, Rhodophycota). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 1-6.
- AGUILAR-ROSAS, L. E., F. NÚÑEZ-CEBRERO & C. V. AGUILAR-ROSAS. 2012. La presencia del alga europea *Cladostephus spongiosus* (Hudson) C. Agardh (Sphacelariales, Ochrophyta) en la Península de Baja California, México: Especie introducida. *Polibotánica* 34: 127-136.
- ANDERSON, M. J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26: 32-46. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x
- ÁVILA-ORTIZ A. & F. F. PEDROCHE. 2005. El género *Padina* (Dictyotaceae, Phaeophyceae) en la región tropical del Pacífico mexicano. *Monografías Ficológicas* 2: 139-171.
- BROSTOFF, W. N. 1984. *Sporochnus dotyi* sp. nov. (Sporochnales, Phaeophyta), a brown alga from Hawaii. *Pacific Science* 38 (2): 177-181.
- DAWSON, E. Y. 1941. A review of the genus *Rhodomenia* with description of new species. *Allan Hancock Pacific Expeditions* 3: 123-181.
- DAWSON, E. Y. 1944. The marine algae of the Gulf of California. *Allan Hancock Pacific Expeditions. The University of Southern California Press* 3 (10): 185-464.
- DAWSON, E. Y. 1950a. Notes on Pacific coast marine algae. IV. *American Journal of Botany* 37 (2): 149-158
- DAWSON, E. Y. 1950b. Notes on some Pacific Mexican Dictyotaceae. *Bulletin of Torrey Botanical Club* 77 (2): 83-93
- DAWSON, E. Y. 1953. Marine red algae of Pacific México, Part 1. Bangiales to Corallinaceae Subf Corallinoideae. *Allan Hancock Pacific Expedition* 17: 1-239.
- DAWSON, E. Y. 1954. Marine red algae of Pacific México. Part 2. Cryptonemiales (Cont.). *Allan Hancock Pacific Expedition* 17: 241-397.
- DAWSON, E. Y. 1960a. Symposium: The biogeography of Baja California and adjacent seas. Part II. Marine Biotas. A review of the ecology, distribution, and affinities of the benthic flora, *Systematic Zoology* 9 (3-4): 93-100.
- DAWSON, E. Y. 1960b. Marine red algae of Pacific México. Part 3. Cryptonemiales, Corallinaceae subf. Melobesioideae. *Pacific Naturalist* 252: 3-125.
- DAWSON, E. Y. 1961. Marine red algae of Pacific México, Part 4. Gigartinales. *Pacific Naturalist* 2:191-343.
- DAWSON, E. Y. 1962. Marine red algae of Pacific Mexico. Part 7. Ceramiales: Ceramiaceae, Delesseriaceae. *Allan Hancock Pacific Expedition. The University of Southern California Press* 26 (1): 1-206.
- DAWSON, E. Y. 1963a. Marine red algae of Pacific México. Part 8. Ceramiales: Dasyaceae, Rhodomelaceae. *Nova Hedwigia* 6: 401-481.
- DAWSON, E. Y. 1963b. Marine red algae of Pacific México. Part 6. Rhodomeniales. *Nova Hedwigia* 555: 437-476.
- 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>; searched on June 2014.
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 p.

- KEUM Y. S., J. H. OAK, W. F. PROUD'HOMME VAN REINE & I. K. LEE. 2003. Comparative morphology and taxonomy of *Sphacelaria* species with tribuliform propagules (Sphacelariales, Phaeophyceae). *Botanica Marina* 46: 113-114. DOI: 10.1515/BOT.2003.012
- KOGAME, K. 1966. Morphology and life story of *Scytosiphon canaliculatus* comb.nov. (Scytosiphonales, Phaeophyceae) from Japan. *Phycological Research* 44: 85-94. DOI: 10.1111/j.1440-1835.1996.tb00380.x
- KRAFT, G. T. & I. A. ABBOTT. 2003. *Hydroclathrus* (Scytosiphonaceae, Phaeophyceae): conspectus of the genus and proposal of new species from Australia and Hawaii. *Phycological Research* 51: 244-258. DOI: 10.1111/j.1440-1835.2003.tb01-2-.x
- LELIAERT, F., B. WYSOR, H. VERBRUGGEN, C. VLAEMINCK, & O. DE CLERCK. 2008. *Phyllocladion robustum* (Setchell *et* Gardner) comb. nov. (Siphonocladales, Chlorophyta), a morphologically variable species from the tropical Pacific coast of America. *Cryptogamie, Algologie* 29 (3): 217-233.
- LEÓN-CISNEROS, K., R. RIOSMENA-RODRÍGUEZ, A. I. NETO & G. HERNÁNDEZ-CARMONA. 2009. The red algal genus *Scinaia* (Nemaliales: Rhodophyta) on the Gulf of California, México: a taxonomic account. *Phycologia* 48: 186-210. DOI: 10.2216/08-82.1
- MATEO-CID, L. E., A. C. MÉNDOZA-GONZÁLEZ, L. HUERTA-MÚZQUIZ, R. AGUILAR-ROSAS & L. AGUILAR-ROSAS. 2000. La familia Dictyotaceae (Dictyotales, Phaeophyta) en la península de Baja California, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas de México* 46: 189-270.
- MATEO-CID L. E., R. AGUILAR-ROSAS, A. C. MENDOZA-GONZÁLEZ, & L. E. AGUILAR-ROSAS. 2008. Distribución y variación morfológica de *Amphiroa beauvoisii* (Corallinales, Rhodophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 7-22
- MATEO-CID, L. E. & A. C. MENDOZA-GONZÁLEZ. 2009. Revisión de las especies mexicanas de *Pneophyllum* Kützinger (Corallinales, Rhodophyta). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44 (3): 603-618. DOI: 10.4067/S0718-19572009000300008
- MAZARIEGOS-VILLARREAL A., R. RIOSMENA-RODRÍGUEZ & E. SERVIERE-ZARAGOZA. 2010. First report of *Cladostephus spongiosus* (Sphacelariales: Phaeophyta). *Botanica Marina* 53: 153-157. DOI: 10.1515/BOT.2010.016
- MENDOZA-GONZÁLEZ, A. C., & L. E. MATEO-CID. 2000. La familia Sphacelariaceae (Sphacelariales, Phaeophyta) en las costas de México. *Polibotánica* 11: 21-48.
- MENDOZA-GONZÁLEZ, A. C. & L. E. MATEO-CID. 2005. El género *Dictyopteris* J.V. Lamouroux (Dictyotales, Phaeophyceae) en las costas de México. *Hidrobiológica* 15 (1): 43-63.
- NELSON, W. A. & M. D. WILCOX. 2010. *Roservingea* (Ectocarpales, Scytosiphonaceae) – a new brown macroalgal record for New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 48: 193-196. DOI: 10.1080/0028825X.2010.506220
- NIZAMUDDIN, M. 1969. *Stolonophora*, a new genus of Cystoseiraceae (Phaeophyta: Fucales) from Guadalupe Island, Mexico. *Phycologia* 8: 1-9. DOI: 10.2216/i0031-8884-8-1-1.1
- NORRIS, J. N. & H. W. JOHANSEN. 1981. Articulated Coralline Algae of the Gulf of California, Mexico, I: *Amphiroa Lamouroux*. *Smithsonian contributions to the marine sciences*. Número 9. Smithsonian Institution Press. Washington. 1-29. DOI: 10.5479/si.1943667X.9.1
- NORRIS, J. R. 2010. Marine algae of the northern Gulf of California: Chlorophyta and Phaeophyceae. *Smithsonian Contributions to Botany* 94: 1-279. DOI: 10.5479/si.0081024X.94.276
- PEDROCHE, F. F., P. C. SILVA & M. CHACANA. 2002. El género *Codium* (Codiaceae, Chlorophyta) en el Pacífico de México. In: Senties, A. y K. M. Dreckmann (Eds.). *Monografías ficológicas*. UAM-Iztapalapa y Red Latinoamericana de Botánica. pp. 11-74.
- PEDROCHE, F. F., P. C. SILVA, L. E. AGUILAR-ROSAS, K. M. DRECKMANN, & R. AGUILAR-ROSAS. 2005. *Catálogo de las algas bentónicas del Pacífico de México I. Chlorophycota*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. 145 p.
- PEDROCHE, F. F., P. C. SILVA, L. E. AGUILAR-ROSAS, K. M. DRECKMANN, & R. AGUILAR-ROSAS. 2008. *Catálogo de las algas bentónicas del Pacífico de México II. Phaeophycota*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. 146 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. *Conservación de Hábitat y Comunidades. Isla Guadalupe*. Disponible en línea en: <http://www.inecc.gob.mx/con-eco-ch/383-hc-isla-gpe>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2005. Área natural protegida, Isla Guadalupe. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F. Abril 25: 9-15.
- SETCHELL W. A. & N. L. GARDNER, 1920. The marine algae of the Pacific coast of north America. Part II Chlorophyceae. *University of California Publications in Botany* 8: 139-374.
- SETCHELL W. A. & N. L. GARDNER, 1924. Expedition of the California academy of sciences to the Gulf of California in 1921. The marine algae. *Proceedings of the California Academy of Sciences, Serie IV* 12:695-949.
- SETCHELL W. A. & N. L. GARDNER. 1925. The marine algae of the Pacific coast of North America. Part III. Melanophyceae. *University of California Publications in Botany* 8: 383-898.
- SETCHELL W. A. & N. L. GARDNER. 1930. Marine algae of the Revillagigedo Islands expedition in 1925. *California Academy of Sciences* 19: 109-215.
- SETCHELL W. A. & N. L. GARDNER. 1937. The Templeton Crocker expedition of the California Academy of Sciences, 1932. *Proceedings of the California Academy of Sciences, Fourth Series*. Vol XXII (2): 65-98.
- SILVA, P. C. 2008. Conespecificidad de *Eisenia desmarestioides* y *E. masonii* (Laminariales, Phaeophyceae) de Isla Guadalupe, Baja California, México. *Hidrobiológica* 18 (2): 155-165.
- Silva, P. C., F. F. Pedroche, M. E. Chacana & K. A. Miller. 2014. Validation of the names of two new species of *Codium* (Chlorophyta, Bryopsi-

- dales) from Isla Guadalupe and Rocas Alijos, Pacific Mexico and the southern California Channel Islands, with some remarks on insular endemism. *Botanica Marina* 57(4): 243-250.
- SMITH, G. 1944. *Marine algae of the Monterrey Peninsula, California*. Stanford University Press. 752 p.
- STEWART, J. G. & J. N. NORRIS. 1981. Gelidiaceae (Rhodophyta) from the northern Gulf of California, México. *Phycologia* 20:273-284.
- STEWART, J. G. & J. R. STEWART. 1984. Algas marinas de la Isla Guadalupe, México, incluyendo una lista de verificación. *Ciencias Marinas* 10 (2): 13-148.
- TAYLOR, W. R. 1945. Pacific marine algae of the Allan Hancock Expeditions to the Galapagos Islands. *Allan Hancock Pacific Expeditions*. Universidad del sur de California. Los Ángeles, California. Estados Unidos de Norteamérica 12: i-iv, 1-528.
- TAYLOR, W. R. 1960. *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coast of the Americas*. Ann Arbor. The University of Michigan Press. 870 p.
- WEST, J. A, G. C. ZUCCARELLO, F. F. PEDROCHE & S. LOISEAUX DE GOËR. 2010. *Rosenvingea orientalis* (Scytosiphonaceae, Phaeophyceae) from Chiapas, México: life history in culture and molecular phylogeny. *Algae* 25: 187-195.
- WON, B. Y., CHO, T. O. & S. FREDERICO. 2009. Morphological and molecular characterization of species of the genus *Centroceras* (Ceramiaceae, Ceramiales), including two new species. *Journal of Phycology* (45): 227-250. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2008.00620.x
- YABUR-PACHECO, R. 2014. *Inventario de macroalgas de Isla Guadalupe, México*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Base de datos SNIB-CONABIO, proyecto No. JF170. México, D. F.
- Recibido:** 12 de marzo de 2015.
- Aceptado:** 19 de marzo de 2016.



## *Dictyota chalchicueyecanensis* sp. nov. (Dictyotales, Phaeophyceae) en el Golfo de México: evidencias moleculares y morfológicas

## *Dictyota chalchicueyecanensis* sp. nov. (Dictyotales, Phaeophyceae) in the Gulf of Mexico: Molecular and Morphological Evidence

Jorge G. Lozano-Orozco<sup>1,2</sup>, Abel Sentíes<sup>2</sup>, Francisco F. Pedroche<sup>3</sup> y Jhoana Díaz-Larrea<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudiante del Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, A.P. 55-535, CDMX, 09340. México

<sup>2</sup> Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, A.P. 55-535, CDMX, 09340. México

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Ambientales, CBS, Universidad Autónoma Metropolitana-Lerma, Lerma de Villada, Estado de México 52007. México  
e-mail: jorge\_lozano\_orozco@hotmail.com

Lozano-Orozco J. G., A. Sentíes, F. F. Pedroche y J. Díaz-Larrea. 2016. *Dictyota chalchicueyecanensis* sp. nov. (Dictyotales, Phaeophyceae) en el Golfo de México: evidencias moleculares y morfológicas. *Hidrobiológica* 26 (2): 225-231.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Las especies del género *Dictyota* presentan una alta plasticidad fenotípica que contrasta con escasos caracteres morfológicos diagnósticos, lo cual ha llevado a identificar especies con cierta incertidumbre en el Golfo de México. Estudios recientes a nivel mundial refieren filogenias de especies de *Dictyota*, los que serán la base para contrastar e interpretar los resultados de este estudio. **Objetivos.** En este trabajo se determina la presencia de una nueva especie para la ciencia del género *Dictyota*, encontrada en tres localidades del estado de Veracruz, México (Playa Hermosa, Punta Puntillas y Villa Rica). **Métodos.** Se realizaron análisis filogenéticos y moleculares de secuencias parciales de los genes *psbA* y *cox1*, que fueron complementados con análisis morfológicos. **Resultados.** En los análisis filogenéticos de las secuencias parciales de los genes *psbA* y *cox1*, se obtuvo que las muestras de la nueva especie forman un clado monofilético bien soportado. Además, los índices de divergencia genética obtenidos, se encuentran dentro de los valores interespecíficos para el género, lo que permite segregar a *Dictyota chalchicueyecanensis* sp. nov. de las demás especies del género. Morfológicamente esta nueva especie se caracteriza por presentar un talo erecto, sin iridiscencia, de consistencia rígida al tacto, con pie de fijación al sustrato de forma discoide, de color café claro *in situ*, ápices redondeados, ramificación dicotómica, con márgenes dentados de forma triangular a espinosa dirigidos hacia los ápices. Esporangios aislados o agrupados en ambas superficies del talo que regularmente germinan en las porciones interdicotómicas basales del mismo. **Conclusiones.** Los resultados anteriores amplían la diversidad del género *Dictyota* a nivel mundial, incorporando a *D. chalchicueyecanensis* como una nueva especie probablemente endémica de México.

**Palabras clave:** *cox1*, *Dictyota*, filogenia, *psbA*, taxonomía.

### ABSTRACT

**Background.** Species of the *Dictyota* genus have a high phenotypic plasticity that contrasts with their limited morphological diagnostic characteristics, which has led to some uncertainty in identifying species in the Gulf of Mexico. Recent studies worldwide have focused on *Dictyota* species phylogenies, which are the basis for contrasting and interpreting the results of this study. **Goals.** In our research, we found evidence of a new species belonging to the *Dictyota* genus in three localities in the state of Veracruz, Mexico (Playa Hermosa, Punta Puntillas y Villa Rica). **Methods.** Phylogenetic and molecular analyses of partial sequences of the *psbA* and *cox1* genes were performed, complemented by morphological analysis. **Results.** In phylogenetic analysis of partial sequences of *psbA* and *cox1*, we established that samples of the new species form a well-supported monophyletic clade. In addition, the genetic divergence values that were obtained are within the interspecific values for the genus, allowing us to segregate the *Dictyota chalchicueyecanensis* sp. nov. from the rest of the species of this genus. Morphologically this new species is characterized by an erect thallus, light brown and lacking iridescence, stiff to the touch, with a discoid holdfast, rounded apices, dichotomous branching, dentated margins, with minute teeth, triangular to spinose in shape that are directed toward the apices. Sporangia are isolated or grouped on both sides of the thallus and germinate regularly in interdichotomous basal portions. **Conclusion.** These results allow us to expand the diversity of the genus *Dictyota* worldwide, incorporating *D. chalchicueyecanensis* as a probable new species endemic to Mexico.

**Key words:** *cox1*, *Dictyota*, phylogeny, *psbA*, taxonomy.

## INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Dictyota* J.V. Lamouroux presentan una alta plasticidad fenotípica que contrasta con escasos caracteres morfológicos diagnósticos, lo cual ha provocado la clasificación de algunas especies con cierta incertidumbre y ha generado una serie de epítetos o nombres mal aplicados (De Clerck & Coppejans, 1999; De Clerck, 2003).

Uno de los caracteres ampliamente usados para diferenciar a las especies de *Dictyota*, es la presencia o ausencia de dientes en los márgenes del talo; se ha observado que la forma de los dientes tiene una marcada variación intraespecífica. En este sentido, Tronholm *et al.* (2013) reevaluó el estatus taxonómico de las especies dentadas con análisis morfológicos y moleculares donde determinó su distribución y describió dos nuevas especies: *D. canariensis* (Grunow) Tronholm y *D. pleiakantha* Tronholm. También observó que entre las especies dentadas hay variaciones morfológicas casi imperceptibles a simple vista, de modo que la identificación exclusivamente con caracteres morfológicos es incierta debido a su alta plasticidad morfológica intraespecífica (Tronholm *et al.* 2010). De las especies dentadas reportadas a nivel mundial (Tronholm *et al.* 2013) se encuentran tres en las costas del Golfo de México: *D. canariensis* (Grunow) Tronholm (Lozano *et al.* 2014), *D. ciliolata* (Kützinger) Sonder y *D. jamaicensis* W. R. Taylor (Ortega *et al.* 2001; Wynne, 2011).

En el presente estudio, se argumenta con base en evidencias moleculares y morfológicas que *Dictyota chalcicueyecanensis* Lozano-Orozco *et Senties*, es una especie dentada nueva del género *Dictyota* encontrada en las costas del Golfo de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los especímenes de *Dictyota chalcicueyecanensis* fueron recolectados en las localidades de Playa Hermosa (18.3953° N, 95.0742° O), Punta Puntillas (18.4655° N, 95.1722° O) y Villa Rica (19.4057° N, 96.3752° O) y depositados en el Herbario de la Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa (UAMIZ1236, UAMIZ1237 y UAMIZ1238).

Para realizar los análisis morfológicos los especímenes se preservaron en formol al 5% y fueron examinados usando un microscopio estereoscópico (Leica MZ 12.5, Wetzlar, Germany). Se hicieron cortes transversales en la parte apical, media y basal de los talos para observar caracteres microscópicos. Las microfotografías se tomaron con una cámara digital Olympus Vg-160 (Tokio, Japan) acoplada a un microscopio Nikon Eclipse E200 (Tokyo, Japan).

En los análisis moleculares se empleó material preservado en silica gel, el ADN total se obtuvo mediante el kit de extracción Dneasy Mini Kit (Quiagen, Valencia, CA, USA) siguiendo las instrucciones del fabricante. Se amplificaron secuencias parciales del gen *psbA* con los primers *psbA F* y *psbA R* (Silberfeld *et al.* 2010) y del gen *cox1* con los primers *Gaz1 R* y *Gaz1 F* (Adaptados de Saunders, 2005) usando AmpliTaq kit de Applied Biosystems (Lincoln Centre Drive Foster City, CA, USA). Se comprobó la longitud correcta de los productos de PCR por medio de electroforesis en un gel de agarosa al 1%. Los productos de PCR fueron enviados a Macrogen (Gasandong, Seoul, Korea) para ser purificados y secuenciados. Para realizar los alineamientos de las secuencias *psbA* y *cox1* se empleó el programa MEGA versión 5 (Tamura *et al.* 2011).

Las nuevas secuencias y los detalles de recolecta de los especímenes usados en los análisis filogenéticos se encuentran en la Tabla 1.

Las relaciones filogenéticas fueron inferidas empleando una matriz concatenada de 1703 nucleótidos (*psbA* = 1031 pb; *cox1* = 672 pb) incluyendo 28 taxa. *Scoresbyella profunda* Womersley, *Canistrocarpus cervicornis* (Kützinger) J. C. De Paula *et O.* De Clerck y *C. crispatus* (Lamouroux) J.C. De Paula *et O.* De Clerck fueron incluidos como grupos externos con base en los resultados obtenidos por De Clerck *et al.* (2006).

Los valores de divergencia nucleotídica fueron obtenidos por medio del programa MEGA versión 5 (Tamura *et al.* 2011). El análisis de inferencia bayesiana (IB) se realizó con el programa MrBayes v. 3.0 beta 4 (Ronquist & Huelsenbeck, 2003) y se corrieron 5 cadenas de Markov Monte Carlo (una caliente y 4 frías), muestreando un árbol cada 1000 generaciones de un total de 5·10<sup>6</sup> generaciones. El análisis de Máxima Verosimilitud (MV) y los valores de bootstrap (Felsenstein, 1985) (100 réplicas) fueron obtenidos por medio del programa TOPALI v2 (Milne *et al.*, 2009). Para ambos análisis se usó el modelo GTR+I+G que fue seleccionado empleando el programa jModelTest 0.1.1 (Posada, 2008).

## RESULTADOS

**Análisis molecular.** La divergencia genética obtenida para el gen *psbA* fue de 0 % entre las diferentes muestras de la especie *D. chalcicueyecanensis*, y los valores oscilaron entre 1.3% y 7.4% con el resto de las especies del género. En *cox1* fue de 0% entre las muestras de la nueva especie con el resto de las especies de *Dictyota* los valores oscilaron entre 17.4% y 21.0%.

Los árboles filogenéticos de MV e IB, de los genes *cox1* y *psbA* presentaron topologías similares (datos no presentados). Asimismo, del alineamiento concatenado de los análisis de ML e IB se obtuvieron árboles altamente congruentes, difiriendo en algunas posiciones que tuvieron un soporte de clados pobre, pero respecto al clado que contiene la nueva especie, en ambos análisis se obtuvieron valores con un alto soporte de probabilidad de clados (Fig. 1).

***Dictyota chalcicueyecanensis* sp. nov. J. Lozano-Orozco *et Senties*** (Figs. 2-8)

Descripción: talos de (6.5) 8-12 (14) cm de largo, erectos, de consistencia rígida al tacto, con pie de fijación al sustrato de forma discoide. El color *in situ* es café claro, los especímenes deshidratados conservan el mismo color. El ancho de los ejes es uniforme a través del talo: (5) 10-24 (30) mm de largo y (2) 4-5 (6) mm de ancho entre dicotomías. Los ápices son redondeados (1) 1.2-1.4 (1.7) mm de ancho; la célula apical es notable. La ramificación dicotómica se divide (10) 14-18 (22) veces y el ángulo de los ejes es agudo. Los márgenes son dentados, los dientes tienen forma triangular a espinosa dirigidos hacia los ápices. Los esporangios germinan regularmente en las porciones interdicotómicas basales del talo. Corteza monostromática con células de (24) 35-40 (60) de largo mm, (14) 19-22 (40) mm de ancho y (14) 20-22 (41) de alto. Células medulares de (100-) 180-200 (-300) de largo mm, (47-) 78-83 (-117) mm de ancho y (52) 100-206 (199) mm de alto. Los esporangios se encuentran aislados o agrupados en ambos lados del talo, de color café oscuro, y (50) 52-56 (60) mm de diámetro, proveniente de una célula con (8) 15-17 (23) mm de alto.

Tabla 1. Taxa usados en este estudio para los análisis moleculares.

Muestras	Sitios de recolecta		Números de acceso al GenBank	
	<i>psbA</i>	<i>cox1</i>	<i>psbA</i>	<i>cox1</i>
<i>Canistrocarpus cervicornis</i> (Kützinger) De Paula et Clerck	Tenerife, Islas Canarias, España	Negros Oriental, Filipinas	GQ425187	N. G.
<i>C. crispatus</i> (J. V. Lamouroux) De Paula et De Clerck	Tiwi, Kenia	Negros Oriental, Filipinas	GU26578	GQ42513
<i>Dictyota acutiloba</i> J. Agardh	Hawaii, EE. UU.	Hawaii, EE. UU.	EU395602	GU290236
<i>Dictyota adnata</i> Zanardini	Raja Ampat, Indonesia	Raja Ampat, Indonesia	GU265788	GQ425134
<i>Dictyota binghamiae</i> J. Agardh	Baja California, México	British Columbia, Canadá	JQ061015	FJ409140
<i>Dictyota canariensis</i> (Grunow) Tronholm	Veracruz, México	Veracruz, México	KF322229	KF322228
<i>D. caribaea</i> Hörnig et Schmetter	St. Ann Parish, Jamaica	St. Ann Parish, Jamaica	EU395608	JQ061097
<i>D. ceylanica</i> Kützinger	Tahiti, Polinesia Francesa	Tahiti, Polinesia Francesa	EU395607	GQ425122
<i>D. chalcicueyecanensis</i> J. Lozano-Orozco et Senties	Punta Puntillas, Veracruz (UAMIZ1236)	Punta Puntillas, Veracruz (UAMIZ1236)	KX819256	KX819252
<i>D. chalcicueyecanensis</i> J. Lozano-Orozco et Senties	Playa Hermosa, Veracruz (UAMIZ1237)	Playa Hermosa, Veracruz (UAMIZ1237)	KX819255	KX819253
<i>D. chalcicueyecanensis</i> J. Lozano-Orozco et Senties	Villa Rica, Veracruz (UAMIZ1238)	Villa Rica, Veracruz (UAMIZ1238)	KX819257	KX819254
<i>D. ciliolata</i> (Kützinger) Sonder	Islas Canarias, España	Olango Island, Filipinas	GQ425192	GQ425124
<i>D. ciliolata</i>	Veracruz, México	Veracruz, México	N. G.	N. G.
<i>D. crenulata</i> J. Agardh	Baja California, México	Oaxaca, México	GU265782	JQ061089
<i>D. cymatophila</i> Tronholm, M. Sanson et Afonso-Carrillo	Tenerife, Islas Canarias, España	Tenerife, Islas Canarias, España	GQ425193	GQ425128
<i>D. dichotoma</i> (Hudson) J. V. Lamouroux	Walney Island, Inglaterra	Languedoc-Rousillon, Francia	GU255542	GQ425131
<i>D. fasciola</i> (Roth) J. V. Lamouroux	Languedoc-Rousillon, Francia	Languedoc-Rousillon, Francia	FJ869847	GQ425133
<i>D. flabellata</i> (Collins) Setchell et N. L. Gardner	Baja California, México	Baja California, México	N. G.	N. G.
<i>D. implexa</i> (Desfontaines) J. V. Lamouroux	Provence Cassis, Francia	Provence Carry-le-Rouet, Francia	GQ466076	GQ425135
<i>D. jamaicensis</i> W. R. Taylor	Punta Cana, Jamaica	Punta Cana, República Dominicana	JQ061055	JQ061099
<i>D. jamaicensis</i> W. R. Taylor	Quintana Roo, México	Quintana Roo, México	N. G.	N. G.
<i>D. mediterranea</i> (Schiffner) G. Furnari	Siracusa, Italia	Sicilia, Italia	GU255569	GQ290236
<i>D. pinnatifida</i> Kützinger	St. Ann Parish, Jamaica	St. Ann Parish, Jamaica	EU395612	GQ425126
<i>D. pleiacantha</i> Tronholm	Tenerife, Islas Canarias, España	Tenerife, Islas Canarias, España	JQ061052	JQ061100
<i>D. rigida</i> De Clerck et Coppejans	Mombasa, Kenia	Mombasa, Kenia	GQ466077	GQ425138
<i>D. sandvicensis</i> Sonder	Oahu, Hawaii, EE. UU.	Oahu, Hawaii, EE. UU.	JQ061078	GU290239
<i>D. spiralis</i> Montagne	Madeira, Portugal	Languedoc-Roussillon, France	GQ466078	GU290235
<i>Scoresbyella profunda</i> Womersley	Western Australia, Australia	Western Australia, Australia	EU395620	GQ425121

N.G. = Datos no sometidos al GenBank

Description. Thallus (6.5) 8-12 (14) cm long, erect, attached to the substrate by rhizoids that form a discoid holdfast. Sympodial and strictly dichotomous branching. Color *in situ* light brown, dehydrated specimens retain the same color. The width of the axes is uniform across the thallus: (5) 10-24 (30) mm long and (2) 04.05 (6) mm wide between dichotomies. Apices rounded (1) 1.2-1.4 (1.7) mm wide, apical cell protruding. The branching dichotomous is divided (10) 14-18 (22) times and the branch angles of the axes is acute. Margins dentate, teeth are

triangular shaped spinous directed towards the apices. Germinating sporangia common on interdichotomous basal portions of the thallus. Cortex unilayered, cells (24) 35-40 (60) mm long, (14) 19-22 (40) mm wide and (14) 20-22 (41) mm high. Medulla unilayered, cells (100-) 180-200 (-300) mm long, (47-) 78-83 (-117) mm wide and (52) 100-206 (199) mm high. Sporangia isolated or grouped on both sides of the thallus, dark brown, (50) 52-56 (60) mm in diameter, borne on a single stalk cells (8) 15-17 (23) mm high.

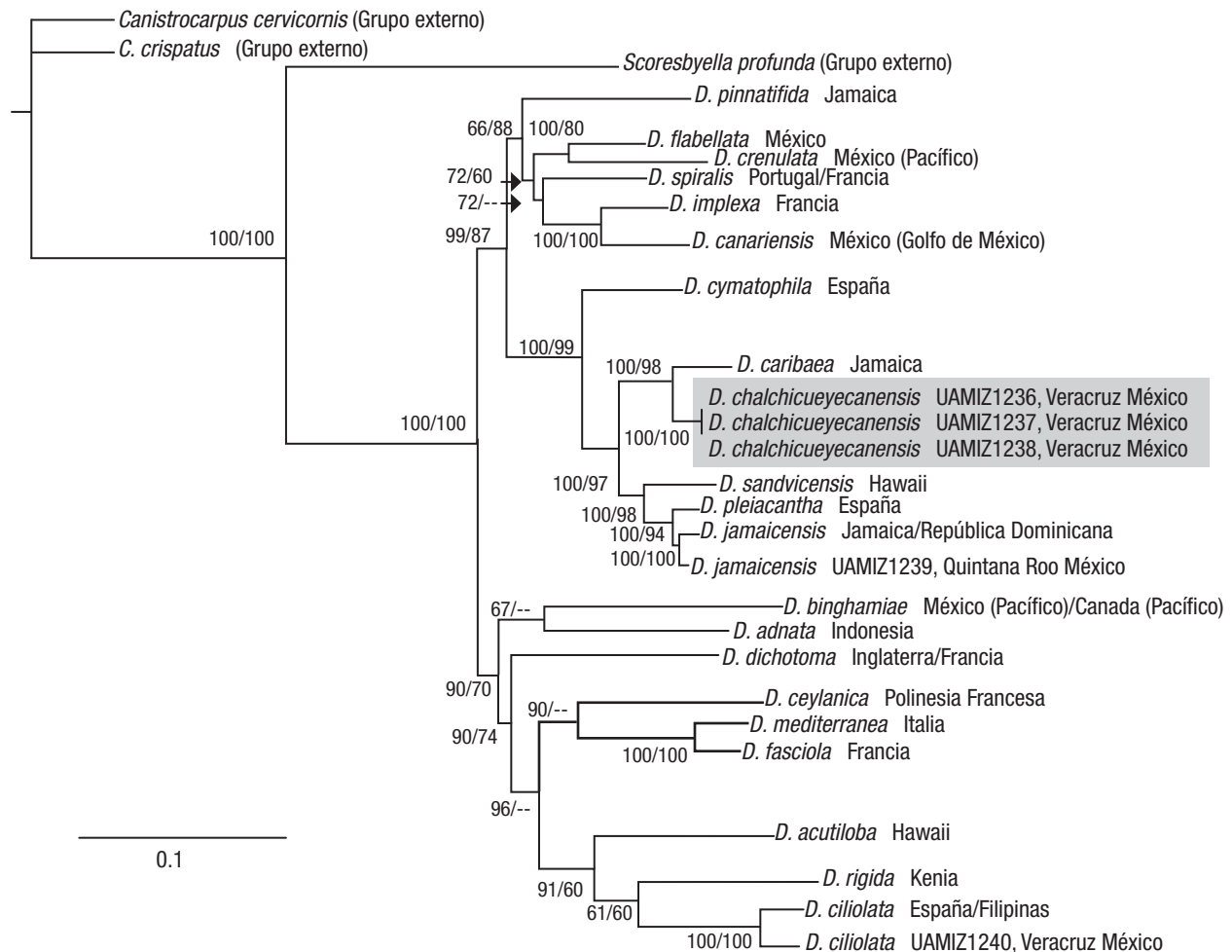


Figura 1. Relaciones filogenéticas de especies del género *Dictyota*, basadas en un análisis bayesiano de una matriz concatenada de las secuencias de los genes *psbA* y *cox1*. Los valores de probabilidad posterior bayesiana (derecha) y valores de Bootstrap de ML (izquierda) se indican en los nodos. Las localidades que se muestran son para las secuencias del gen *psbA* (derecha) y *cox1* (izquierda).

**Etimología:** el epíteto específico proviene de Chalchicueyecan: palabra de origen náhuatl que significa: “el lugar de la que posee la falda de jade” (con alusión metafórica al oleaje), y se refiere al nombre que era dado a las costas del estado de Veracruz por los mexicas.

**Holotipo:** Punta Puntillas, Veracruz, México. Lozano-Orozco POK100, 02/12/2012 (UAMIZ1236).

**Localidad tipo:** Punta Puntillas, Veracruz, México. (18.4655° N, 95.1722° O)

**Paratipos:** Playa Hermosa (18.3953° N, 95.0742° O) Lozano-Orozco POK176, 2013 (UAMIZ1237) y Villa Rica (19.4057° N, 96.3752° O) Lozano-Orozco POK190, 2013 (UAMIZ1238).

**Distribución:** esta especie sólo se ha encontrado en las costas del estado de Veracruz.

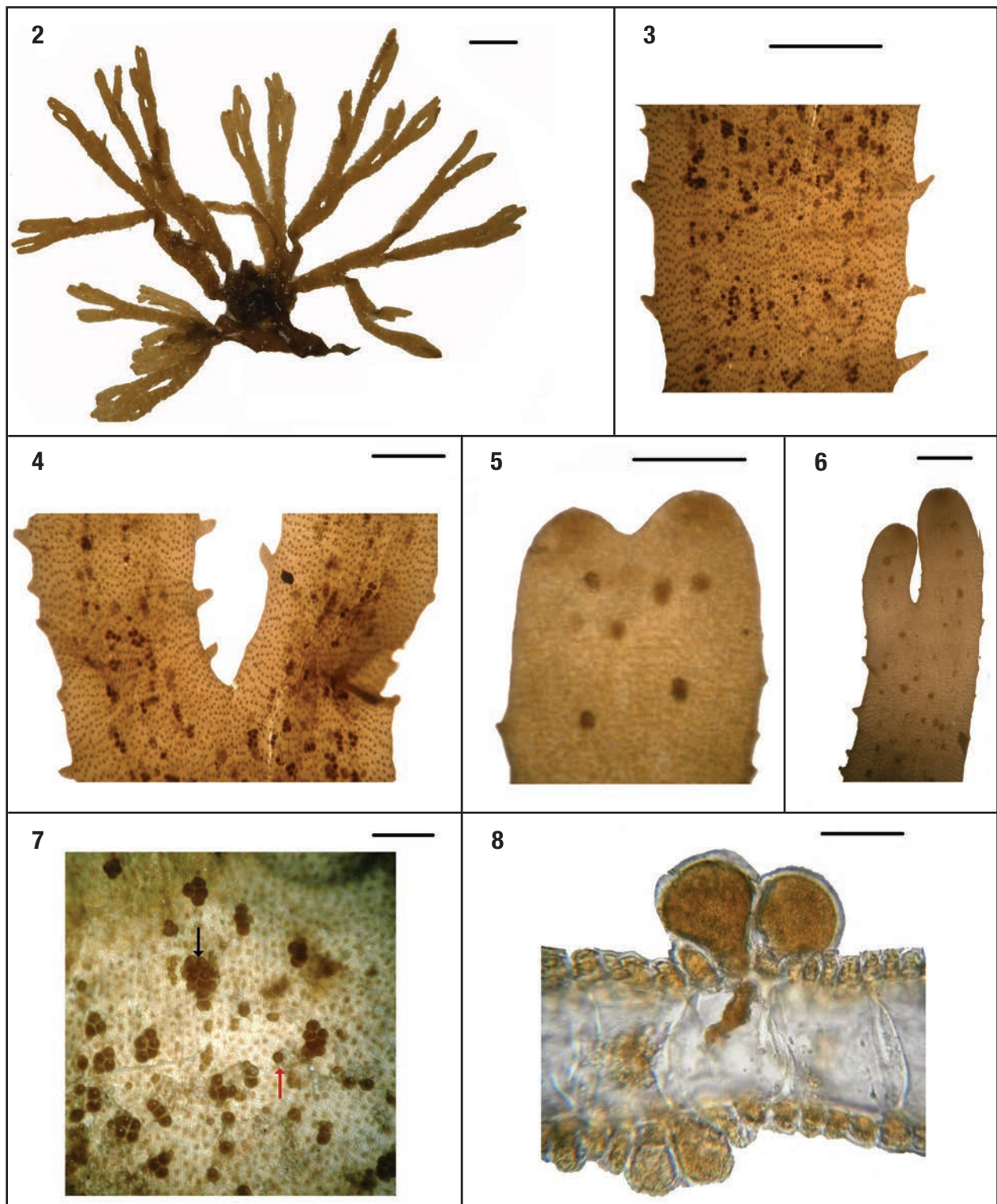
**Hábitat:** Esta especie se desarrolla sobre rocas en zonas protegidas a nivel intermareal.

## DISCUSIÓN

**Análisis molecular.** Los valores de divergencia genética para el gen *psbA* de *D. chalchicueyecanensis*, tanto a nivel intraespecífico (0%) e interespecífico (1.4%-6.8%), apoyan la hipótesis de la presencia de una nueva entidad taxonómica para Dictyotales en el Golfo de México, lo cual es congruente con los valores de divergencia intraespecíficos (<1%) e interespecíficos (<7%) reportados previamente en la literatura para Dictyotales (Hwang *et al.* 2004; Tronholm *et al.* 2012, Lozano-Orozco *et al.* 2014, 2015).

De igual manera, los análisis filogenéticos de MV e IB en los genes *psbA*, *cox1* y concatenado (Fig. 1), demuestran que los especímenes se ubican en un clado monofilético bien soportado, lo que corrobora que conforman una nueva especie para el género *Dictyota*. En los análisis se incluyeron secuencias de especies dentadas registradas en Golfo de México (*D. canariensis*, *D. ciliolata* y *D. jamaicensis*) con las que anteriormente se pudo confundir a *D. chalchicueyecanensis*, se puede observar que éstas se ubican en clados no relacionados con la nueva especie.





Figuras 2-8. *Dictyota chalcicueyecanensis*. **2)** Talo esporofito, espécimen de Punta Puntillas, Veracruz, México designado como holotipo (UAMIZ1236). Escala = 1 cm. **3)** Vista superficial de esporangios en segmentos basal de un talo (UAMIZ1237). Escala = 2 mm. **4)** Dicotomía de un segmento basal, donde se observan los esporangios (UAMIZ1237). Escala = 1 mm. **5-6)** Ápices redondeados de segmentos distales (UAMIZ1236). Escala = 500  $\mu$ m y 1 mm, respectivamente. **7)** Detalle de esporangios en la superficie de un talo (UAMIZ1238). Nótese los esporangios agrupados (Flecha negra) y solitarios (Flecha roja). Escala = 200  $\mu$ m. **8)** Sección transversal de un talo que presenta esporangios provenientes de una célula, nótese medula monostromática (UAMIZ1236). Escala = 50  $\mu$ m.

Tabla 2. Comparación morfológica de *Dictyota chalcicueyecanensis* con especies dentadas presentes en el Golfo de México

Caracter	<i>D. chalcicueyecanensis</i>	<i>D. canariensis</i>	<i>D. ciliolata</i>	<i>D. jamaicensis</i>
Iridiscencia	Ausente	A veces azul grisáceo, regularmente con pigmentaciones rectangulares o cuadradas mas oscuras en la parte apical	A veces amarillo grisáceo, con un patrón de bandas transversales en el talo	Ausente, a veces con pigmentaciones mas oscuras en forma de triángulo invertido en las dicotomías, especialmente visibles <i>in vivo</i>
Forma de ápices	Redondeados	Redondeados a obtusos	Redondeados a agudos	Espatulado
Dientes	Triangulares pequeños a espinosos	Triangulares pequeños	Ciliados pequeños	Espinosos a ciliados
Superficie	Lisa	Lisa, a veces con proliferaciones en forma de hoja	Lisa, a veces con proliferaciones en forma de hoja	Lisa
Pelos feofíceos	Ausentes	Ausentes	Presentes	Presentes
Esporangios	Solitarios o agrupados en ambas superficies	Solitarios en ambas superficies	Solitarios en ambas superficies	Solitarios o agrupados principalmente sobre una superficie
Distribución	Veracruz	Veracruz; Macaronesia	Campeche, Quintana Roo, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán; Pantropical	Campeche, Quintana Roo, Veracruz, Cabo Verde
Referencias	Este estudio	Tronholm et al., (2013), Lozano et al., (2014)	Ortega, (2001), Wynne, (2011), Tronholm, (2013)	Ortega, 2001; Wynne, (2011), Tronholm, (2013)

**Análisis morfológico.** Como se muestra en la Tabla 2, además de su forma una de las características diagnósticas importantes para diferenciar las especies dentadas, *D. canariensis*, *D. ciliolata* y *D. jamaicensis* de la nueva especie es la presencia de iridiscencia, ya que *D. chalcicueyecanensis* carece de iridiscencia, *D. canariensis* y *D. ciliolata* sí la presentan y *D. jamaicensis* no presenta iridiscencia pero sí pigmentaciones más oscuras en forma de triángulo invertido en las dicotomías. Otro carácter importante es la distribución de esporangios: *D. chalcicueyecanensis* solitarios o agrupados en ambas superficies, *D. canariensis* y *D. ciliolata*, únicamente solitarios y *D. jamaicensis* los presenta solitarios o agrupados generalmente en una de las superficies. También en cuanto a la forma y orientación de los dientes con respecto a los ápices, se ha visto que los dientes tienen una alta plasticidad morfológica intraespecífica (Hwang et al. 2005; Tronholm et al. 2008, 2010), que podría sugerir la identificación de las especies en primera instancia, pero por sí solo este carácter no ayuda a realizar una correcta identificación. Otros caracteres que se emplean para diferenciar estas especies son la presencia de pelos feofíceos y la forma de los ápices. Conjugando estos caracteres morfológicos, podemos hacer una diferenciación entre *D. chalcicueyecanensis* con las demás especies dentadas del Golfo de México.

Como ya se mencionó, los caracteres morfológicos sirven como una primera aproximación para diferenciar a especies dentadas, sin embargo como las diferencias son mínimas o bien pueden tener una marcada plasticidad morfológica, es recomendable realizar análisis minuciosos para distinguir a las especies. Seguramente la falta de un estudio detallado fue la causa de que *D. chalcicueyecanensis* haya sido registrada de manera errónea como *D. ciliolata* o *D. jamaicensis* (Ortega et al., 2001; Littler & Littler, 2000; Wynne, 2011), ya que *D. canariensis* fue encontrada recientemente en el Golfo de México (Lozano et al., 2014).

La información obtenida en esta investigación prueba de manera contundente que *D. chalcicueyecanensis* corresponde a una nueva especie dentada del género *Dictyota*, asimismo se concluye que aunque los caracteres morfológicos en el caso de las especies dentadas del género *Dictyota*, sirven como una primera aproximación para la identificación de las especies, frecuentemente un análisis morfológico somero conduce a una identificación errónea. Esto demuestra, como se ha hecho en otros estudios (Mendoza-González et al. 2011; Senties et al. 2014; Tronholm et al. 2013; Lozano et al. 2014, 2015), que la asociación de análisis morfológicos y moleculares, es de suma importancia para identificar especies, analizar su distribución o como en este caso, reconocer nuevas especies para la ciencia.

## AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CONACyT por la beca otorgada a través del doctorado en Ciencias Biológicas y de Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). De igual manera, al Dr. Olivier De Clerck y a la Universidad Ghent por el apoyo brindado durante la estancia de investigación que se realizó en esa institución y a R. Mondragón por la edición de figuras de este trabajo.

Se agradece el apoyo parcial de la línea de investigación Macroalgas Marinas y Salobres, del área de Ficología Comparada de la UAM-Iztapalapa, así como del PROMEP-SEP (UAM-I-CA-117).

## REFERENCIAS

- DE CLERCK, O. 2003. *The genus Dictyota in the Indian Ocean*. Opera Botanica. Belgica 13. National Botanic Garden of Belgium, Meise. 205 p.
- DE CLERCK, O. & E. COPPEJANS. 1999. Two new species of *Dictyota* (Dictyotales, Phaeophyta) from the Indo-Malayan region. *Phycologia* 38: 184-194. DOI: 10.2216/i0031-8884-38-3-184.1
- DE CLERCK, O., F. LELIAERT, H. VERBRUGGEN, C. E. LANE, J. C. DE PAULA, D. A. PAYO & E. COPPEJANS. 2006. A revised classification of the Dictyotae (Dictyotales, Phaeophyceae) based on *rbcl* and 26s ribosomal DNA sequence analyses. *Journal of Phycology* 42: 1271-1288. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2006.00279.x
- FELSENSTEIN, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution* 39: 783-791.
- HWANG, I. K., H. S. KIM & W. J. LEE. 2004. Confirmation on taxonomic status of *Spatoglossum pacificum* Yendo (Dictyotaceae; Phaeophyceae) based on morphology and plastid protein coding *rbcl*, *rbcs*, *psaA*, and *psbA* gene sequences. *Algae* 3: 161-174. DOI: 10.4490/ALGAE.2004.19.3.161
- HWANG, I. K., H. S. KIM & W. J. LEE. 2005. Polymorphism in the brown alga *Dictyota dichotoma* (Dictyotales, Phaeophyceae) from Korea. *Marine Biology Berlin*. 147: 999-1015. DOI: 10.1007/s00227-005-1623-8
- LITTLER, D. S. & M. N. LITTLER. 2000. *Caribbean Reef Plants*. Offshore Graphics. Washington, D.C. 542 p.
- LOZANO-OROZCO, J. G., A. SENTÍES, J. DÍAZ-LARREA, F. F. PEDROCHE & O. DE CLERCK. 2014. The occurrence of *Dictyota canariensis* (Dictyotales, Phaeophyceae) in the Gulf of Mexico. *Botanica Marina* 57: 359-365. DOI: 10.1515/bot-2013-0111
- LOZANO-OROZCO, J. G., A. SENTÍES, O. DE CLERCK, K. M., DRECKMANN & J. DÍAZ-LARREA. 2015. Two new species of the genus *Dictyota* (Phaeophyceae: Dictyotales) from the Mexican Caribbean. *American Journal of Plant Sciences* 6: 2492-2501. DOI: 10.4236/ajps.2015.615251.
- MENDOZA-GONZÁLEZ, A. C., A. SENTÍES, L. E. MATEO-CID, J. DÍAZ-LARREA, F. F. PEDROCHE & R. ALVARADO. 2011. *Ochtodes searlesii* sp. nov. (Gigartinales, Rhodophyta), from the Pacific tropical coast of Mexico, based on morphological and molecular evidence. *Phycological Research* 59: 250-258. DOI: 10.1111/j.1440-1835.2011.00623.x
- MILNE, I., D. LINDNER, M. BAYER, D. HUSMEIER, G. MCGUIRE, D. MARSHAL & F. WRIGHT. 2009. TOPALi v2: a rich graphical interface for evolutionary analyses of multiple alignments on HPC clusters and multi-core desktops. *Bioinformatics* 25: 126-127. DOI: 10.1093/bioinformatics/btn575
- ORTEGA, M., J. GODÍNEZ & G. GARDUÑO. 2001. *Catálogo de algas Bénticas de las Costas Mexicanas Del Golfo de México y Mar Caribe*. UNAM-CONABIO. 594 p.
- POSADA, D. 2008. jModelTest: Phylogenetic Model Averaging. *Molecular Biology and Evolution* 25: 1253-1256. DOI: 10.1093/molbev/msn083
- RONQUIST, F. & J. P. HUELSENBECK. 2003. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics* 19: 1572-1574. DOI: 10.1093/bioinformatics/btg180
- SAUNDERS, G. W. 2005. Applying DNA barcoding to red macroalgae: a preliminary appraisal holds promise for future applications. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 360: 1879-1888. DOI: 10.1098/rstb.2005.1719
- SENTÍES, A., A. C. MENDOZA-GONZÁLEZ, L. E. MATEO-CID, J. DÍAZ-LARREA, G. A. CEBALLOS-CORONA & M. T. FUJII. 2014. *Osmundea purepecha*, n. sp. (Rhodophyta: Ceramiales), from the Pacific Tropical Coast of Mexico, based on morphological and molecular data. *Pacific Science* 68: 295-304. DOI: 10.2984/68.2.9
- SILBERFELD, T., J. LEIGH, H. VERBRUGGEN, C. CRUAUD, B. DE REVIERS & F. ROUSSEAU. 2010. A multilocus time calibrated phylogeny of the brown algae (Heterokonta, Phaeophyceae): investigating the evolutionary nature of the "brown algal crown radiation". *Molecular Phylogenetic and Evolution* 56: 659-674. DOI:10.1016/j.ympev.2010.04.020
- TAMURA, K., D. PETERSON, N. PETERSON, G. STECHER, M. NEI & S. KUMAR. 2011. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using Maximum Likelihood, evolutionary distance, and Maximum Parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution* 28: 2731-2739. DOI: 10.1093/molbev/msr121
- TRONHOLM, A., M. SANSÓN, J. AFONSO-CARRILLO & O. DE CLERCK O. 2008. Distinctive morphological features, life-cycles phases and seasonal variations in subtropical populations of *Dictyota dichotoma* (Dictyotales, Phaeophyceae). *Botanica Marina* 51: 132-144. DOI: 10.1515/BOT.2008.017
- TRONHOLM, A., M. SANSÓN, J. ALFONSO-CARRILLO, H. VERBRUGGEN & O. DE CLERCK. 2010. Niche partitioning and the coexistence of two cryptic *Dictyota* (Dictyotales, Phaeophyceae) species from the Canary Islands. *Journal of Phycology* 46: 1075-1087. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2010.00912.x
- TRONHOLM, A., F. LELIAERT, M. SANSÓN, J. AFONSO-CARRILLO, L. TYBERGHEIN, H. VERBRUGGEN & O. DE CLERCK. 2012. Contrasting geographical distributions as a result of thermal tolerance and long-distance dispersal in two allegedly widespread tropical brown algae. *Plos One* 7: e30813. DOI:10.1371/journal.pone.0030813
- TRONHOLM, A., J. AFONSO-CARRILLO, M. SANSÓN, F. LELIAERT, C. FERNÁNDEZ-GARCÍA & O. DE CLERCK. 2013. Taxonomy of the *Dictyota ciliolata-crenulata* complex (Dictyotales, Phaeophyceae). *Phycologia* 52: 171-181. DOI: 10.2216/12-005.1
- WYNNE, M. J. 2011. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic: third revision. *Nova Hedwigia* 140: 1-166.

**Recibido:** 12 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 20 de junio de 2016.



## Preliminary data of antioxidant activity of green seaweeds (Ulvophyceae) from the Southwestern Atlantic and Antarctic Maritime islands

### Datos preliminares de la actividad antioxidante de algas verdes (Ulvophyceae) del Atlántico del Sur y de las islas marítimas de Antártida

Juliane Bernardi<sup>1</sup>, Edson R. T. P. P. de Vasconcelos<sup>1</sup>, Cintia Lhullier<sup>2</sup>, Thaise Gerber<sup>3</sup>, Pio Colepicolo Neto<sup>4</sup> and Franciane M. Pellizzari<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Macroalgas, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Professor Moraes Rego, 1235. Cidade Universitária. CEP: 50670-901 Recife, PE. Brasil

<sup>2</sup>Laboratório de Química Farmacêutica, Departamento de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. Brasil

<sup>3</sup>Departamento de Botânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. Brasil

<sup>4</sup>Departamento de Bioquímica, Instituto de Química, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. Brasil

<sup>5</sup>Universidade Estadual do Paraná, Campus Paranaguá. Paranaguá, Brasil  
e-mail: bernardijuliane@gmail.com

Bernardi J., E. R. T. P. P. de Vasconcelos, C. Lhullier, T. Gerber, P. Colepicolo Neto and F. M. Pellizzari. 2016. Preliminary data of antioxidant activity of green seaweeds (Ulvophyceae) from the Southwestern Atlantic and Antarctic Maritime islands. *Hidrobiológica* 26 (2): 233-239.

#### ABSTRACT

**Background.** Seaweeds must survive in highly competitive environments and thus develop defense strategies that may produce highly diversified antioxidant compounds. **Goals.** The main objective of this work was to assess the antioxidant activity of green seaweeds. **Methods.** Six species of ulvophycean chlorophytes were collected during spring/summer, between the Antarctic (*Monostroma hariotii*, *Protomonostroma rosulatum* and *Ulva hookeriana* – formerly as *U. bulbosa*) and the southwestern Atlantic Ocean (*Gayralia brasiliensis*, *Protomonostroma undulatum* and *Ulva fasciata*). They were then tested for their antioxidant activities using the 2,2-diphenyl-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging method and by quantification of their phenolic (expressed as gallic acid equivalent – GAE – and carotenoid contents. **Results.** Among the evaluated species, *P. rosulatum* and *U. hookeriana* showed high antioxidant potential ( $77.9 \pm 2.8$  and  $53.1 \pm 15.0\%$ , respectively) and high phenolic content ( $176 \pm 6.0$  and  $144.7 \pm 8.9 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ , respectively). These species were collected on King George Island (South Shetland archipelago, around the Antarctic Peninsula) and their higher antioxidant potential may be associated with adaptation to the high incidence of UV rays in this region during summer. In general, tested seaweeds, mainly the samples collected in the Antarctic and Chilean Patagonia, showed higher values of phenolic (from  $58.3 \pm 2.0$  to  $144.7 \pm 8.9 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ ) and carotenoid contents (from  $23.4 \pm 0.2$  to  $51.5 \pm 0.1 \mu\text{g } \beta\text{-carotene g}^{-1}$ ). **Conclusions.** The presence and levels of these compounds suggest that the target seaweeds may have high antioxidant potential. Also the antioxidant activity could be associated with the occurrence area of the species instead of the order or taxonomic group to which they belong.

**Key words:** Green seaweeds, reactive oxygen species, phenolic contents, photoprotectants.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** Las algas marinas tienen que sobrevivir en entornos altamente competitivos, lo que hace que desarrollan estrategias de defensa que pueden dar lugar a una gran diversidad de compuestos antioxidantes. **Objetivos.** El principal objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad antioxidante de algas verdes. **Métodos.** Seis especies de clorófitos (Ulvophyceae) recogidos durante el primavera/verano entre la Antártida (*Monostroma hariotii*, *Protomonostroma rosulatum* y *Ulva hookeriana* – antes como *U. bulbosa*) y el Atlántico Sur (*Gayralia brasiliensis*, *Protomonostroma undulatum* y *Ulva fasciata*) fueron probados por su actividad antioxidante usando el método de secuestro de radicales libres con 2,2-diphenil-picrylhidrazil (DPPH) y pela cuantificación de contenidos fenólicos (expreso como equivalente de ácido gálico (GAE)) y contenidos de carotenoides. **Resultados.** Entre las especies evaluadas, *P. rosulatum* y *U. hookeriana* mostraron alto potencial antioxidante ( $77,9 \pm 2,8$  y  $53,1 \pm 15\%$ , respectivamente) y alto contenido fenólico ( $176 \pm 6,0$  y  $144,7 \pm 8,9 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ , respectivamente). Estas especies fueron recolectadas en la Isla Rey Jorge (cerca de la Península Antártida) y su mayor potencial antioxidante puede estar asociado con la adaptación a la alta incidencia de los rayos UV en esta región. En general, las algas marinas probadas, principalmente las muestras recogidas en la Patagonia Antártida y chilena, mostraron valores más altos de fenólico (de  $58,3 \pm 2,0$  a  $144,7 \pm 8,9 \text{ mg GAE g}^{-1}$ ) y el contenido de carotenoides (de  $23,4 \pm 0,2$  a  $51,5 \pm 0,1 \text{ mg g}^{-1} \beta\text{-caroteno}$ ). **Conclusiones.** La presencia y los niveles de estos compuestos sugieren que las algas marinas diana pueden tener un alto potencial antioxidante. También la actividad antioxidante podría estar asociada con el área de ocurrencia de las especies en lugar de la orden o grupo taxonómico a la que pertenecen.

**Palabras clave:** Algas verdes, especies reactivas del oxígeno, contenidos fenólicos, fotoprotectores.



## INTRODUCTION

*Monostroma*, *Protomonostroma* and *Gayralia* are foliose green seaweeds widely distributed throughout the Southern Hemisphere, with a concentrated biomass between the South Atlantic, Antarctic Peninsula and adjacent archipelagos. These ecosystems show variable and extreme chemical and physical conditions. Benthic organisms, such as seaweeds, can be exposed to high ultraviolet (UV) radiation, herbivory and fouling in higher latitudes, which are factors that may drive the development of defense strategies associated with their secondary metabolism (Verpoorte, 2000; Hartmann, 2007).

The isolation and chemical characterization of secondary metabolites are relevant since some of these compounds demonstrate biological activities against human pathologies (Camarero *et al.*, 1990; Gagioti *et al.*, 1995; Maschek & Baker, 2008). Specifically, antioxidants are the primary natural product known to be inhibitors of reactive oxygen species (ROS) accumulation and can prevent skin oxidative stress, skin cancer and premature skin aging (Guaratini *et al.*, 2007; Guaratini *et al.*, 2012). As such, they have been often applied in the pharmaceutical, nutraceutical and cosmetic industries (Guaratini *et al.*, 2007; Hwang *et al.*, 2010; Guaratini *et al.*, 2012).

Phenolic compounds are the major substances responsible for antioxidant activity in land plants (Hayase & Kato, 1984). In seaweeds, they are primarily involved in UV protection, anti-herbivory defense, pathogen resistance and epiphyte growth defense (Amsler & Fairhead, 2006; Bittencourt-Oliveira *et al.*, 2005).

In addition, carotenoids, a pigment class common in plants and algae, also protect cells against ROS (Hollnagel *et al.*, 1996; Olson, 1999; Naguib, 2000; Gressler *et al.*, 2010, 2011).

Polar ecosystems are the most extreme on the planet, and the organisms inhabiting such environments, including seaweeds, are highly adapted (Dummermuth, 2003). These organisms tolerate low temperatures, long ice-covering periods, low levels of visible irradiance during the winter as well as high quantities and long durations of solar incidence during the summer. Moreover, the stratospheric ozone, which protects organisms from harmful UV radiation, suffers seasonal oscillations over the Antarctic headed by climate global changing and cyclonic winds around this polar area. Therefore, interest in the seaweeds adaptations in polar zones with regard to their production of defense compounds against high levels of UV and fluctuations in ozone levels has been increasing (Dummermuth, 2003).

Recently, Zamora *et al.* (2010) described high levels of antioxidant production enzymes in the shoots of *Deschampsia antarctica* Desvaux, an Antarctic vascular plant, subjected to drought stress. In addition, other studies have found strong antioxidant activity in Antarctic lichen species (Paudel *et al.*, 2008; Luo *et al.*, 2009) and filamentous fungi (Tosi *et al.*, 2010). Apart from those studies, no description of antioxidant activity in Antarctic seaweeds have been reported to date.

In other instance, in the South Atlantic area many studies searching for antioxidant activity in seaweeds have been done in the last 10 years, but only a few of them considered green seaweeds. Cruces *et al.* (2012) reported a positive correlation between the antioxidant activities of two sub-Antarctic brown seaweeds in response to UV radiation. Raymundo *et al.* (2004), using the ferric thiocyanate method to measure the antioxidant activity, found levels of inhibition of lipid peroxidation above

70% in *Ulva intestinalis* Linnaeus and *Chaetomorpha antennina* (Bory de Saint-Vicent) Kützinger extracts collected in southern Brazil. Sousa *et al.* (2008) tested the antioxidant potential by assaying for  $\alpha$  and  $\beta$ -carotene and  $\alpha$ -tocopherol (vitamin E) levels in 32 seaweed species from northeastern Brazil, and higher contents of these substances were obtained mainly in green seaweeds.

Considering that meteorological and oceanographic traits along the Antarctic region influence air and seawater mass circulation throughout the Southwestern Atlantic and due to the scarcity of studies evaluating chlorophyte bioactive compounds from the Antarctic Peninsula and Southwestern Atlantic Ocean, this contribution aims to analyze and compare the antioxidant activity of three South American ulvophyceean species (*Gayralia brasiliensis* Pellizzari, M.C. Oliveira *et al.* N. S. Yokoya, *Protomonostroma undulatum* (Wittrock) K. L. Vinogradova and *Ulva fasciata* Delile) and three other species from King George island around the Antarctic Peninsula (*Protomonostroma rosulatum* Vinogradova, *Monostroma hariotii* Gain and *Ulva hookeriana* (Suhr) Hariot). This study is the first report, although preliminary, of antioxidant activities in seaweeds collected in the Maritime Antarctic islands and surroundings.

## MATERIALS AND METHODS

Seaweed material (approx. 500 g wet weight) was handily collected during spring/summer seasons in the intertidal zones of the Antarctic Peninsula surroundings and Southwestern Atlantic Ocean locations showed in Figure 1, Tables 1 and 2. Samples were washed with local seawater to remove epiphytes, associated fauna and sediments. In the laboratory, the seaweeds were washed with distilled water before freezing. The analyzed species, sites, sampling dates and voucher numbers of the species deposited in the "Maria Eneyda P. K. Fidalgo" Herbarium of Instituto de Botânica de São Paulo (SP) are listed in Table 1.

Aiming to obtain crude chlorophyte extracts, the algae were defrosted and dried in a laminar flow hood (Splabor model SP 808/6-HLV) at room temperature (approx. 25°C) for approximately 48 h. Dried algal samples were triturated into a powder using liquid nitrogen. The material was weighed, and the volume of solvents to be added was calculated for each sample. For each 10g of algae sample was added 50 mL of the particular solvents. The first extraction was conducted with methanol P.A. for 48h before subsequently filtration with cotton. The filtered extract was poured into a 500 mL beaker to evaporate in a laminar flow hood. The second extraction, conducted with dichloromethane P.A. (50 mL of solvent to each 10 g of algae), was performed with the algae fraction retained after the filtration. After 48 h, the extract was filtered, added to the same beaker used before and evaporated completely in a laminar flow hood.

The antioxidant properties assay on seaweed samples using DPPH (2,2-diphenyl-picrylhydrazyl) radical scavenging was described by Kim *et al.* (2002). Briefly, a 2.9 mL aliquot of a methanolic solution of the DPPH radical (Sigma, 0.1 mM in 80% methanol) was added to 0.1 mL of each sample (in 80% methanol). All algal extracts were solubilized with 80% methanol and evaluated at three different dilutions (1.0, 0.5 and 0.16 mg mL<sup>-1</sup>). A blank sample was prepared with 80% methanol as control. The absorbance decrease at 517 nm relative to the negative control was measured with a UV-visible spectrophotometer with a microplate reader after 30 minutes of sample incubation. The percentage of absorbance decrease, indicating antioxidant activity (AA), was calcu-

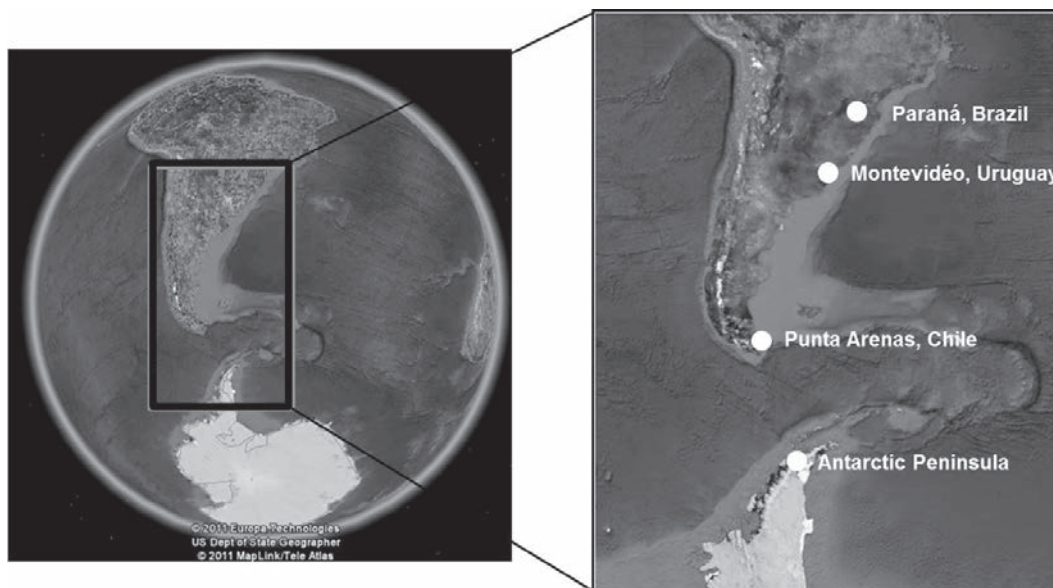


Figure 1. Map showing the sampling locations at Southwestern Atlantic Ocean. In Paraná, Brazil, seaweeds were collected at the inner sector of Antonina Bay and outer sector of Guaratuba Bay. In Montevideo, Uruguay, samplings were made at the Rio de La Plata outfall. In Punta Arenas, Chile, seaweeds were sampled at Fuerte Bulnes beach. In Antarctic Peninsula, samplings took place at Punta Plaza and Botany Point beaches.

lated using the equation:  $\%AA = \{(Abs_{control} - Abs_{sample}) / Abs_{control}\} \times 100$ . All tests were performed in triplicate.

Phenolic contents were determined using the method described by Rhandir *et al.* (2002) with modifications. A 40  $\mu$ L aliquot of each algae extract was added to a reaction mixture containing 3.16 mL of distilled water, 200  $\mu$ L of Folin-Ciocalteu reagent and 600  $\mu$ L of  $Na_2CO_3$  (20% in water) and then thoroughly mixed. After 2 hours incubation in a dark chamber, the absorbance was measured at 750 nm using a UV spectrophotometer. The total phenolic content was analyzed using a gallic acid standard curve. The results from triplicate tests were expressed as  $\mu$ g of gallic acid equivalent (GAE) per gram of dry biomass.

Carotenoid quantification was carried out according to Aman *et al.* (2005) with modifications. 3 mg of each algae crude extract were solubilized in 3 mL of hexane P.A. and the absorbance was read at 450 nm

using a UV spectrophotometer. The results from triplicate tests and the mean absorbance obtained were used in a regression equation calculated from the  $\beta$ -carotene standard curve ( $y = 0.0856x + 0.0074$ , where  $x$  is the average and  $y$  is the concentration). The results were expressed as  $\mu$ g of  $\beta$ -carotene per gram of dry mass.

To compare the AA of the distinct extracts of marine chlorophytes, a one-way analysis of variance (ANOVA) was performed. Variance homogeneity was tested by a Cochran test, and the normal distribution of the data was observed by a histogram. Tukey's post-hoc test was used when the data showed significant differences ( $p < 0.05$ ). When the ANOVA assumptions were not attempted, a non-parametric Kruskal-Wallis test was used. A linear regression was made between the phenolic contents and the radical scavenging assay. All analyses were performed in Statistica Software version 07 (StatSoft, 2004) and the graphic was made using Microsoft Excel<sup>®</sup> 2010.

Table 1. Sampled chlorophyte species, sampling sites, coordinates, sampling dates and voucher numbers.

Species	Site	Latitude	Longitude	Date	Herbarium Number
<i>Protomonostroma rosulatum</i>	Punta Plaza, King George Island, Maritime Antarctic	62°05'25"S	58°24'56"W	Dec 2010 Jan 2011	SP 427956
<i>Protomonostroma undulatum</i>	Fuerte Bulnes, Punta Arenas, Chile	53°37'44.22"S	70°55'17.92"W	Mar 2012	SP 427957
<i>Ulva hookeriana</i>	Punta Plaza, King George Island, Maritime Antarctic	62°05'25"S	58°24'56"W	Dec 2010 Jan 2011	SP 427959
<i>Ulva fasciata</i>	Matinhos, Paraná, South Brazil	25°49'8"S	48°32'29"W	Sep 2012	SP 427958
<i>Gayralia brasiliensis</i>	Guaratuba Bay, Paraná, South Brazil	25°51'10.92"S	48°34'13.17"W	Sep 2012	SP 427960
<i>Monostroma hariotii</i>	Botany Point, King George Island, Maritime Antarctic	62°04'4.57"S	58°18'35.13"W	Dec 2011 Jan 2012	SP 427954

SP = Initials of Maria Eneyda P. K. Fidalgo Herbarium, of the Instituto de Botânica de São Paulo.

## RESULTS

The AA average values from chlorophyte extracts, obtained by the DPPH method at three extract concentrations, are shown in Table 3. The DPPH radical reduction percentages ranged from  $3.5 \pm 2.1\%$  in *Ulva fasciata* to  $77.9 \pm 2.8\%$  in *Protomonostroma rosulatum*. The extract dilution of  $1 \text{ mg mL}^{-1}$  showed the most satisfactory results. Two species collected in the Antarctic Peninsula, *P. rosulatum* and *Ulva hookeriana* showed the highest apparent AA potential ( $77.9 \pm 2.8\%$  and  $53.1 \pm 15\%$ , respectively) and the differences were statistically significant from the other analyzed species ( $p < 0.05$ ). The species *Protomonostroma undulatum*, *Gayralia brasiliensis*, *Monostroma hariotii* and *U. fasciata* did not differ (Tukey's post-hoc,  $p > 0.05$ ) and showed lower antioxidant potential (Table 3).

Table 3 shows the average values of total phenolic contents expressed as the gallic acid equivalent (GAE) detected in the tested species. The lowest value was obtained by *Ulva fasciata* ( $58.3 \pm 2 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ ) collected in southern Brazil, and the highest value was identified in *P. rosulatum* ( $176 \pm 6 \mu\text{g GAE g}^{-1}$ ) sampled in Antarctic. In this analysis, interspecific variance comparisons showed significant differences (Kruskal-Wallis,  $p < 0.05$ ). Figure 2 shows a linear regression between the phenolic contents and the DPPH radical scavenging percentages. In general, the radical reduction rates followed the phenolic contents. Values are presented in Table 3.

The average values found for carotenoid contents in the analyzed chlorophytes are presented in Table 3. The values ranged from  $23.4 \pm 0.2 \mu\text{g } \beta\text{-carotene g}^{-1}$  in *Ulva fasciata* to  $51.5 \pm 0.1 \mu\text{g } \beta\text{-carotene g}^{-1}$  in *Ulva hookeriana*. The comparison of the variances was significantly different (Kruskal-Wallis,  $p < 0.05$ ) only between those two species and no significant differences was detected for the other species analyzed.

## DISCUSSION

Among the Ulvophyceae species collected between the Antarctic Peninsula and the southern Atlantic, *Protomonostroma rosulatum* and *Ulva hookeriana*, from King George Island, Antarctic, showed higher

antioxidant potential. This result suggests that the AA levels could be associated with the occurrence area of the analyzed species and not necessarily with the order or taxonomic group to which the species belongs. Furthermore, they indicate that antioxidant potential is maybe an adaptation strategy for increased tolerance to heightened UV irradiation in the algae's habitat.

UV data around the world is controversial due to differences on units of measurements and sort of equipment used to such purpose, besides, long term measurements and data in broad areas are presented as averages. However, following data retrieved from the *Brazilian Weather Forecast and Climate Studies Center* from the *National Institute of Space Research* (CPTEC/INPE - <http://www.cptec.inpe.br>) we can observe data of IUV max for Paraná sampling station between 5 and 9, considering also a crucial factor when discussing antioxidant activity and its relation with UV rays, the photoperiod in the area and for spring season, 12:12h (light/dark). Southern Chilean coast during summer register IUV data between 10 and 13, presenting a photoperiod of 15:9h. Following data retrieved from the *National Institute of Water and Atmospheric Research* of New Zealand (<https://www.niwa.co.nz/sites/niwa.co.nz/>, citing Liley & McKenzie, 2008), during summer NZ, including subantarctic islands and islands around Peninsula, experiences IUV higher than 14, and a photoperiod of 20:4h. Considering these pool of data we justify in part our inferences above.

Based on previous results obtained from *Ginkgo biloba* L., an extract used as indicator of antioxidant potential with 80% of AA (Martins et al. 2012), our report infers that *P. rosulatum* showed high antioxidant potential. Dummermuth (2003) quantified AA in extracts of Arctic seaweeds, and the chlorophytes showed higher AA compared to red and brown algae. This author also found that *Monostroma grevillei* var. *arcticum* (Wittrock) Rosenvinge, had higher antioxidant potential compared with other Arctic green seaweeds (Dummermuth, 2003).

In our study, *P. undulatum*, collected in the Chilean Patagonia, and *Monostroma hariotii*, sampled in the Antarctic Peninsula, showed high rates of phenolic contents but showed non-satisfactory antioxidant

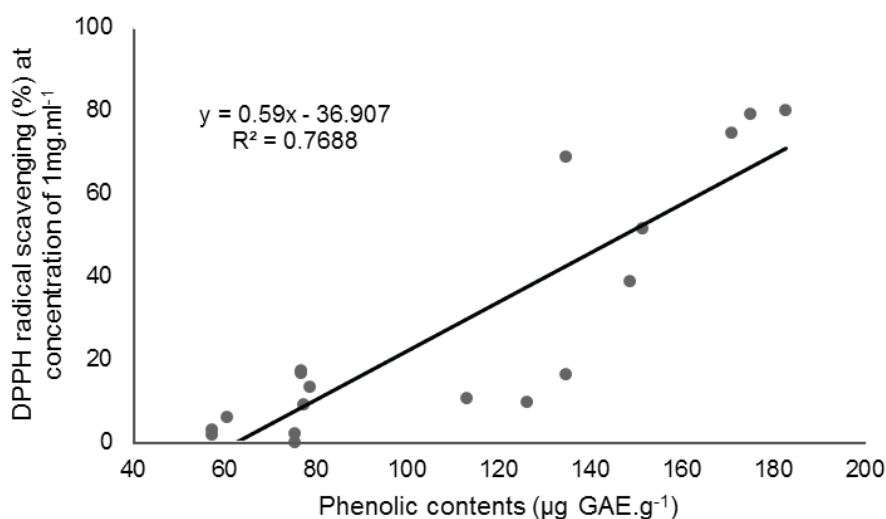


Figure 2. Linear regression between total phenolic contents of the crude extracts of chlorophytes from the Antarctic Peninsula and South Atlantic expressed as the average and standard deviation ( $n=3$ ) of the gallic acid equivalent ( $\mu\text{g GAE g}^{-1}$ ) and the percentages of DPPH radical scavenging at a concentration of  $1 \text{ mg mL}^{-1}$ .  $R^2=0.7688$ ;  $p < 0.01$ .

Table 2. Chlorophyte species sampled, sites, equivalent occurrence zone, average temperature and salinity data and sampling season.

Species	Site	Occurrence zone	Temperature (°C)	Salinity (ups)	Season	Maximum UV values*
<i>M. hariotii</i> , <i>Protomonostroma</i> sp. and <i>U. hookeriana</i>	Maritime Antarctic	Polar	1±2	37±1,5	Summer	>14
<i>G. oxysperma</i>	Uruguay	Subtropical	21±2	16±3	Spring	7 - 10
<i>G. brasiliensis</i>	Brazil	Subtropical	20±4	20±4	Spring	5 - 9
<i>P. undulatum</i>	Chile	Temperate	6±4	28±5	Spring	10 - 13

\*Data from: www.cptec.inpe.br; www.niwa.co.nz/sites/niwa.co.nz

efficacy using methanolic extracts (<60% of reduction). This result could imply differences in the chemical composition among phenolic compounds of the tested algae, and also differences in the solubility of these compounds in the applied solvent, or the influence of associated antioxidant compounds, such as carotenoids, on the AA efficiency present in these algal extracts.

The antioxidant properties of natural products are related to the presence of phenolic compounds that naturally occur in terrestrial and aquatic plants (Hayase & Kato, 1984). In the present study, the higher percentage of AA was obtained in the extract of *P. rosulatum*, whose biomass had a higher content of phenolic compounds, corroborating the previous study. *U. hookeriana*, also collected in King George Island, showed high phenolic contents and was the species showing second highest AA among the ones we sampled in this study.

Trigui *et al.* (2012) studied seasonal variations of AA levels in *Ulva rigida* C. Agardh and concluded that variations in activity correspond to the variations observed in the total phenolic contents. The authors also suggest that these differences could be assigned to seasonal changes in abiotic factors, such as climatic changes, temperature, salinity, nutrients, pollution, epiphytism and different reproductive or metabolic stages of the plant.

Carotenoids are also known to function as antioxidants (Naguib, 2000). Sousa *et al.* (2008) found  $\alpha$ - and  $\beta$ -carotene in all tested green algae. Green and yellow vegetables have been reported to have high carotenoid contents (Bendich & Olson, 1989; Grune *et al.*, 2010), *e.g.*, carrots (33  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) and pumpkins (53  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (Rodrigues-Amaya *et al.*,

2008). Literature data report that *Enteromorpha* (Ulvales) can present higher  $\zeta$ -carotene contents than some vegetables, showing concentrations nearing 250  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Ito & Hori, 1989). These data support our high concentrations detected in *Ulva hookeriana* (previously reported as *Enteromorpha bulbosa* (Suhr) Montagne) sampled in the surrounding islands of Antarctic Peninsula.

Finally, the higher AA observed in *P. rosulatum* and *U. hookeriana* seems to be related to the phenolic and carotenoid contents. Both phenolics and carotenoids are directly related to protection against UV rays in vegetables and likely in seaweeds. One hypothesis for the higher antioxidant potential found in this two species from the Antarctic Peninsula is that these populations are exposed to higher and continuous UV radiation mainly during summer and thus may be naturally selected for high antioxidant potential.

Therefore, these preliminary results suggest that Antarctic Ulvophyceans may have a wide range of chemical constituents from secondary metabolism, mainly phenolic compounds and carotenoids, that can present AA and that probably these contents are higher when compared to the same orders or family taxa collected in temperate or subtropical zones due to adaptive routes. This contribution is the first comparative report of AA in Ulvophyceae species from Brazil, Chile and maritime Antarctic. The high AA of *P. rosulatum*, endemic to King George Island, Antarctic Peninsula, corroborates the relevance of elucidating bioactive compounds from high latitudes as possible new sources of natural products with potential uses in cosmetic, nutraceutical and pharmacological industries for their anti-oxidative stress effects.

Table 3. Marine chlorophyte species, their distribution and extracts analysis results.

Species	Sites	DPPH radical scavenging (%)			Phenolic contents ( $\mu\text{g GAE g}^{-1}$ )	Carotenoid contents ( $\mu\text{g } \beta\text{-carotene g}^{-1}$ )
		1 mg ml <sup>-1</sup>	0.5 mg ml <sup>-1</sup>	0.16 mg ml <sup>-1</sup>		
<i>P. rosulatum</i>	Antarctic	77.9±2.8	40±6	14±1	176±6	29.6±0.04
<i>P. undulatum</i>	Chile	12.1±3.5	10.7±2.9	-	124.5±10.8	25.2±0.6
<i>U. hookeriana</i>	Antarctic	53.1±15	38.9±3.4	8.4±2	144.7±8.9	51.5±0.1
<i>U. fasciata</i>	Brazil	3.5±2.1	-	-	58.3±2	23.4±0.2
<i>G. brasiliensis</i>	Brazil	13.1±4.1	15.8±5.2	-	77.5±1.0	32.2±0.08
<i>M. hariotii</i>	Antarctic	5.1±10.2	-	-	75.7±0.8	36.3±0.2

Results of DPPH radical scavenging percentages in different concentrations of chlorophyte extracts, phenolic and carotenoid contents to evaluate antioxidant activity. Values are expressed as the mean ± standard deviation.

- Undetectable values.



## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Marinha do Brasil, Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, Programa Antártico Brasileiro, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico for logistics and financial support during samplings. The authors also thank Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior and the Post-Graduation Program in Coastal and Oceanic Systems (PGSISCO/CEM) of Universidade Federal do Paraná for the scholarship grant. The authors acknowledge Dr. Paulo Antunes Horta for use of equipment in the Phycology Laboratory of Universidade Federal de Santa Catarina, and Dr. Erik Lam, from State University of New Jersey, for caring reviewing of the manuscript.

## REFERENCES

- AMAN, R., R. CARLE, J. CONRAD, U. BEIFUSS & A. SCHIEBER. 2005. Isolation of carotenoids from plant materials and dietary supplements by high-speed counter-current chromatography. *Journal of Chromatography A* 1074: 99-105.
- AMSLER, C. D. & V. A. FAIRHEAD. 2006. Defensive and sensory chemical ecology of brown algae. *Advances in Botanical Research* 43: 1-91.
- BENDICH, A. & J. A. OLSON. 1989. Biological actions of carotenoids. *Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology* 3: 1927-1932.
- BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C., P. KUJBIDA, K. H. M. CARDOZO, V. M. CARVALHO, A. N. MOURA, P. COLEPICOLA & E. PINTO. 2005. A novel rhythm of microcystin biosynthesis is described in the cyanobacterium *Microcystis paniformis* Komárek. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 326: 687-694.
- CAMARERO, V. C. P. C., V. B. JUNQUEIRA, P. COLEPICOLA, M. L. KARNOVSKY & M. MARIANO. 1990. Epithelioid macrophages secrete a deactivating factor for superoxide release. *Journal of Cellular Physiology* 145: 481-487.
- CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos © Copyright 2015 CPTEC/INPE. Available in <www.cptec.inpe.br>, accessed in February 2<sup>nd</sup>, 2016.
- CRUCES, E., P. HUOVINEN & I. GÓMEZ. 2012. Interactive effects of UV radiation and enhanced temperature on photosynthesis, phlorotannin induction and antioxidant activities of two sub-Antarctic brown algae. *Marine Biology* 160 (1): 1-13. DOI: 10.1007/s00227-012-2049-8.
- DUMMERMUTH, A. 2003. Antioxidative properties of marine macroalgae from the Arctic. Bremerhaven, Germany. Doctorate Thesis, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research.
- GAGIOTI, S., P. COLEPICOLA & E. M. A. F. BEVILACQUA. 1995. Post-implantation mouse embryo has the ability to generate reactive oxygen species. *Reproduction, Fertility and Development* 7: 1111-1116.
- GRESSLER, V., N. S. YOKOYA, M. T. FUJII, P. COLEPICOLA, J. MANCINI, R. P. TORRES & E. PINTO. 2010. Lipid, fatty acid, protein, amino acid and ash contents in four Brazilian red algae species. *Food Chemistry* 120: 585-590.
- GRESSLER, V., M. T. FUJII, A. P. MARTINS, P. COLEPICOLA, J. MANCINI & E. PINTO. 2011. Biochemical composition of two red seaweed species grown on the Brazilian coast. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 1687-1692.
- GRUNE, T., G. LIETZ, A. PALOU, A. C. ROSS, W. STAHL, G. TANG, D. THURNHAM, S. YIN & H. K. BIESALSKI. 2010.  $\beta$ -Carotene is an important vitamin A source for humans. *Journal of Nutrition* 140 (12): 2268S-2285S. DOI: 10.3945/jn.109.119024.
- GUARATINI, T., M. H. G. MEDEIROS & P. COLEPICOLA. 2007. Antioxidantes na manutenção do equilíbrio redox cutâneo: uso e avaliação de sua eficácia. *Química Nova* Vol. 30 (1): 206-213.
- GUARATINI, T., N. P. LOPES, E. MARINHO-SORIANO, P. COLEPICOLA & E. PINTO. 2012. Antioxidant activity and chemical composition of the non-polar fraction of *Gracilaria domingensis* (Kützinger) Sonder ex Dickie and *Gracilaria birdiae* (Plastino & Oliveira). *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 22: 724-729.
- HARTMANN, T. 2007. From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry* 68: 2831-2846.
- HAYASE, F. & H. KATO. 1984. Antioxidative components of sweet potatoes. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 30: 37-46.
- HOLLNAGEL, H. C., P. DI MASCIO, C. S. ASANO, O. K. OKAMOTO, C. G. STRINGHER, M. C. OLIVEIRA & P. COLEPICOLA. 1996. The effect of light on the biosynthesis of  $\beta$ -carotene and superoxide dismutase activity in the photosynthetic alga *Gonyaulax polyedra*. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 29: 105-111.
- HUANG, J., Y. LIU & X. WANG. 2008. Selective adsorption of tannin from flavonoids by organically attapulgite clay. *Journal of Hazard Materials* 160: 382-387.
- HWANG, P. A., C. H. WU, S. Y. GAU, S. Y. CHIEN & D. F. HWANG. 2010. Antioxidant and immune-stimulating activities of hot-water extract from seaweed *Sargassum hemiphyllum*. *Journal of Marine Science and Technology* 18 (1): 41-46.
- IRO, K. & K. HORI. 1989. Seaweed: chemical composition and potential food uses. *Food Reviews International* 5 (1): 101-144.
- KIM, Y. K., Q. GUO & L. PACKER. 2002. Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. *Toxicology* 172: 149-156.
- LILEY, J. B. & MCKENZIE, R. L. 2008. Where on Earth has the highest UV? National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), Lauderdale, Central Otago, New Zealand.
- LUO, H., Y. YAMAMOTO, J. A. KIM, J. S. JUNG, Y. J. KOH & J. K. HUR. 2009. Lecanoric acid, a secondary lichen substance with antioxidant properties from *Umbilicaria antarctica* in maritime Antarctica (King George Island). *Polar Biology* 32:1033-1040. DOI: 10.1007/s00300-009-0602-9.
- MARTINS, C. D. L., F. RAMLOV, N. P. N. CARNEIRO, L. M. GESTINARI, B. F. SANTOS, L. M. BENTO, C. LHULLIER, L. GOUVEA, E. BASTOS, P. A. HORTA & A. R. SOARES. 2012. Antioxidant properties and total phenolic contents of some tropical seaweeds of the Brazilian coast. *Journal of Applied Phycology* 25 (4): 1179-1187. DOI: 10.1007/s10811-012-9918-x.

- MASCHEK, J. A. & B. J. BAKER. 2008. The chemistry of algal secondary metabolism. In: *Algal Chemical Ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 322 p.
- NAGUIB, Y. M. A. 2000. Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 1150-1154.
- National Institute of Water and Atmospheric Research of New Zealand. Available at <www.niwa.co.nz/sites/niwa.co.nz>, accessed in February 2<sup>nd</sup>, 2016.
- OLSON, J. A. 1999. Carotenoids and human health. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 49: 7S-11S.
- PAUDEL, B., H. D. BHATTARAI, J. S. LEE, S. G. HONG, H. W. SHIN & J. H. YIM. 2008. Antioxidant activity of polar lichens from King George Island (Antarctica). *Polar Biology* 31: 605-608.
- RAYMUNDO, M. S., P. A. HORTA & R. FETT. 2004. Atividade antioxidante in vitro de extratos de algumas algas verdes (Chlorophyta) do litoral catarinense (Brasil). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* 40 (4): 495-503. DOI: 10.1590/S1516-93322004000400007.
- RHANDIR, R., S. PREETHI & S. KALIDAS. 2002. L-DOPA and total phenolic stimulation in dark germinated fava bean in response to peptide and phytochemical elicitors. *Process Biochemistry* 37: 1247-1256.
- RODRIGUES-AMAYA, D. B., M. KIMURA, J. AMAYA-FARFAN, L. CORADIN & V. B. POMBO. 2008. *Fontes brasileiras de carotenoides: tabela brasileira de composição de carotenoides em alimentos*. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, 100 p.
- STATSOFT, INC. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 7. Available in: www.statsoft.com
- SHAHIDI, F. & M. NACZK. 2006. *Phenolics in food and nutraceuticals*. CRC Press, London, 566 p.
- SOUZA, M. B., K. M. S. PIRES, D. B. ALENCAR, A. H. SAMPAIO & S. SAKER-SAMPAIO. 2008.  $\alpha$ - e  $\beta$ -caroteno, e  $\alpha$ -tocopherol em algas marinhas in natura. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas* 28 (4): 953-958.
- TOSI, S., N. KOSTADINOVA, E. KRUMOVA, S. PASHOVA, V. DISHLISKA, B. SPASSOVA, B. VASSILEV & M. ANGELOVA. 2010. Antioxidant enzyme activity of filamentous fungi isolated from Livingston Island, Maritime Antarctica. *Polar Biology* 33:1227-1237.
- TRIGUI, M., L. GASMI, I. ZOUARI & S. TOUNSI. 2012. Seasonal variation in phenolic composition, antibacterial and antioxidant activities of *Ulva rigida* (Chlorophyta) and assessment of antiacetylcholinesterase potential. *Journal of Applied Phycology* 25 (1): 319-328. DOI: 10.1007/s10811-012-9866-5.
- VERPOORTE, R. 2000. Secondary metabolism. In: Verpoorte R, Alfermann AW (eds) *Metabolic engineering of plant secondary metabolism*, 1ed. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 1- 9.
- ZAMORA, P., S. RASMUSSEN, A. PARDO, H. PRIETO & G.E. ZÚÑIGA. 2010. Antioxidant responses of in vitro shoots of *Deschampsia antarctica* to Polyethylene glycol treatment. *Antarctic Science* 22: 163-169.

**Recibido:** 11 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 17 de febrero de 2016.

## Distribución de *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) en ríos neotropicales (Colombia) y su implicancia en la taxonomía de la especie

## Distribution of *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) in Neotropical rivers (Colombia) and its implication on the species's taxonomy

Amelia Alejandra Vouilloud<sup>1</sup>, Yasmín Plata-Díaz<sup>2</sup>, Edna Pedraza<sup>2</sup>, Astrid Pimienta<sup>3</sup>, Santiago Heguilor<sup>1</sup>, Anabel Lamaro<sup>1</sup> y Silvia Estela Sala<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División Científica Ficología, Universidad Nacional de La Plata. Paseo del Bosque S/N La Plata, 1900. Argentina

<sup>2</sup>Escuela de Biología. Grupo de Estudios en Biodiversidad. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Santander, A. A 678. Colombia

<sup>3</sup>Instituto Colombiano del Petróleo ICP- Ecopetrol Km7 Vía a Piedecuesta, Santander. Colombia

e-mail: avouilloud@focnym.unlp.edu.ar

Vouilloud A. A., Y. Plata-Díaz, E. Pedraza, A. Pimienta, S. Heguilor, A. Lamaro y S. E. Sala. 2016. Distribución de *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) en ríos neotropicales (Colombia) y su implicancia en la taxonomía de la especie. *Hidrobiológica* 26 (2): 241-250.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Tradicionalmente se consideraba que los microorganismos eran cosmopolitas; sin embargo, estudios recientes en diversos grupos revelaron que ese concepto es erróneo. La revisión de las diatomeas en el neotrópico ha dejado al descubierto una alta biodiversidad y un gran número de especies endémicas. Por su ubicación latitudinal y relieve en Colombia se observa una gran diversidad de ambientes en un territorio relativamente reducido, por lo que resulta interesante para realizar estudios biogeográficos. Uno de los géneros mejor representados, en los ríos de las tierras bajas es *Eunotia*. *E. parasiolii*, una especie neotropical, ha sido hallada en varios países de la región. **Objetivos.** El objetivo de este trabajo fue analizar la morfología fina y la distribución de los morfotipos hallados en Colombia y establecer si *Eunotia parasiolii* es un taxón con gran variabilidad morfológica y amplia distribución geográfica o, por el contrario, si estos morfotipos representan variedades con distribución restringida. **Métodos.** Se analizaron 170 muestras de perifiton colectadas en 83 sistemas lóticos. Las muestras se trataron siguiendo el protocolo CENT/TC 230 (2002) y se observaron con microscopía óptica (MO) y electrónica de barrido (MEB). Se confeccionaron mapas de distribución utilizando técnicas de SIG y se aplicó el índice de autocorrelación espacial I de Moran. **Resultados.** El análisis de numerosos ejemplares colectados en 83 sistemas lóticos permitió diferenciar *a priori* tres morfotipos, con base en el contorno valvar, el desarrollo de costillas subapicales y la densidad de estrías. El taxón presentó amplia distribución en el área de estudio, y se halló en cuencas con características hidrogeomorfológicas y fisicoquímicas diversas. Los caracteres que distinguen estos morfotipos varían gradualmente y su distribución es aleatoria. **Conclusiones.** *Eunotia parasiolii* es una especie con gran variabilidad morfológica y amplia distribución geográfica. Se propone enmendar su descripción, dado que la diagnosis original no incluye caracteres de la estructura fina de los frústulos y por tanto resulta insuficiente para diferenciarla de taxones afines.

**Palabras clave:** Colombia, diatomeas, distribución geográfica, *Eunotia parasiolii*, neotrópico.

### ABSTRACT

**Background.** Microorganisms have traditionally been considered cosmopolitan. Nevertheless, recent studies of diverse groups demonstrated that this is an erroneous concept. Reviews of diatoms from the Neotropics have shown high biodiversity and numerous endemic species. Colombia has great habitat diversity in relatively small areas due to its latitudinal position and topography, so it is an ideal site for biogeographic studies. One of the better represented genera in lowland rivers, *Eunotia* and *Eunotia parasiolii*, a Neotropical species, was reported in several countries in the region. **Goals.** In order to establish whether the three morphotypes found are discrete taxonomic entities, their morphometric data, fine morphology and geographical distribution were analyzed. **Methods.** 170 periphyton samples corresponding to 83 lotic systems were analyzed. Samples were prepared following the CENT/TC 230 (2002) protocol. They were observed with light (LM) and scanning electronic microscope (SEM). Distribution maps were made using GIS and a Moran's I autocorrelation spatial index was applied. **Results.** The analyses of several specimens collected at 83 lotic systems allowed us to differentiate *a priori* 3 morphotypes based on the valve outline, development of subapical costae, and striae density. The species was extensively distributed in the study area, in basins with different hydrogeomorphology and chemical characteristics. The morphological characteristics that distinguish these morphotypes varied gradually; besides, the morphotypes were randomly distributed. **Conclusions.** We conclude that *Eunotia parasiolii* is a species with a great morphological variability and wide distribution. We propose to amend the description of the species, since the original diagnosis does not include characteristics of the fine structure of the frustules and therefore is insufficient to differentiate it from its allied taxa.

**Key words:** Colombia, diatoms, *Eunotia parasiolii*, geographic distribution, Neotropical.

## INTRODUCCIÓN

La biogeografía ecológica se ocupa de analizar la manera en que los procesos ecológicos, que suceden en escalas cortas de tiempo, actúan sobre los patrones de distribución de los seres vivos (Cox & Moore, 1993); mientras que la biogeografía histórica estudia cómo aquellos procesos que suceden en un periodo prolongado de tiempo, afectan dichos patrones (Crisci *et al.*, 2000). La diversidad y composición taxonómica de las comunidades resultan del balance entre procesos que operan a escala regional, como la especiación y la dispersión geográfica que suman especies a las comunidades, y de los procesos capaces de promover extinciones locales como depredación, exclusión competitiva entre otras (Ricklefs, 1987). Hasta hace poco tiempo, estos conceptos no eran aplicados a los microorganismos, y se consideraba que éstos tenían una distribución cosmopolita; sin embargo, esta idea fue refutada a partir de los resultados obtenidos al estudiar diferentes grupos de organismos. Vanormelingen *et al.* (2007) señalan que los estudios taxonómicos de diatomeas, en los que se utilizan caracteres morfológicos, moleculares y experimentos de entrecruzamiento, han demostrado que su distribución geográfica varía entre el cosmopolitismo y el endemismo. En este nuevo escenario, la incorporación de datos biogeográficos al estudio de la biología y ecología de diatomeas puede brindar información adicional para la definición de los caracteres diagnósticos y límites específicos.

Por su ubicación latitudinal y relieve, Colombia es un lugar propicio para realizar estudios biogeográficos pues presenta una gran variedad de ambientes y es uno de los países con mayor biodiversidad en diferentes grupos de organismos (Anónimo, 2010). Montoya-Moreno *et al.* (2013) sostienen que los estudios taxonómicos de diatomeas de distintas áreas del país demuestran que más de la mitad de los taxones identificados no pueden atribuirse a especies conocidas, y que entre los sitios investigados hay una baja similitud florística, inferior al 20%. Dichos resultados sugieren un alto grado de biodiversidad y un reducido número de especies cosmopolitas, en especial en las zonas de tierras bajas, factores que implican una dificultad para utilizar a las diatomeas como bioindicadores en el neotrópico. En este contexto, la compañía Ecopetrol desarrolló un estudio extensivo de diatomeas del perifiton a fin de elaborar un índice diatómico de calidad biológica para ser utilizado en ríos colombianos.

*Eunotia* es uno de los géneros más diversamente representado en estos ambientes. Al igual que la mayoría de los géneros de diatomeas, se trata de un taxón cosmopolita, pero muchas de sus especies son exclusivas del neotrópico. Metzeltin y Lange-Bertalot (1998, 2007) describieron 79 especies nuevas de *Eunotia* para el trópico de América del Sur. Entre ellas, *Eunotia parasiolii* Metzeltin y Lange-Bertalot descrita con base en materiales del Río Kukenan, Venezuela; fue también hallada en Brasil (Wetzel 2011, como *E. siolii* Hustedt; en Krammer y Lange-Bertalot, 1991, entre otras citas), Guyana (Metzeltin & Lange-Bertalot, 2007), Uruguay (Metzeltin *et al.*, 2005) y Colombia (Montoya-Moreno *et al.*, 2013) pero hasta el presente nunca fuera de América del Sur.

Según la diagnosis (Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998), *E. parasiolii* posee contorno valvar con margen ventral lineal a levemente cóncavo y margen dorsal convexo; se caracteriza por los extremos en forma de nariz con los ápices curvados hacia el lado ventral de la valva y baja densidad de estrías centrales.

En el área de estudio, el taxón presentó una amplia distribución. Los ejemplares analizados con microscopio óptico (MO) y microscopio electrónico de barrido (MEB), mostraron una gran variabilidad morfológica.

El objetivo de este trabajo fue analizar la morfología fina y la distribución de los morfotipos hallados en Colombia y establecer si *Eunotia parasiolii* es un taxón con gran variabilidad morfológica y amplia distribución geográfica o, por el contrario, si estos morfotipos representan variedades con distribución restringida.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de Estudio.** El área de estudio abarcó varias cuencas del territorio colombiano (Fig. 1, Tabla 1), específicamente, las localidades corresponden a las estaciones donde Ecopetrol realiza monitoreos físico-químicos e hidrobiológicos de acuerdo con las disposiciones de las autoridades ambientales de cada región del país. Para la realización de este estudio se utilizó la información contenida en una base de datos con la descripción de algunas variables hidrogeomorfológicas (composición del lecho, aspectos del flujo), fisicoquímicas (pH, conductividad) y aproximadamente 460 morfoespecies de diatomeas. Los datos provinieron de monitoreos realizados entre 2007 y 2011. A cada sitio de muestreo se le asignó una región o unidad hidrológica, según su ubicación en la vertiente y la cuenca a la que pertenece (Tabla 1). En la figura 1 se describe la ubicación de los sitios de muestreo en cada una de las cuencas, de donde se tomó la información para el presente análisis. De manera general, los ríos pertenecientes a las unidades RCO\_VOR, RCO\_VOC, RCC\_VOR son sistemas típicos de piedemonte, que se caracterizan por una alta variación temporal del flujo, con lechos dominados por sustratos duros (bloques principalmente), con presencia de rápidos y flujo turbulento, así como altos valores de pH (= 8.0). Los ríos de los valles interandinos (RVINTER), Catatumbo (RCA\_CATA) y de la cuenca baja del río Magdalena (RCA\_RSJM) presentan lechos arcillosos y limosos. En esta última zona son característicos altos valores de dureza, alcalinidad, sulfatos, cloruros y pH. Por otro lado, los ríos de la Altillanura (RALTILL) presentan valores muy bajos de conductividad ( $\bar{x} = 6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}$ ) y pH levemente ácidos ( $\bar{x} = 5.5$ ), en sus lechos también predominan los sustratos duros (principalmente gravas), con presencia de arcillas y predominio de zonas de corriente en su cauce. Los ríos de la región del Putumayo (RAMAZ), se caracterizan por presentar alta cobertura vegetal, con predominio de zonas de corriente con lechos dominados por gravas, pH neutro ( $\bar{x} = 6.7$ ) y baja conductividad ( $\bar{x} = 88.2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}$ ).

**Colecta y análisis del perifiton.** Se consideraron los resultados del análisis de 170 muestras de perifiton recolectadas en 83 sistemas lóticos. Estas se tomaron en un tramo de al menos 100 m y se fijaron con solución Transeau en proporción 1:1. En cada sitio de muestreo se realizaron raspados de un número variable de sustratos (rocas, vegetación, arena, etc.), de acuerdo con su disponibilidad.

Las muestras fueron tratadas con  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 40% para retirar la materia orgánica, se siguió el protocolo CENT/TC 230 (2002) para análisis con microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (MEB); las mismas se depositaron en el Laboratorio de Biotecnología del Instituto Colombiano del Petróleo, con los números detallados en la tabla 2.



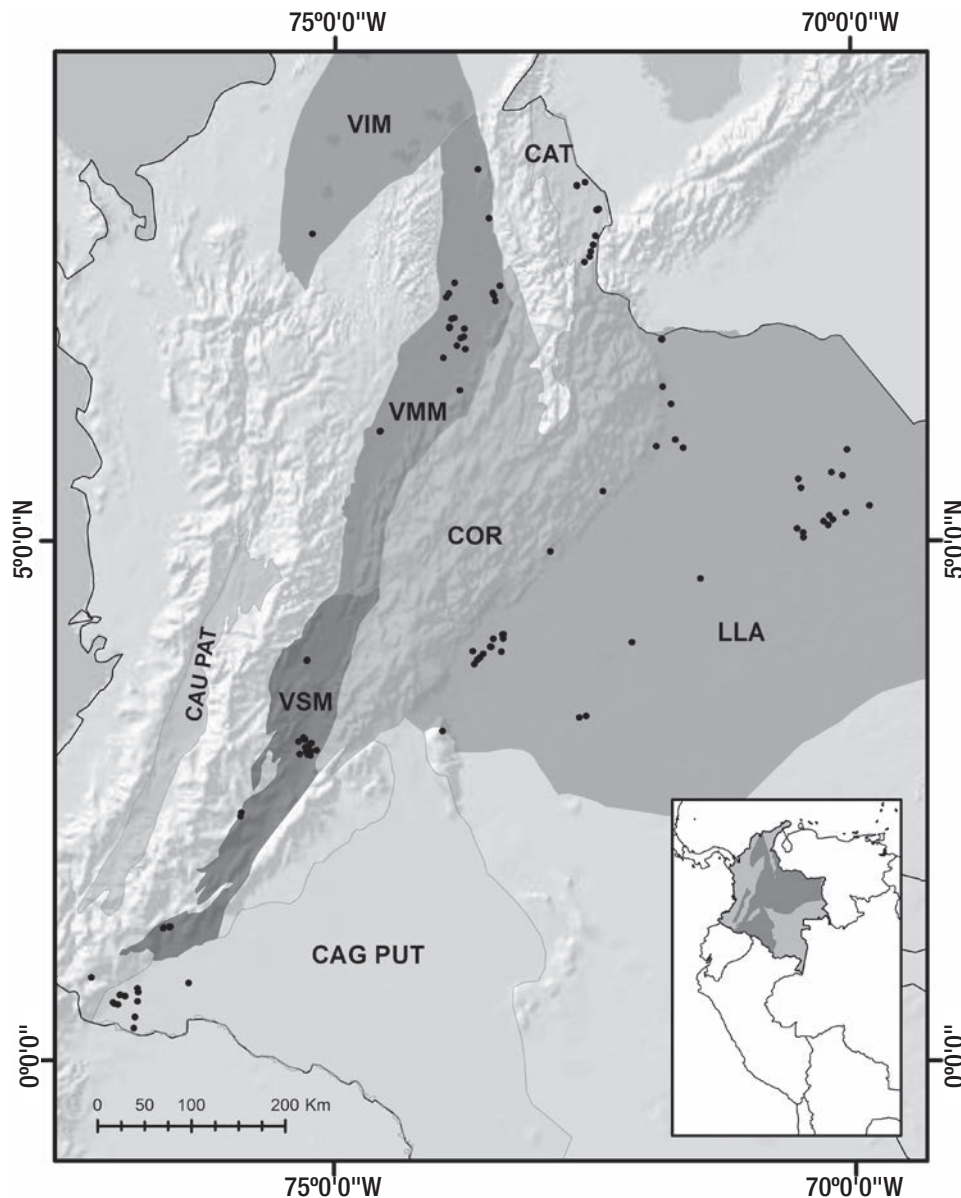


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en las cuencas de ríos estudiadas en Colombia. CAG PUT: Caguán-Putumayo. CAT: Catatumbo. CAU PAT: Cauca Patia. COR: Cordillera Oriental. LLA: Llanos Orientales. VIM: Valle Inferior del Magdalena. VMM: Valle Medio del Magdalena. VSM: Valle Superior del Magdalena.

Los preparados fijos fueron observados y fotografiados con microscopios ópticos Leica DM 2509 con contraste de fases y Leica DM 2500 con DIC. El análisis de MEB se realizó en el Servicio de Microscopía Electrónica del Museo de Ciencias Naturales de la Plata con un microscopio Jeol JSM-6360 LV SEM, así como en el Centro de Microscopías Avanzadas (CMA) de la Universidad de Buenos Aires con un microscopio Carl Zeiss NTS SUPRA 40 SEM.

Los mapas de distribución se generaron con el software libre QUANTUM GIS 2.4.0. Mediante el método I de Moran se realizó un análisis de autocorrelación espacial entre los diferentes morfotipos de *Eunotia parasiolii*. Esta técnica se basa en estadística deductiva y los resultados se interpretan dentro del contexto de una hipótesis nula. En este caso,

la hipótesis nula establece que los morfotipos están distribuidos de forma aleatoria entre los sitios del área de estudio, es decir, los procesos espaciales que promueven el patrón de valores observado constituyen una opción aleatoria. El valor de distancia umbral ingresado en el método se calculó con el mismo software, considerando la distancia entre cada entidad y el octavo vecino más cercano. El rango de variación del índice varía entre -1 y 1. En este contexto, el valor de 1 significa una autocorrelación espacial positiva perfecta (todos los valores están más agrupados de lo esperado por azar); mientras que en el otro extremo, el -1 indica una autocorrelación negativa perfecta (todos los valores están más dispersos de lo esperado por azar). La obtención del valor 0 para el I de Moran indica una distribución al azar (Tu & Xia, 2008).

Tabla 1. Ubicación de los sitios de muestreo en las cuencas de ríos de Colombia.

Unidad Hidrológica	Código	Id Cuenca
Ríos de Piedemonte Llanero	RPIELL	LLA
Río de Valles Interandinos	RVINTER	VMM
Ríos de la Amazonía colombiana-Putumayo	RAMAZ	CAG PUT
Ríos del Caribe (Magdalena bajo)	RCA_RCBM	VIM
Ríos del Caribe (Catatumbo)	RCA_CATA	CAT
Ríos de Altilanura	RALTILL	LLA
Ríos de la Cordillera oriental vertiente oriental	RCO_VOR	VSM
Ríos de la Cordillera oriental vertiente occidental	RCO_VOC	VSM
Ríos de la Cordillera central vertiente oriental Sur-Centro	RCC_VOR_SC	VSM

## RESULTADOS

**Análisis morfológico y morfométrico.** *Eunotia parasiolii* posee contorno dorsiventral, con margen ventral linear a levemente cóncavo y margen dorsal convexo; extremos en forma de nariz con los ápices curvados hacia el lado ventral de la valva (Figs. 2-10, 19-29, 34-41). La valva presenta una costilla subapical en cada extremo, muy evidente bajo el MO (Figs. 6, 7, 19, 22, 36, 38); al MEB se observa que consiste en un engrosamiento silíceo transversal interno (Figs. 10-11, 16-17, 28-31, 40, 44-45), visible externamente como un área hialina similar a una interestría muy amplia (Figs. 9, 14-15, 25-27, 32, 41-43). Las estrías son paralelas en el centro de la valva, se hacen radiales hacia los extremos y son circumapicales más allá de la costilla subapical (Figs. 14-15, 32-33, 42-43). Las estrías continúan sin interrupción en el manto dorsal (Fig. 12), las aréolas se distinguen al MO. Las ramas del rafe son cortas, ocupan aproximadamente 1/3 de la longitud de la valva y hasta ¼ en los ejemplares de mayor tamaño. Los extremos proximales externos del rafe, en forma de gancho, se localizan sobre el manto valvar (Fig. 13) e internamente terminan en un engrosamiento silíceo (Figs. 11, 30, 40) visible con MO (Figs. 7, 23, 37). Los extremos distales externos tienen forma de poro, se hallan sobre la superficie valvar y a cierta distancia del ápice (Figs. 14-15, 32, 42-43); internamente terminan en *helictoglossae* prominentes (Figs. 10-11, 16-17, 29-31, 40, 44-45), visibles con MO (Figs. 2, 4, 19, 23, 34, 37). Un *rimoportula* por valva, pequeño y de posición apical (Figs. 10-11, 14, 17, 31, 44). Frústulo rectangular en vista conectival (Fig. 12), eje pervalvar 5-6 µm, manto de 2 µm de altura. Bandas cingulares (4) abiertas con dos líneas de aréolas (32-36 / 10 µm) (Fig. 18).

**Diferenciación de morfotipos.** La comparación de la morfología de 108 ejemplares analizados permitió diferenciar tres morfotipos distinguibles principalmente por el contorno valvar y el desarrollo de las costillas subapicales; también se diferencian en la densidad de estrías en el centro de la valva. A continuación se describe cada uno de los morfotipos encontrados:

**Morfotipo 1** (Figs. 2-18). Contorno valvar variable, algunos ejemplares levemente heteropolares, con los extremos prolongados en forma de nariz. Costillas subapicales muy marcadas, que llegan al borde dorsal, densidad de estrías baja en el centro y más del doble hacia los extremos.

**Morfotipo 2** (Figs. 19-33). Contorno valvar variable, margen ventral recto. Ápices redondeados, simétricos a levemente asimétricos, frecuentemente una costilla subapical bien desarrollada y la otra poco conspicua. Densidad de estrías más baja en el centro pero menos del doble hacia los extremos.

**Morfotipo 3** (Figs. 34-45). Contorno valvar linear, con el margen ventral recto o levemente cóncavo. Ápices en forma de nariz simétricos muy marcados. Densidad de estrías más baja en el centro pero menos del doble hacia los extremos.

Desde el punto de vista morfométrico (Tabla 3) los tres morfotipos presentan rangos superpuestos o solapados. El único carácter diferente es la densidad de estrías en el centro respecto de los extremos en el morfotipo 1. Los ejemplares analizados tienen una densidad de areolas superior a la indicada en la diagnosis de la especie, sin embargo el conteo de las aréolas de la fotografía presentada en el protologo, mostró un valor de 36-38/ 10 µm.

En cuanto a la morfología, los caracteres hallados que distinguen los morfotipos al MO varían gradualmente. Sin embargo, la estructura de la superficie valvar y manto, del rafe y de los *rimoportulae* no muestra diferencias entre morfós.

**Distribución de la especie.** *Eunotia parasiolii* estuvo presente en 41 de las 170 muestras analizadas. Estos sitios están localizados en las cuencas de los ríos del Catatumbo, Putumayo, ríos de Altilanura, Piedemonte y Valles Interandinos. Los resultados del análisis con MO y MEB son presentados en la Tabla 2, y con base en esta información se elaboró un mapa con la distribución de cada uno de los morfotipos (Fig. 46).

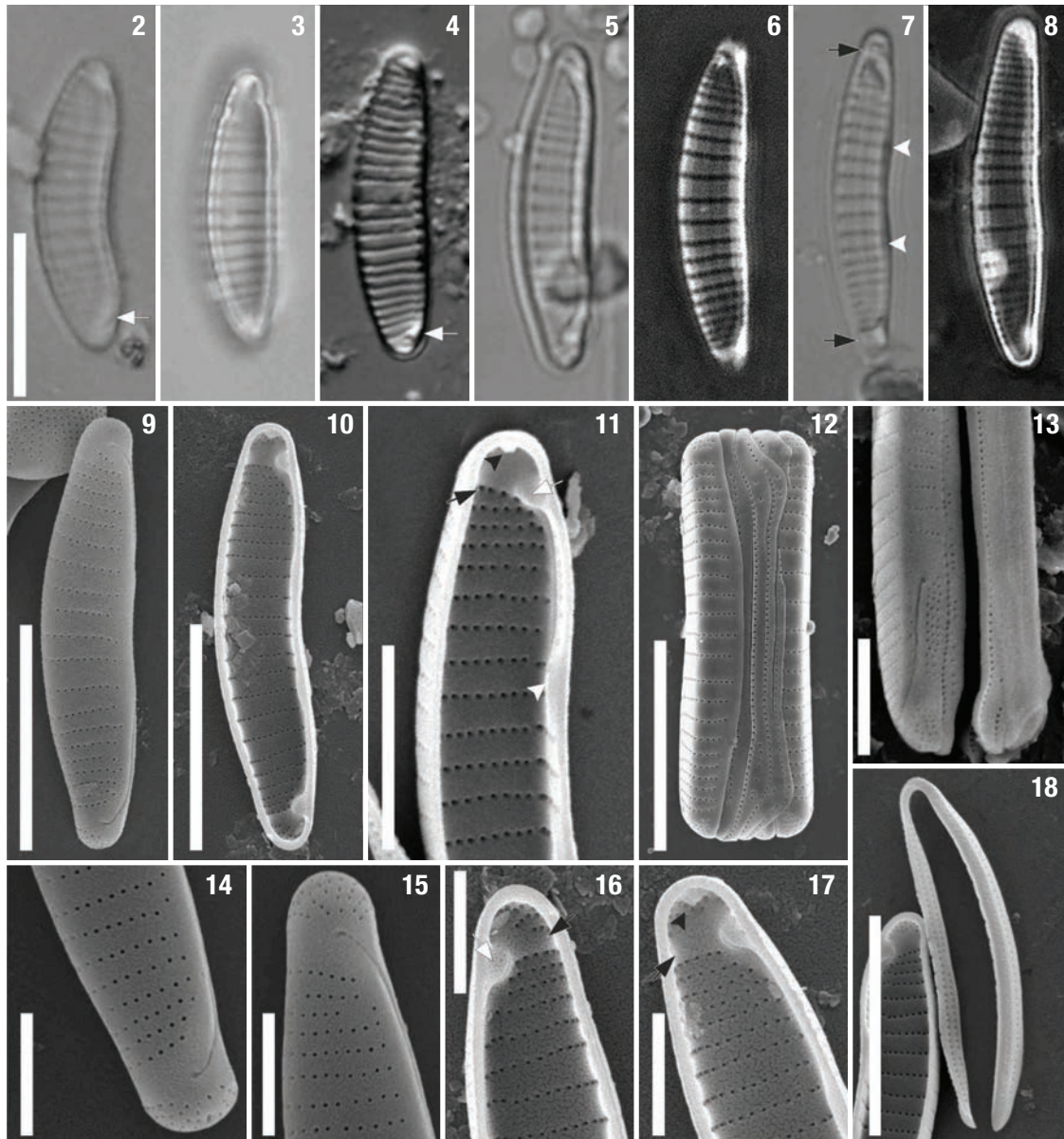
La Fig. 46 muestra que el morfotipo 1 estuvo presente en ríos de los Llanos Orientales (RPIELL), Putumayo (RAMAZ), Catatumbo (CATA) y Magdalena Medio (RVINTER). Si bien los sitios en que fue hallado el morfotipo 2 son diferentes, éstos pertenecen a las mismas cuencas. El morfotipo 3 presentó una distribución más restringida, presente sólo en ríos de la Altilanura (RALTILL).

El resultado de la aplicación del coeficiente I de Moran fue =0,091820 con valores de Z= 1,211738 y de p= 0,225613. Estos valores no son estadísticamente significativos por lo tanto la distribución de los morfotipos en el área de estudio es resultado de procesos espaciales aleatorios.

## DISCUSIÓN

Metzeltin y Lange-Bertalot (1998), al realizar la descripción original de *Eunotia parasiolii* señalan que la especie posee un contorno valvar con una marcada dorsiventralidad, con el margen ventral lineal a levemente cóncavo y el margen dorsal convexo; con los extremos en forma de nariz y baja densidad de estrías centrales. Esta descripción es incompleta, ya que los autores no hacen mención del aspecto de los frústulos en

vista conectival, ni dan detalles de la estructura fina de la valva; incluyeron en las ilustraciones 13 ejemplares fotografiados al MO pero una sola fotografía al MEB de la vista externa. Esta información no muestra el rango completo de variación de la especie y resulta insuficiente para diferenciarla de otras similares, dificultad señalada por Canani y Torgan (2013) al describir *Eunotia saltoensis* Canani et Torgan y *E. ibi-tipocaensis* Canani et Torgan, dos nuevas especies de Brasil, afines a *E. parasiolii*.



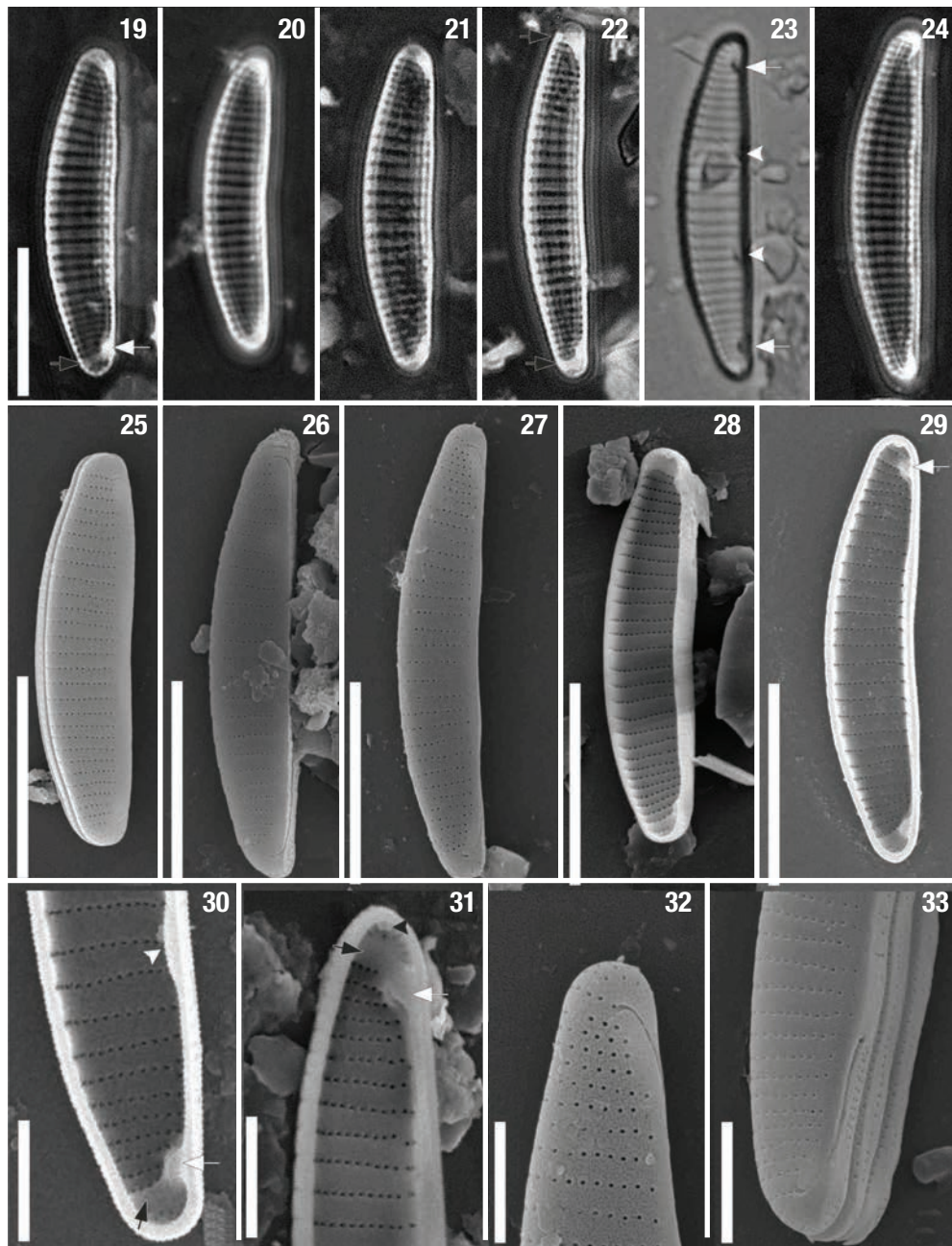
Figuras 2-18. *E. parasiolii* morfotipo 1, reconocido en ríos de Colombia. 2-8) MO. Vistas generales de las valvas mostrando el rango de variación; se indican las costillas subapicales (flechas negras), el engrosamiento en el extremo proximal del rafe (puntas de flecha blancas) y las *helictoglossae* (flechas blancas). 9-18) MEB. 9) Vista valvar externa. 10) Vista valvar interna. 11) Detalle de la valva en vista interna mostrando costilla subapical (flecha negra), *rimoportula* (punta de flecha negra), *helictoglossa* (flecha blanca) y engrosamiento en el extremo proximal del rafe (punta de flecha blanca). 12) Vista conectival dorsal. 13) Vista conectival ventral, mostrando el rafe. 14-15) Detalle del extremo en vista externa, note la terminación distal del rafe poroide. 16-17) Detalles de los extremos de la valva en vista interna, señalando costillas subapicales (flechas negras), *helictoglossa* (flecha blanca) y *rimoportula* (punta de flecha negra). 18) Banda conectival, note la doble hilera de poroides. Barra-escalas = 10 µm (Figs. 2-13), 3 µm (Figs. 14-18).



Tabla 2. Distribución de los 3 morfotipos de *Eunotia parasolii* en las cuencas de ríos en Colombia.

Muestra	Sitio	lat dec	long dec	Unidad Hidrológica	Morfotipo
200296324	Caño NN km 15	3.94704722	-73.3927139	RPIELL	3
200296328	Caño LegiaT	3.89156667	-73.5972472	RPIELL	1,2
200336654	Caño Caribe 50m aguas arriba	0.62166667	-76.9980278	RAMAZ	2,3
200407479	Caño Quenane	4.07468889	-73.3763583	RPIELL	1,3
200424905	Quebrada La Hormiga	0.4175	-76.9034167	RAMAZ	3
200429659	Quebrada El Carbón	0.57002778	-76.8794444	RAMAZ	2
200438022	Quebrada Azul	0.54005556	-77.0681667	RAMAZ	1
200439231	Caño Negro	5.51463889	-70.5134722	RALTILL	2
200440779	Río Agua Clara	5.88191667	-70.0683056	RALTILL	3
200450642	Afluente de la Quebrada Rondoyaquito	1.2820333	-76.6264889	RALTILL	2
200451221	Caño Verde	6.95097222	-71.843	RPIELL	3
200455413	Caño Los Aceites	5.90798889	-71.6415556	RPIELL	2
200461793	Caño Doradas	6.78158333	-73.9493111	RVINTER	1
200463222	Quebrada La Pita	8.59977778	-73.6135278	RVINTER	2
200473162	Caño Sisipia	4.642875	-71.4811222	RALTILL	3
200473749	Caño Negro	5.19191667	-70.2980222	RALTILL	1,3
200473752	Caño El Boral	5.15517778	-70.2540667	RALTILL	3
200473753	Caño El Boral	5.20862778	-70.2077444	RALTILL	1,2,3
200473754	Caño Gavilán	5.24531944	-70.2417083	RALTILL	1
200474194	Caño Quenanito	4.07268333	-73.4716944	RPIELL	1,2
200474745	Río Gavilán	5.27281944	-70.0837694	RALTILL	1, 2, 3
200474747	Río Meta	5.63290278	-70.1131667	RALTILL	2
200476086	Caño Zancudo	8.21311111	-72.4473333	RCA_CATA	3
200479902	Quebrada El Sábalo	0.66125	-76.8752222	RAMAZ	1,2
200479916	Río Picudo	0.74880556	-76.3910278	RAMAZ	1, 2
200482060	Río Manacacias	3.31136111	-72.6456861	RALTILL	1
200507123	Quebrada Santos Gutiérrez	7.40608333	-73.4740278	RVINTER	2
200507678	Caño Quemadero	6.9520278	-71.8445278	RPIELL	2
200507681	Caño Verde	6.9562222	-71.8386389	RPIELL	2,3
200510933	Río Ocoa	4.11338889	-73.3814444	RPIELL	2
200524376	Caño Caribe	0.62166667	-76.9980278	RAMAZ	2,3
200527482	Caño Quemadero	6.95202778	-71.8445278	RPIELL	1
200544449	Caño Quemadero	6.95202778	-71.8445278	RPIELL	2
200553721	Río Ocoa	4.1138333	-73.3763611	RPIELL	1
200569970	Caño Verde	6.9558333	-71.8411111	RPIELL	1, 2, 3
200577706	Quebrada NN	0.6360000	-77.0459444	RAMAZ	1, 2
200583195	Caño Zancudo	8.21325	-72.4474167	RCA_CATA	1,2
200640901	Quebrada Blanca-Meta. Bioindicación	3.1825	-73.958806	RPIELL	1, 2, 3
200642952	Quebrada Jarama	3.1825	-73.958806	RPIELL	1,2
200648511	Quebrada La Negra 100 m aguas arriba. Bioindicación	5.489583	-72.415722	RPIELL	1, 2
200648538	Quebrada Torcoroma Bioindicación Aguachica	8.127111	-73.508528	RCBM	2



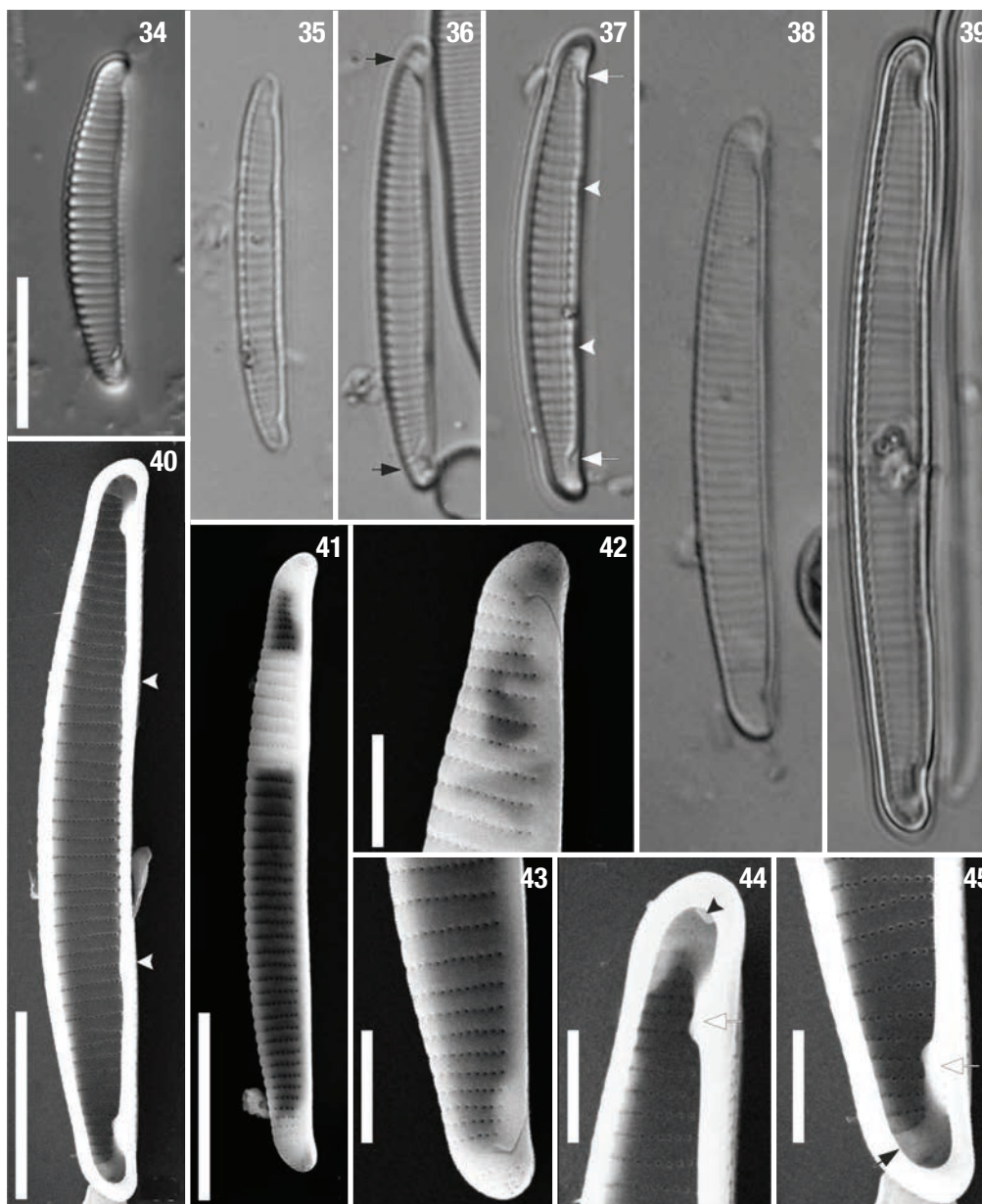


Figuras 19-33. *E. parasiolii* morfotipo 2, reconocido en ríos de Colombia. 19-24) MO. Vistas generales de las valvas mostrando el rango de variación; se indican las costillas subapicales (flechas negras), el engrosamiento en el extremo proximal del rafe (puntas de flecha blancas) y las *helictoglossae* (flechas blancas). 25-33) MEB; 25-27) Vistas valvares externas; 28-29) Vistas valvares internas. 30-31) Detalles de los extremos en vista interna, señalando costillas subapicales (flechas negras), el engrosamiento en el extremo proximal del rafe (punta de flecha blanca), *helictoglossae* (flechas blancas) y *rimoportula* (punta de flecha negra). 32) Detalle de un extremo en vista externa, notar la terminación distal del rafe poroide. 33) Detalle del extremo del frústulo en vista oblicua mostrando el rafe en toda su extensión. Barra-escalas = 10 µm (Figs. 19-29), 3 µm (Figs. 30-33). La barra de medida indicada en la Fig. 19 corresponde también a la de las Figs. 20-24.

Tabla 3. Datos morfométricos de los tres morfotipos de *E. parasiolii* reconocidos en Colombia y de la especie en la descripción original.

Morfotipo	Largo (µm)	Ancho (µm)	Estrías/10 µm (centro)	Estrías/10 µm (extremos)	Areolas/10 µm
1	13-23	3-6	6-10	18-24	33-38
2	18-38	3-6	10-13	18-24	34-42
3	21,5-38	3,5-5	9-12	20-22	33-38
<i>E. parasiolii</i> Metzeltin et Lange-Bertalot	10-37	3.5	5-11	20-25	30 (36-38)*

\* Valor medido en la fotografía del tipo (Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998, Lám. 60, fig. 17).



Figuras 34-45. *E. parasiolii* morfotipo 3, reconocido en ríos de Colombia. 34-39) MO. Vistas generales de las valvas mostrando el rango de variación; se indican las costillas subapicales (flechas negras), el engrosamiento en el extremo proximal del rafe (puntas de flecha blancas) y las *helictoglossae* (flechas blancas). 40-45) MEB. 40) Vista valvar interna, las puntas de flecha blancas marcan el engrosamiento silíceo en el extremo proximal del rafe. 41) Vista valvar externa. 42-43) Detalles de los extremos en vista externa, note la terminación distal del rafe poroide. 44-45) Detalles de los extremos en vista interna, señalando costillas subapicales (flechas negras), *helictoglossae* (flechas blancas) y *rimoportula* (punta de flecha negra). Barra-escalas = 10 µm (Figs. 34-40), 3 µm (Figs. 41-45). La barra de medida, marcada en la Fig. 34 corresponde también a la de las Figs. 35-39.

Los resultados obtenidos a partir del análisis con microscopía óptica y electrónica de más de 100 ejemplares provenientes de diferentes regiones de Colombia, permitieron conocer nuevos detalles de la ultraestructura del frústulo, incluyendo características de la vista conectival y de las valvas en vista interna. Los tres morfotipos hallados comparten caracteres considerados diagnósticos, así como el tipo de estrías y aréolas, mientras que las variaciones entre los mismos son

graduales, por ejemplo el desarrollo de la costilla subapical, la densidad de estrías y el contorno valvar.

El análisis comparativo de la distribución de estos tres morfotipos, a partir de la aplicación del Coeficiente I de Moran (1950), demostró que en tierras bajas colombianas éstos presentan una distribución amplia, sin un patrón definido, es decir, al azar. Si bien, en muchas circunstan-

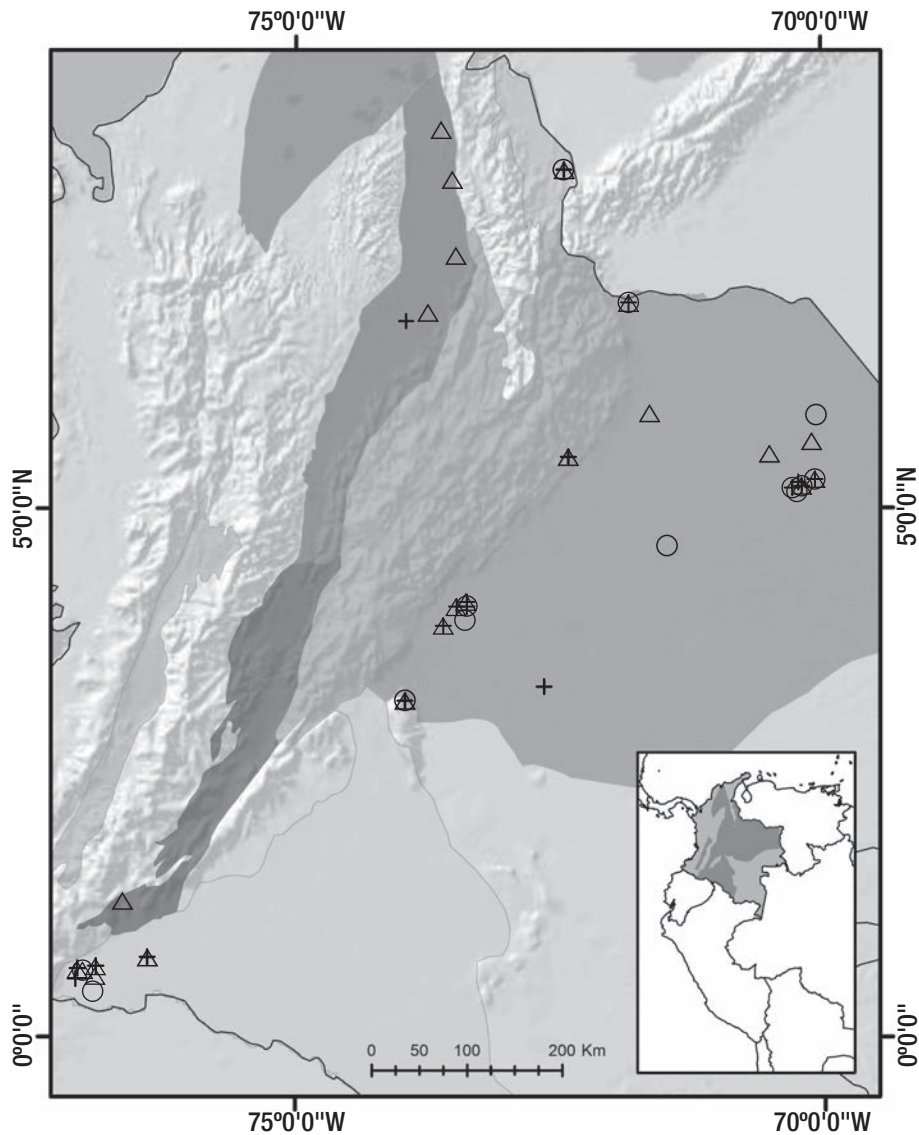


Figura 46. Mapa de distribución de los morfotipos 1, 2 y 3 de *E. parasiolii* en cuencas de ríos de Colombia. + = morfotipo 1;  $\Delta$  = morfotipo 2;  $\circ$  = morfotipo 3.

cias, las técnicas de SIG son útiles para identificar visualmente patrones espaciales, es necesario comprobar estadísticamente la presencia de dichos patrones (Zhang *et al.*, 2008). En esta instancia, se aplicó el coeficiente I de Moran, que es un indicador de autocorrelación espacial (definida de manera simple como la concentración o dispersión de los valores de una variable en un mapa) y un identificador de patrones espaciales locales o “outliers” espaciales (Anselin, 1995). Este resultado es concordante con lo observado en el análisis de la morfología fina del frústulo. Los morfotipos no representan unidades discretas, por el contrario este estudio mostró que *E. parasiolii* es un taxón con gran variabilidad morfológica y amplia distribución geográfica.

Establecer los límites específicos de las diatomeas basándose exclusivamente en la morfología es insuficiente, aún en las regiones donde hay un extenso conocimiento del grupo (Trobajo *et al.*, 2004, 2009;

Kelly *et al.*, 2015, entre otros). En las regiones tropicales el problema se agudiza porque se suma la escasa información local. Los resultados de esta investigación evidencian las dificultades a la hora de utilizar a las diatomeas como bioindicadores en el neotrópico y ponen de manifiesto la necesidad de realizar estudios taxonómicos y florísticos a nivel local y regional que permitan definir los límites específicos considerando la variabilidad morfológica de los taxones y su distribución antes de establecer las preferencias ecológicas de las especies.

Con base en la nueva información morfológica de *E. parasiolii* y a su distribución en las tierras bajas colombianas, se realiza la siguiente enmienda de la especie:

*Eunotia parasiolii* Metzeltin *et* Lange-Bertalot emend. Vouilloud, Sala *et* Plata-Díaz:



Diagnosis. Frústulo rectangular en vista conectival, eje pervalvar 5-6  $\mu\text{m}$ . Valva asimétrica respecto del eje apical; margen ventral linear a levemente cóncavo y dorsal convexo; 10-38  $\mu\text{m}$  de largo, 3-6  $\mu\text{m}$  de ancho, extremos en forma de nariz con los ápices ventralmente curvados. Valva con costillas subapicales en ambos extremos, distinguible al MO; es-trías paralelas en el centro de la valva (6-13/10  $\mu\text{m}$ ), radiales hacia los extremos (18-25/10  $\mu\text{m}$ ); aréolas distinguibles al MO, 33-42/10  $\mu\text{m}$ . Ramas del rafe cortas, 1/3 a 1/4 de la longitud de la valva, extremos proximales terminan internamente en un engrosamiento silíceo visible en MO, extremos distales externos con forma de poro, sobre la superficie valvar y a cierta distancia del ápice; internamente terminados en *helictoglossae* prominentes. Un *rimoportula* por valva, pequeño y de posición apical. Bandas cingulares abiertas con 2 líneas de areolas (32-36/ 10  $\mu\text{m}$ ).

## REFERENCIAS

- ANÓNIMO. 2010. Instituto de Investigación Alexander Von Humboldt. En español: disponible en línea en: <http://www.humboldt.org.co/chm-colombia/biodiversidad.htm> (consultado el 15 septiembre 2009).
- ANSELIN, L. 1995. Local indicators of spatial association - LISA. *Geographical Analysis* 27 (1): 93-115. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.
- APHA, AWWA & WEF. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21<sup>st</sup> ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- CANANI L. G. C. & L. C. TORGAN. 2013. Two new *Eunotia* species with subapical costae, an uncommon structure for the genus. *Diatom Research* 28 (4): 395-406. DOI: 10.1080/0269249X.2013.821425
- CEN/TC 230. 2002. Water quality-Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. European Standard. Standard reference 13946.
- COX, C. V. & P. D. MOORE. 1993. *Biogeography: an ecological and evolutionary approach*. 5<sup>th</sup>. Ed. Blackwell, Oxford. 244 p.
- CRISCI, J. V., L. KATINAS & P. POSADAS. 2000. *Introducción a la teoría y práctica de a biogeografía histórica*. Sociedad Argentina de Botánica. Buenos Aires. 169 p.
- KELLY, M., R. TROBAJO, L. ROVIRA & D. G. MANN. 2015. Characterizing the niches of two very similar *Nitzschia* species and implications for ecological assessment. *Diatom Research* 30 (1): 27-33. DOI: 10.1080/0269249X.2014.951398
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1991. *Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. In H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, & D. Mollenhauer (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/3 (p. 576). Stuttgart, Germany, 576 p.
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 1998. *Tropische Diatomeen in Südamerika I*. In H. Lange-Bertalot (ed.). *Iconographia Diatomologica*. Vol. 5. Königstein: Koeltz Scientific Books. 695 p.
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 2007. *Tropical diatoms of South America II*. In: Lange-Bertalot H (ed.). *Iconographia Diatomologica*. Vol. 18. Königstein: A.R.G. Gantner Verlag K.G. 877 p.
- METZELTIN, D., H. LANGE-BERTALOT & F. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2005. *Diatoms of Uruguay*. In: H. Lange-Bertalot (Ed.). *Iconographia Diatomologica*. Vol. 15. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K.G. 736 p.
- MONTÓYA-MORENO, Y., S. E. SALA, A. A. VOUILLOUD & N. AGUIRRE. 2013. Diatomeas (Bacillariophyta) perifíticas del complejo cenagoso de Ayapel, Colombia. I. *Caldasia* 34 (2): 457-474. DOI: 10.15472/rddjgp.
- MORAN, P. A. P. 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37 (1/2): 17-23.
- RICKLEFS, R. E. 1987. Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science* 235: 167-171.
- TROBAJO, R., E. CLAVERO, V.A. CHEPURNOV, K. SABBE, D. G. MANN & S. ISHIHARA. 2009. Morphological, genetic and mating diversity within the widespread bioindicator *Nitzschia palea* (Bacillariophyceae). *Phycologia* 48 (6): 443-459. DOI: 10.2216/08-69.1
- TROBAJO, R., E. J. COX & X. D. QUINTANA. 2004. The effects of some environmental variables on the morphology of *Nitzschia frustulum* (Bacillariophyta), in relation its use as a bioindicator. *Nova Hedwigia* 79 (3-4): 433-445. DOI: 10.2216/08-69.1
- VANORMELINGEN, P., E. VERLEYEN & W. VYVERMAN. 2007. The diversity and distribution of diatoms: from cosmopolitanism to narrow endemism. *Biodiversity and Conservation* 17 (2): 393-405. DOI: 10.1007/s10531-007-9257-4
- TU, J. & Z. G. XIA. 2008. Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression I: Model design and evaluation. *Science of the Total Environment* 407: 358-378. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.09.031
- WETZEL, C. E. 2011. Biodiversidade e distribuição de diatomáceas (Bacillariophyceae) na bacia hidrográfica do Rio negro, Amazonas, Brasil. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología), Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, San Pablo, Brasil. 1911 p.
- ZHANG, C. S., LUO, L., XU, W. & V. LEDWITH. 2008. Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. *Science of the Total Environment* 398: 212-221. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.03.011

**Recibido:** 11 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 07 de marzo de 2016.



## Cálculo del contenido celular de carbono de cuatro taxones de diatomeas: biovolumen y espectrofotometría

### Calculation of the cell carbon content of four taxa of diatom: biovolume and spectrophotometry

Carlos Francisco Rodríguez-Gómez y José Antolín Aké-Castillo

Laboratorio de Ecología Experimental, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Hidalgo 617 Col. Río Jamapa, Boca del Río, Veracruz, 94290. México  
e-mail: aake@uv.mx

Rodríguez-Gómez C. F. y J. A. Aké-Castillo. 2016. Cálculo del contenido celular de carbono de cuatro taxones de diatomeas: biovolumen y espectrofotometría. *Hidrobiológica* 26 (2): 251-257.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** La biomasa fitoplanctónica es un parámetro esencial en ecosistemas acuáticos; dos de los indicadores indirectos más utilizados para su estimación son la clorofila-*a* (Cl-*a*) mediante espectrofotometría y el biovolumen (BV). **Objetivos.** Mostrar que tan distantes son las aproximaciones para calcular la biomasa fitoplanctónica utilizando los métodos de BV y espectrofotometría. **Métodos.** Se utilizaron cuatro taxones de diatomeas marinas en cultivo a los cuáles se les estimó la biomasa mediante Cl-*a* y BV, en el caso del BV se realizaron las estimaciones en células vivas y fijadas con Lugol ácido. **Resultados.** Los valores de biomasa obtenidos para *Thalassiosira hispida* y *Skeletonema costatum* son marcadamente diferentes, ya que el BV de células vivas subestima  $\approx 41\%$  su biomasa con respecto al cálculo por espectrofotometría en ambas especies. En *Pseudo-nitzschia* sp. y *Cylindrotheca closterium* el BV sobreestima el 4% y 25% respectivamente la biomasa. El Lugol ácido modificó el tamaño de las células de manera significativa en *C. closterium* y *Pseudo-nitzschia* sp. ( $p < 0.05$ ), no siendo así con *S. costatum* y *T. hispida* ( $p > 0.05$ ). Se presentan dos ecuaciones para cuantificar la biomasa a partir de mediciones morfométricas de las células vivas ( $\text{pgC/cel} = -1.5567 + 0.1428$  (BV)) y fijadas con Lugol ácido ( $\text{pgC/cel} = -5.0126 + 0.1644$  (BV)). **Conclusiones.** Aunque el BV es útil, puede presentar inconvenientes ya que produce valores por arriba y por debajo de los estimados mediante espectrofotometría, además de que el Lugol ácido modifica el tamaño celular. Se recomienda considerar la información disponible basada en la Cl-*a* o carbono de diferentes especies.

**Palabras clave:** Biomasa, carbono, clorofila *a*, diatomea, volumen celular.

#### ABSTRACT

**Background.** Phytoplankton biomass is an essential parameter in aquatic ecosystems; two of the most widely used indicators for estimating phytoplankton biomass are chlorophyll-*a* (Chl-*a*) by spectrophotometry and biovolume (BV). **Goals.** To show how different results are when estimating phytoplankton biomass by means of the spectrophotometric and BV methods. **Methods.** Biomass by Chl-*a* and BV were estimated in four cultures of marine diatoms. For estimating BV, we used live cells and acid Lugol's solution fixed cells. **Results.** Biomass values were noticeably different: the BV for *Thalassiosira hispida* and *Skeletonema costatum* underestimates  $\approx 41\%$  of the biomass with respect to values obtained by spectrophotometry. In contrast, the BV for *Pseudo-nitzschia* sp. and *Cylindrotheca closterium* overestimates the biomass by 4% and 25%, respectively. In the case of estimated biovolume, the results indicate that fixer acid Lugol's solution modified the size of the cell significantly in *C. closterium* and *Pseudo-nitzschia* sp. ( $p < 0.05$ ), but not for *S. costatum* and *T. hispida* ( $p > 0.05$ ). Two equations are provided for biomass calculation when studying live ( $\text{pgC/cell} = -1.5567 + 0.1428$  (BV)) or acid Lugol's solution fixed ( $\text{pgC/cell} = -5.0126 + 0.1644$  (BV)) diatom cells. **Conclusions.** Although BV is useful, it can have drawbacks because it produces values above and below those estimated by spectrophotometry, in addition to the fact that acid Lugol's solution modifies cell size. We would advise considering the available information based in Chl-*a* or carbon of different species.

**Key words:** Biomass, carbon, cell volume, chlorophyll *a*, diatom.

## INTRODUCCIÓN

La biomasa fitoplanctónica es un parámetro esencial en los ecosistemas acuáticos, ya que constituye la base de las redes tróficas al ser el producto final del proceso de la fotosíntesis que transforma el dióxido de carbono en carbono orgánico (Álvarez-Borrego, 2007). Es por ello que su estimación ha sido calculada con diferentes indicadores y métodos, cada uno con diferentes niveles de precisión.

Uno de los indicadores indirectos más utilizados para estimar la biomasa fitoplanctónica es la determinación de la clorofila-*a* (Cl-*a*), debido a que está presente en todos los grupos algales y es el único parámetro biológico que puede ser evaluado mediante percepción remota en ambientes oceánicos pelágicos (Platt *et al.*, 2008). Sin embargo, en los litorales costeros, los cuales son considerados como uno de los ecosistemas marinos más productivos a nivel global (Muller-Karger *et al.*, 2005), dichas evaluaciones se deben hacer aún *in situ* debido a que los satélites no pueden calcular la biomasa fitoplanctónica en aguas someras. En cuanto a los métodos más utilizados para evaluar la biomasa de la comunidad fitoplanctónica destaca el método tricromático (Aminot & Rey, 2000) por encima de otras técnicas como el HPLC (cromatografía líquida de alta resolución), debido principalmente a los altos costos de operación que conlleva su uso (Steinman *et al.*, 2007).

Otro método utilizado para calcular la biomasa fitoplanctónica a nivel específico o por grupos algales es el biovolumen (BV), en donde la información morfológica de las células se convierte a unidades de volumen geométrico y posteriormente a unidades de carbono (Menden-Deuer & Lessard, 2000; López-Fuerte *et al.*, 2007). Por lo general, las muestras destinadas a la evaluación de BV son preservadas con diferentes soluciones, siendo el Lugol ácido (Thronsen, 1978) el más utilizado para muestras de fitoplancton, no obstante que se ha comprobado que este fijador modifica las dimensiones celulares (Menden-Deuer *et al.*, 2001).

Con el objetivo de mostrar el margen de diferencia que existe respecto al cálculo de la biomasa fitoplanctónica con los métodos de biovolumen y espectrofotometría, se realizaron cálculos sobre cuatro taxones de diatomeas en cultivo. Adicionalmente, bajo la hipótesis de que la medición de células vivas para la obtención del BV disminuye el error en las estimaciones de la biomasa, se realizaron comparaciones entre el BV obtenido en células vivas y fijadas con Lugol ácido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Diseño experimental.** Se usaron cuatro cultivos de diatomeas y el diseño experimental constó de dos partes: 1) El cálculo de biomasa por medición de la concentración de clorofila-*a*. En cuatro cultivos de diatomeas se calculó la biomasa de una alícuota y se realizaron conteos celulares para estimar el contenido de carbono por célula. 2) El cálculo de biomasa a partir de la medición de biovolumen. Se establecieron dos tratamientos: uno en células vivas y otro en células fijadas con Lugol ácido para cada cultivo. En cada tratamiento se midieron 40-45 células.

**Aislamiento y cultivos celulares.** Se aislaron cuatro taxones de diatomeas marinas: *Thalassiosira hispida* Syvertsen, *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann *et J. C. Lewin* (= *Ceratoneis closterium* Ehrenberg) y *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo sp.; todas provenientes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) para su posterior cultivo. El aislamiento se realizó

con micropipetas adelgazadas y cámaras de pozos empleando varias células iniciales como inóculo (Andersen & Kawachi, 2005). Se utilizó el medio de cultivo #2 (Guillard & Ryther, 1962) con adición de 1 mL/L de una solución stock de metasilicato de sodio (4 g/100 mL). Previo a la adición de nutrientes, el agua de mar fue filtrada con membranas Millipore tipo HA de 0.45 µm de apertura de poro y se le añadió una solución de HCl al 10% hasta que el medio de cultivo tuviera un pH de 7.5. Con una autoclave se esterilizó a 15 lb/pulgada<sup>2</sup> de presión durante 10 min y después de que el medio se encontró a temperatura ambiente, se le incluyó 1 mL/L de una solución stock de vitaminas (B1, 100 mg/L; B6, 100 mg/L y B12, 10.447 mg/L).

Las condiciones de los cultivos no axénicos fueron las siguientes: fotoperiodo luz: oscuridad de 14:10 h, aireación constante (en *Pseudo-nitzschia* sp. se sustituyó por una agitación manual diaria), 25°C, e irradiancia de 9.9 µmol/m<sup>2</sup>/s. Los cultivos se colocaron dentro de una cámara ambiental Scorpion scientific y fueron resembrados cada diez días para mantener el crecimiento exponencial en matraces de 125 mL con 75 mL de medio de cultivo y 1 mL de inóculo.

**Cálculo de la biomasa mediante espectrofotometría.** Para la extracción y determinación de Cl-*a* se obtuvieron dos alícuotas de 50 mL de cada uno de los cultivos, previa homogeneización de la muestra según Contreras-Espinosa (1994) y Aminot y Rey (2000). Las alícuotas fueron filtradas con membranas Millipore de 0.45 µm de apertura de poro, las cuales se introdujeron en un tubo de ensayo con 10 mL de acetona al 90% y posteriormente fueron homogeneizadas con un Vortex Mixer tipo 16700 para desintegrar la membrana. Estas muestras se guardaron en refrigeración a 4°C durante 24 h y después fueron incluidas en una centrífuga SOLBAT durante 15 min a 4000 rpm. El sobrenadante se colocó en una celda de cuarzo para ser analizada en un espectrofotómetro Genesys 10 UV. Las lecturas fueron realizadas a 750 nm de longitud de onda para correcciones por errores de turbidez y a 664, 647 y 630 nm que son las máximas absorbancias de las clorofilas a, b y c, respectivamente. Adicionalmente se realizó la lectura a 430 nm para cuantificar los carotenoides y poder calcular el índice de pigmentos de Margalef (430 nm / 664 nm).

Para obtener el valor de Cl-*a*, se utilizó la fórmula descrita por Aminot y Rey (2000), basada en el trabajo de Jeffrey y Humphrey (1975) como parte del método tricromático. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Clorofila } - a = \frac{(11.85 * (E_{664} - E_{750}) - 1.54 * (E_{647} - E_{750}) - 0.08 * (E_{630} * E_{750})) * V_e}{L * V_f}$$

Donde E es la absorbancia a la longitud de onda indicada (750, 664, 647 y 630 nm),  $V_e$  es el volumen de extracción, expresado en mL; L es el grosor de la celda de cuarzo en centímetros y  $V_f$  es el volumen filtrado expresado en litros. El valor resultante de Cl-*a* se expresó en mg/m<sup>3</sup>.

La transformación de Cl-*a* a carbono se realizó mediante la ecuación:

C:Cl - a = 43.4 - 1.14T + 1.85e<sup>A(-0.126T)</sup> (Thompson, 2006) generalizada para todos los grupos de fitoplancton, donde C es carbono, Cl-*a* es clorofila-*a*, T es temperatura en grados centígrados, I es la irradiancia en fotones µmol/m<sup>2</sup>/s y e es la base del logaritmo natural, igual a 2.718. La irradiancia dentro de la cámara ambiental fue medida con un sensor LI-COR, que fue igual a 9.923 µmol/m<sup>2</sup>/s a una temperatura de 25°C, de modo tal que la razón C:Cl-*a* fue igual a 15.686.

Para los conteos celulares, se obtuvo una muestra de 50 mL de cada uno de los cultivos y se fijó con Lugol ácido (Thronsdén, 1978), posteriormente se contaron las células siguiendo el método descrito por la A.P.H.A. (1998), usando una cámara Sedgwick-Rafter con 1 mL de muestra. Las observaciones se hicieron con un microscopio invertido Carl-Zeiss-AXIO utilizando el objetivo de 40X. Con base en estos conteos y el valor obtenido del cálculo de biomasa, se estimó el valor correspondiente de biomasa por cada célula.

**Cálculo de la biomasa mediante biovolumen.** Para estimar la biomasa mediante biovolumen, se tomaron dos muestras de 50 mL de cada cultivo, previa homogenización por agitación. Estas muestras se tomaron del mismo recipiente y al mismo tiempo que las muestras destinadas al cálculo de Cl-a mediante espectrofotometría.

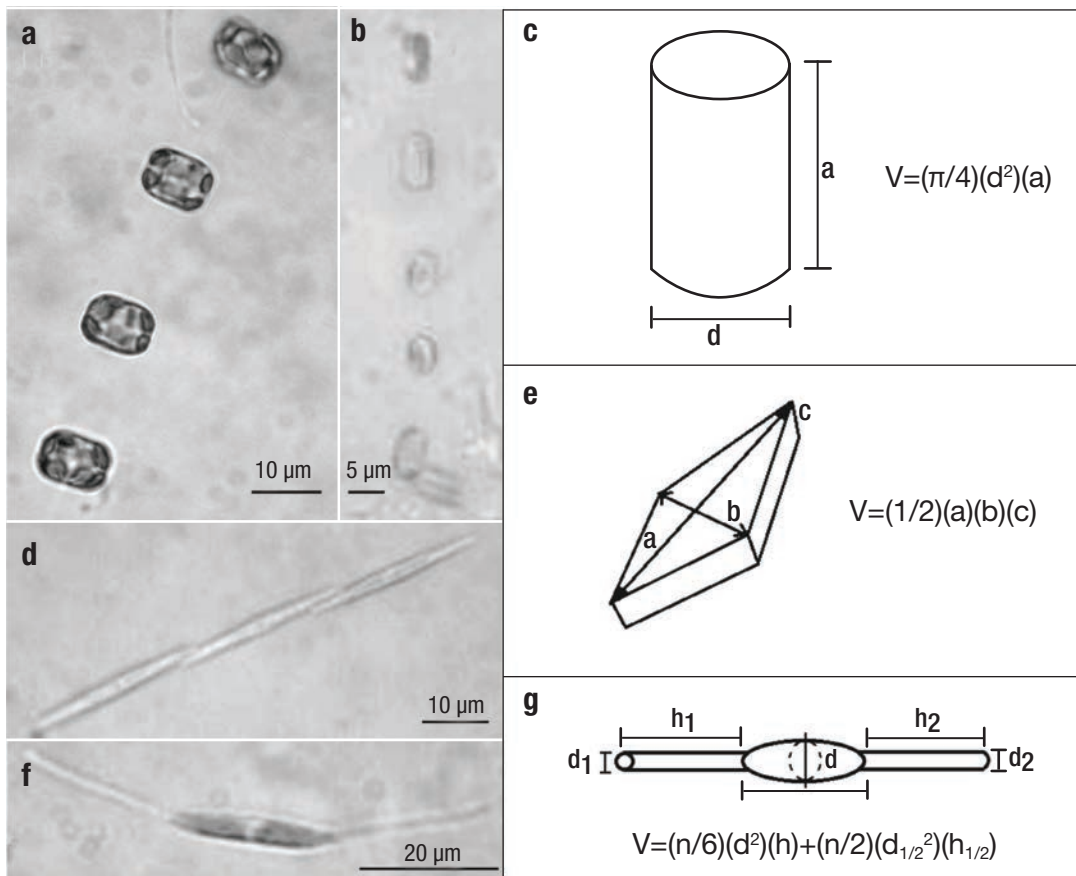
La primera muestra se analizó *in vivo*, mientras que a la segunda muestra se le agregó una solución fijadora de Lugol ácido. Las mediciones de las células se hicieron con un microscopio óptico Motic BA-300 con contraste de fases, con una reglilla graduada en uno de los oculares y una cámara fotográfica digital Leica D-Lux 3 para capturar las imágenes de las células analizadas.

Para calcular el biovolumen de las células vivas, se midieron al menos 40 células, independientemente de que 25 células se consideraran una muestra representativa (Smayda, 1978). Según la morfología de

cada taxón se utilizaron ecuaciones para cuerpos geométricos conocidos (Fig. 1); en el caso de *Thalassiosira hispida* y *Skeletonema costatum*, la fórmula utilizada fue la de un cilindro, mientras que a *Pseudo-nitzschia* sp. le correspondió la de un prisma sobre un paralelogramo (Hillebrand *et al.*, 1999). En el caso de *Cylindrotheca closterium* se ocupó la forma geométrica combinada de un esferoide y dos cilindros (Vadrucci *et al.*, 2007).

La transformación de los valores de biovolumen a carbono por célula (pgC/cel) se realizó con la fórmula  $\text{pgC/cel.} = 0.288 [\text{BV} (\mu\text{m}^3)]^{0.811}$  propuesta por Menden-Deuer y Lessard (2000), donde el BV utilizado fue el promedio de todas las mediciones para cada uno de los tratamientos, es decir, las células vivas o fijadas. La ecuación de Menden-Deuer y Lessard (2000) fue elegida de entre otras fórmulas disponibles debido a que es el producto de la compilación de la literatura de biovolumen en diatomeas. Para obtener el biovolumen de las muestras fijadas se utilizaron las mismas figuras y ecuaciones que las muestras analizadas *in vivo*.

**Análisis de datos.** La comparación entre los valores de biomasa obtenidos por espectrofotometría y biovolumen se hizo en términos de porcentajes, tomando como base el valor obtenido en unidades de carbono y el promedio obtenido mediante BV. Para buscar diferencias significativas entre los tratamientos de los cálculos de BV se realizaron pruebas de *t*. La homogeneidad de varianzas en los datos de BV se probó mediante la prueba de Levene (Zar, 2010) y se estimó el coeficiente de variación (C.V.)



Figuras 1a-g. Organismos cultivados y formas geométricas asociadas. a) *Thalassiosira hispida*. b) *Skeletonema costatum*. c) Cilindro. d) *Pseudo-nitzschia* sp. e) Prisma sobre paralelogramo. f) *Cylindrotheca closterium*. g) Esferoide más dos cilindros.

para cada una de los tratamientos en cada cultivo. Con el fin de obtener una serie de ecuaciones para estimar la biomasa a partir de mediciones de biovolumen, se realizó una correlación y regresión lineal simple entre el promedio de BV de cada uno de los tratamientos (células vivas y fijadas) y el valor de pgC/cel obtenido por espectrofotometría, utilizando el contenido de carbono como variable independiente. La significancia de las regresiones se comprobó utilizando el estadístico F; dichas ecuaciones presentan la corrección para las especies de la zona de estudio. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software Statistica 7.1 (StatSoft, 2005).

## RESULTADOS

La figura 2 muestra que, tanto *Thalassiosira hispida* como *Skeletonema costatum* presentan valores marcadamente diferentes entre la biomasa obtenida por los métodos espectrofotométrico y de BV; sin embargo, en *Pseudo-nitzschia* sp. y *Cylindrotheca closterium* sucede lo contrario, ya que aquí los valores entre métodos resultan con poca diferencia. Con *T. hispida* y *S. costatum* el BV de células vivas arroja valores menores con respecto al valor de la biomasa estimada mediante espectrofotometría (subestiman ≈41% en ambos casos), mientras que en *C. closterium* y *Pseudo-nitzschia* sp. este comportamiento es a la inversa, ya que en este caso, el BV estima la biomasa con valores apenas mayores que con la espectrofotometría (sobrestiman 4% y 25%, respectivamente).

De acuerdo al contenido celular de Cl-*a* en los distintos taxones se encontró que la estimación celular de carbono osciló entre 10.096 y 109.5 pgC/cel (Tabla 1). La especie con mayor biomasa calculada fue *Thalassiosira hispida*, seguida de *Skeletonema costatum*, *Cylindrotheca closterium* y *Pseudo-nitzschia* sp. Con respecto al índice de pigmentos (430/664), los valores estimados oscilaron entre 2.065 y 2.79 (Tabla 1).

Los valores de BV variaron entre 24.24  $\mu\text{m}^3$  y 1551.11  $\mu\text{m}^3$  para todos los organismos analizados. Los promedios de BV por taxón, se ubicaron entre 83.73 y 775.81  $\mu\text{m}^3$  para *S. costatum* y *Thalassiosira hispida*, respectivamente. En *T. hispida* y *C. closterium* las células vivas resultaron ser más grandes que las fijadas con Lugol ácido, no así con *Pseudo-nitzschia* sp. y *S. costatum*, en donde el promedio de BV fue mayor en las células fijadas. Los coeficientes de variación (C.V.) del BV entre los cultivos fueron considerables, desde 16.8 hasta 46.96, sin embargo, dentro de cada taxón en las células vivas y fijadas, la dife-

Tabla 1. Biomasa calculada mediante el método espectrofotométrico. Clorofila-*a*, carbono e índice de pigmentos (430/664) de los taxones cultivados.

	pgCl- <i>a</i> /cel	pgC/cel	Índice (430/664)
<i>Thalassiosira hispida</i>	6.9784 ( $\pm 0.024$ )	109.46 ( $\pm 0.04$ )	2.66 ( $\pm 0.015$ )
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.6968 ( $\pm 0.05$ )	10.9307 ( $\pm 0.80$ )	2.79 ( $\pm 0.01$ )
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0.9445 ( $\pm 0.08$ )	14.8157 ( $\pm 1.25$ )	2.675 ( $\pm 0.45$ )
<i>Skeletonema costatum</i>	1.13815 ( $\pm 0.05$ )	17.8523 ( $\pm 0.80$ )	2.065 ( $\pm 0.025$ )

rencia no fue evidente, con un máximo entre los tratamientos de 5.37. El taxón con menor C.V. fue *C. closterium*, seguida de *Pseudo-nitzschia* sp., *T. hispida* y *S. costatum* (Tabla 2).

La prueba de *t* entre el BV de las células fijadas y vivas no mostró diferencia significativa en *T. hispida* ( $t = 1.298$ ,  $p > 0.05$ , g.l. = 88) y *S. costatum* ( $t = -0.113$ ,  $p > 0.05$ , g.l. = 78). A pesar de esto, en *T. hispida* se observó que de acuerdo con los promedios de BV, el uso de Lugol ácido en las células vivas disminuye un 11% su volumen celular. Con *S. costatum* ocurrió lo contrario, ya que la fijación provocó un aumento de 2.56%. En *C. closterium* ( $t = 7.288$ ,  $p < 0.05$ , g.l. = 88) y *Pseudo-nitzschia* sp. ( $t = -9.721$ ,  $p < 0.05$ , g.l. = 79) la diferencia encontrada entre las células vivas y fijadas sí fue significativa; en el primer caso, la fijación celular disminuye su BV un 25.49%, y en el segundo caso el BV aumenta 60.79%. Las transformaciones de BV a carbono, al depender de la misma fórmula, presentan la misma proporción de cambio que los cálculos de BV.

Al realizar una correlación simple entre el promedio de BV de células vivas y el valor de pgC/cel obtenido por Cl-*a*, se obtuvo un coeficiente de correlación de  $R = 0.9913$  ( $p < 0.05$ ) y con las células fijadas, un valor de  $R = 0.9884$  ( $p < 0.05$ ). En ambos casos, se observa una buena correlación entre estas dos variables.

Una regresión lineal simple utilizando al BV como variable dependiente arrojó la ecuación  $\text{pgC/cel} = -1.5567 + 0.1428 (\text{BV})$  para células vivas, y  $\text{pgC/cel} = -5.0126 + 0.1644 (\text{BV})$  para células fijadas. Ambas regresiones fueron significativas con un valor de  $R = 0.9913$  ( $F_{0.05(1,2)} = 112.8073$ ,  $p < 0.05$ ) y  $R = 0.98849$  ( $F_{0.05(1,2)} = 85.39162$ ,  $p < 0.05$ ), respectivamente.

Tabla 2. Biomasa calculada mediante el método de Biovolumen (BV). Valores de BV ( $\mu\text{m}^3$ ) y biomasa (pgC/cel) de las especies aisladas.

Especie	Trat.	n	BV (min)	BV (max)	BV (promedio)	C.V.	Biomasa (pgC/cel)
<i>Thalassiosira hispida</i>	V	45	301.67	1515.11	775.81	40.05	63.53
	F	45	230.97	1551.47	690.37	45.42	57.79
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	V	40	51.44	135.03	93.46	23.09	11.41
	F	40	89.16	231.49	150.28	20.08	16.78
<i>Cylindrotheca closterium</i>	V	45	109.08	200.66	169.98	16.8	18.54
	F	45	103.7	205.15	126.66	21.94	14.6
<i>Skeletonema costatum</i>	V	40	24.24	193.93	83.73	46.76	10.44
	F	40	24.24	193.93	85.88	46.96	10.66

Trat. = Tratamiento. V= células vivas, F= células fijadas.



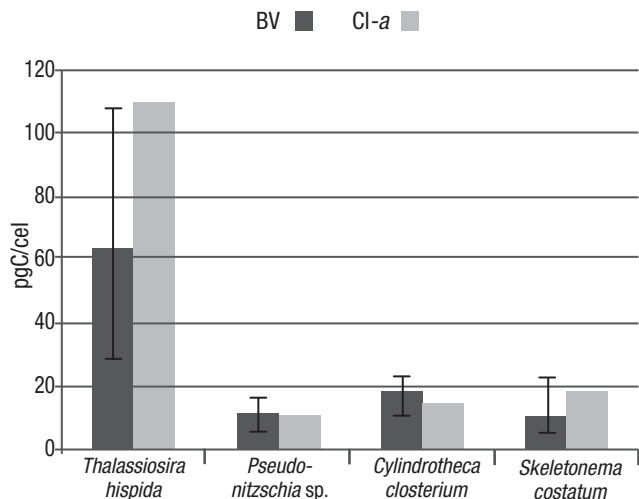


Figura 2. Comparación entre los métodos para cálculo de biomasa. El Biovolumen (BV) se obtuvo midiendo células vivas y transformando a unidades de carbono de acuerdo con Menden-Deuer y Lessard (2000), la clorofila-*a* se cuantificó de acuerdo con el método tricromático. Las líneas sobre las barras del BV, indican el error estándar.

## DISCUSIÓN

A nivel mundial se considera que muchas de las aplicaciones de la técnica del BV presentan inconvenientes, por ejemplo, Lee y Fuhrman (1987) concluyen que el tamaño del bacterioplancton marino, no refleja las variaciones en su biomasa estimada mediante peso seco. Bratbak (1985) menciona que la biomasa calculada mediante BV para bacterias acuáticas ha sido seriamente subestimada y ha influenciado las inferencias sobre los ecosistemas. En lo que se refiere a las diatomeas, el biovolumen mediante métodos de reconocimiento de imágenes parece sobreestimar la biomasa debido principalmente a que las mediciones son lineares y no tridimensionales (Álvarez *et al.*, 2012; Roselli *et al.*, 2013). No obstante que se ha reportado que el biovolumen está relacionado positivamente con la biomasa (Nazet *et al.*, 2013). Los resultados de esta investigación apoyan la idea de que al seguir únicamente la metodología tradicional para estimar el biovolumen, se puede incrementar el error al intentar cuantificar la biomasa de una especie y, por lo tanto, en explicar la producción primaria en el inicio de las redes tróficas marinas.

La biomasa (en unidades de carbono) calculada mediante la concentración de Cl-*a* y mediante el BV de células vivas, permite establecer que solamente en el caso de *Pseudo-nitzschia sp.* y de *Cylindrotheca closterium* el BV resulta confiable, ya que la biomasa es similar. Sin embargo, la biomasa mediante BV resulta marcadamente diferente en *Skeletonema costatum* y *Thalassiosira hispida* ya que ésta se subestima con respecto a los valores calculados por espectrofotometría. En el caso particular de esta última especie la biomasa es subestimada casi en la mitad del valor real.

En este trabajo se utilizó la espectrofotometría para la estimación de la Cl-*a*, en particular el método tricromático descrito originalmente por Jeffrey y Humprey (1975), el cual excluye la cuantificación de los feopigmentos, que son producto de la degradación de la Cl-*a*. El máximo de absorción de luz de este tipo de pigmentos se ubica en los mismos intervalos de longitud de onda que la Cl-*a*, cercano a los 664

nm por lo que su cuantificación es importante ya que puede sobreestimar los valores de Cl-*a*. Los feopigmentos en los cultivos analizados son tácitamente escasos con base en el índice de pigmentos también llamado Índice de Margalef, que es una relación entre pigmentos amarillos y verdes que se ubica entre valores de 2 y 7; mientras mayor sea su valor implicará una mayor madurez de una asociación algal (Margalef, 2005), es decir, que nos permite conocer la fase en que se encuentra un cultivo celular. En el caso de los cultivos utilizados para la cuantificación de Cl-*a*, los resultados de este índice nunca rebasaron un valor máximo de 2.79, lo que indica que en el momento en que se tomaron las muestras de los cultivos para el análisis de conteo y biomasa, éstos se encontraban como asociaciones jóvenes con una alta tasa de regeneración, característicos de la fase exponencial de crecimiento y, por lo tanto, con una dominancia pigmentaria de Cl-*a*. Esto permitió disminuir el error, ya que si se hubiera tomado de una asociación madura, los feopigmentos hubieran sido los más abundantes y la estimación de la Cl-*a* hubiera presentado un error significativo.

En las mediciones de BV, llama la atención el cultivo de *Pseudo-nitzschia sp.*, en el cuál la adición de Lugol ácido a las células incrementa su BV un 60%. Este aumento se confirma con los valores del C.V. de las estimaciones de BV, que no son diferentes (de 20 a 23) entre las células vivas y fijadas. Este comportamiento del C.V. fue similar para todas las especies estudiadas.

De acuerdo con Hawkins *et al.* (2005), la adición de Lugol sobre las cianobacterias disminuye entre un 30 y 40% su volumen celular. En muestras de fitoplancton colectadas en campo, el Lugol en distintas concentraciones ejerce un cambio en el BV, tanto en el nano como en el microfitoplancton (Zarauz & Irigoien, 2008). Con respecto a las diatomeas, la preservación con Lugol según Menden-Deuer y Lessard (2001), puede variar hasta en un 30%. Los resultados presentados en este trabajo también muestran variación entre el BV real y el estimado en células fijadas (hasta 60%), por lo menos en dos de los cultivos de diatomeas. Esto reafirma la incógnita sobre los mecanismos que hacen que las diatomeas modifiquen su dimensión celular en presencia de Lugol, confrontándose con la suposición generalizada de que su cubierta de sílice no lo permite. Esta interrogante hoy en día no ha sido abordada, por lo que se considera un campo potencial de investigación.

Las estimaciones de BV de tres de las cuatro especies referidas en este estudio han sido cuantificadas en distintas partes del mundo con resultados muy variables. Para estas evaluaciones las fórmulas han sido elegidas de acuerdo con el criterio de cada investigador, lo que hace aún más complicado realizar una comparación de la biomasa con un mismo método pero con diversos enfoques. En fechas recientes se estableció una base de datos global de diatomeas en la que se resumen ciertas variables, entre las que se encuentran el BV y el contenido de carbono obtenidos a partir de mediciones morfométricas y una fórmula generalizada para la transformación a carbono (Leblanc *et al.*, 2012). De acuerdo con dicho trabajo, y con base en 64 observaciones de diferentes especies del género *Pseudo-nitzschia*, el intervalo de la biomasa varía entre 11 y 485 pgC/cel, aunque dentro de este intervalo se incluyen valores de auxosporas, que tienen una mayor biomasa que las células vegetativas. En el caso de *Cylindrotheca closterium* y cuatro de sus cepas se ubicaron en el intervalo de 57 a 303 pgC/cel, mientras que tres cepas de *Skeletonema costatum* están entre los 2 y 193 pgC/cel. *Thalassiosira hispida* está ausente en dicho estudio y, de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, la presente investigación constituye la

primera estimación de BV de dicha especie. De estos intervalos se puede determinar que las especies aisladas en el PNSAV tienen una menor biomasa que el intervalo para las mismas especies en otras partes del mundo (Rodríguez-Gómez, 2013). Cabe destacar que en los cálculos aquí presentados, la conversión de BV a carbono es más precisa, ya que la ecuación utilizada incluye dos variables importantes en el metabolismo de la fijación de carbono, que son la irradiancia y la temperatura.

De manera general se ha aceptado que el tamaño de los organismos decrece cuando aumenta la temperatura; que el contenido de carbono relacionado al BV disminuye con el aumento de tamaño y que la razón de C:Cl-a es igual entre los diferentes grupos que integran el fitoplancton (Atkinson, 1994; Margalef, 2005; Thompson, 2006), sin embargo, investigaciones recientes han contradicho estas posturas si nos referimos a los organismos fitoplanctónicos (Menden-Deuer & Lessard, 2000; Montagnes & Franklin, 2001). Aunque estos paradigmas han sido desarrollados para zonas templadas, los resultados aquí expuestos parecen concordar con estas ideas.

Concluimos que la medición del biovolumen es un método que, aunque es útil para estimar la biomasa de especies fitoplanctónicas, puede presentar algunos inconvenientes, ya que produce valores por arriba y por debajo de los valores del contenido de carbono estimado mediante espectrofotometría; este intervalo se ubica entre 2% y 60% en las diatomeas estudiadas. Aun así, para estudios donde se requiera conocer las dimensiones celulares, es preferible trabajar con las células vivas, ya que el Lugol ácido modifica significativamente el tamaño de las diatomeas, por lo menos en el caso de *Cylindrotheca closterium* (disminuye 25%) y *Pseudo-nitzschia* sp. (aumenta 60%). En futuros estudios, en donde se requiera conocer la biomasa de una especie, antes de elegir como método de estimación al BV, es recomendable considerar la información disponible sobre valores reales de su biomasa obtenida a partir de su concentración de Cl-a o carbono.

En este estudio se ofrecen dos ecuaciones con las correcciones para las especies de una zona tropical, por lo que si se cuenta con valores de biovolumen de células vivas, se sugiere utilizar las fórmulas mencionadas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Sandra Guerra Martínez, que colaboró en la implementación de los cultivos celulares. Esta investigación se benefició del proyecto del programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) UV-PTC-415 asignado a JAAC y el proyecto PROMEP "Patrones de distribución de la diversidad y biomasa de grupos funcionales clave para el Sistema Arrecifal Veracruzano", para fortalecimiento de cuerpos académicos: Arrecifes Coralinos. También se hace extensivo el agradecimiento al CONACYT por una beca para estudios de maestría a CFRG (ID: 391238). A Yuri B. Okolodkov, que proporcionó literatura especializada. Las observaciones de David. A. Siqueiros Beltrones y de dos revisores anónimos son apreciadas.

## REFERENCIAS

ÁLVAREZ-BORREGO, S. 2007. Principios generales del ciclo del carbono en el océano. En: Hernández de la Torre, B. & G. Gaxiola Castro (Eds.). Carbono en ecosistemas acuáticos de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de

Ecología, Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada. pp. 11-28.

ÁLVAREZ, E., A. LÓPEZ-URRUTIA & E. NOGUEIRA. 2012. Improvement of plankton biovolumen estimates derived from image-based automatic sampling devices: application to FlowCAM. *Journal of Plankton Research* 34 (6): 454- 69. DOI: 10.1093/plankt/fbs017

AMINOT, A. & F. REY. 2000. *Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods*. International Council for the Exploration of the Sea (ICES), Copenhagen, Denmark. 17 p.

ANDERSEN, R. A. & M. KAWACHI. 2005. Traditional microalgal isolation techniques. In: Andersen, R.A. (Ed.). *Algal culturing techniques*. Elsevier Academic Press, Amsterdam. pp. 83-100. DOI: 10.1016/b978-012088426-1/50007-x

A.P.H.A. 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1220 p.

ATKINSON, D. 1994. Temperature and organism size—a biological law for ectotherms? *Advances in Ecological Research* 25: 1-58. DOI: 10.1016/S0065-2504(08)60212-3

BRATBAK, G. 1985. Bacterial biovolume and biomass estimations. *Applied and Environmental Microbiology* 49 (6): 1488-1493.

CONTRERAS-ESPINOSA, F. 1994. *Manual de técnicas hidrobiológicas*. 1a ed. Trillas, México D.F. 191 p.

GUILLARD, R. R. L. & J. H. RYTHER. 1962. Studies of marine planktonic diatoms I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Canadian Journal of Microbiology* 8: 229-239. DOI: 10.1139/m62-029

HAWKINS, P. R., J. HOLLIDAY, A. KATHURIA & L. BOWLING. 2005. Change in cyanobacterial biovolume due to preservation by Lugol's Iodine. *Harmful Algae* 4: 1033-1043. DOI: 10.1016/j.hal.2005.03.001

HILLEBRAND, H., C. DÜRSELEN, D. KIRSCHTEL, U. POLLINGER & T. ZOHARY. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology* 35: 403-424. DOI: 10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x

JEFFREY, S. W. & G. F. HUMPHREY. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemical Physiological Pflanzen* 167: 191-194.

LEBLANC, K., J. ARISTEGUI, L. ARMAND, P. ASSMY, B. BEKER, A. BODE, E. BRETON, V. CORNET, J. GIBSON, M.-P. GOSSELIN, E. KOPCZYNSKA, H. MARSHALL, J. PELOQUIN, S. PIONTKOVSKI, A. J. POULTON, B. QUÉGUINER, R. SCHIEBEL, R. SHIPE, J. STEFELS, M. A. VAN LEEUWJE, M. VARELA, C. WIDDICOMBE & M. YALLOP. 2012. A global diatom database—abundance, biovolume and biomass in the world ocean. *Earth System Science Data* 5: 147-185. DOI: 10.5194/essd-4-149-2012

LEE, S. H. & J. A. FUHRMAN. 1987. Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton. *Applied and Environmental Microbiology* 53 (6): 1298- 303. DOI: 10.1016/0198-0254(87)96080-8

- LÓPEZ-FUERTE, F. O., D. A. SIQUEIROS-BELTRONES & G. DE LA CRUZ-AGÜEROS. 2007. Biovolumen ponderado; índice para estimar la contribución de especies en asociaciones de diatomeas bentónicas. *Hidrobiológica* 17 (1): 83-86.
- MARGALEF, R. 2005. *Ecología*. 10a reimpression. Edic. Omega, Barcelona, España. 951 p.
- MENDEN-DEUER, S. & E. J. LESSARD. 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton. *Limnology and Oceanography* 45 (3): 569-579. DOI: 10.4319/lo.2000.45.3.0569
- MENDEN-DEUER, S., E. J. LESSARD & J. SATTERBERG. 2001. Effect of preservation on dinoflagellate and diatom cell volume and consequences for carbon biomass predictions. *Marine Ecology Progress Series* 222: 41-50. DOI: 10.3354/meps222041
- MONTAGNES, D. J. S. & D. J. FRANKLIN. 2001. Effect of temperature on diatom volume, growth rate, and carbon and nitrogen content: reconsidering some paradigms. *Limnology and Oceanography* 46 (8): 2008-2018. DOI: 10.4319/lo.2001.46.8.2008
- MULLER-KARGER, F. E., R. VARELA, R. THUNELL, R. LUERSSEN, C. HU & J. J. WALSH. 2005. The importance of continental margins in the global carbon cycle. *Geophysical Research Letters* 32 (1): L01602. DOI: 10.1029/2004GL021346
- NAZ, T., Z. BURHAN, S. MUNIR & P. J. A. SIDDIQUI. 2013. Biovolume and biomass of common diatom species from the coastal waters of Karachi, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany* 45 (1): 325-328.
- PLATT, T., N. HOEPFFNER, V. STUART & C. BROWN (eds.) 2008. Why Ocean Colour? The Societal Benefits of Ocean-Colour Technology. IOCCG. Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group. No.7, IOCCG. Dartmouth, Canadá. 141 p.
- RODRÍGUEZ-GÓMEZ, C. F. 2013. Contribución de especies planctónicas formadoras de florecimientos algales nocivos a la biomasa del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de Maestría en Ecología y Pesquerías, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, México. 66 p.
- ROSELLI, L., E. STANCA, F. PAPARELLA, A. MASTROLIA & A. BASSET. 2013. Determination of *Coscinodiscus* cf. *granii* biovolume by confocal microscopy: comparison of calculation models. *Journal of Plankton Research* 35 (1): 135-145. DOI: 10.1093/plankt/fbs069
- SMAYDA, T. J. 1978. From phytoplankters to biomass. In: Sournia, A. (Ed.). *Phytoplankton manual*. UNESCO, Paris. pp. 273-279.
- STATSOFT. 2005. Statistica (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com
- STEINMAN, A. D., G. A. LAMBERTI & P. R. LEAVITT. 2007. Biomass and pigments of benthic algae. In: Hauer, F. R. & G. A. Lamberti (Eds.). *Methods in stream ecology*. Academic Press, Second edition. pp. 357-380. DOI: 10.1016/B978-012332908-0.50024-3
- THOMPSON, P. 2006. Effects of temperature and irradiance on marine microalgal growth and physiology. In: Subba-Rao, D.V. (Ed.). *Algal cultures analogues of blooms and applications*. Science Publishers, Enfield, USA. pp. 571-638.
- THRODNSEN, J. 1978. Preservation and storage. In: Sournia, A. (Ed.). *Phytoplankton manual*. UNESCO, Paris. pp. 68-74
- VADRUCCHI, M. R., M. CABRINI & A. BASSET. 2007. Biovolume determination of phytoplankton guilds in transitional water ecosystems of Mediterranean Ecoregion. *Transitional Waters Bulletin* 2: 83-102. DOI: 10.1285/i1825229Xv1n2p83
- ZAR, J. H. 2010. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, New Jersey, USA. 944 p.
- ZARAUZ, L. & X. IRIGOIEN. 2008. Effects of Lugol's fixation on the size structure of natural nano-microplankton samples, analyzed by means of an automatic counting method. *Journal of Plankton Research* 30 (11): 1297-1303. DOI: 10.1093/plankt/fbn084

**Recibido:** 19 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 22 de febrero de 2016.

## Estructura y composición de la macroflora dominante del pecio Ana Elena, Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México

## Structure and composition of the dominant macroflora of the Ana Elena shipwreck, Veracruz Reef System, Gulf of Mexico

Angélica Vázquez-Machorro<sup>1</sup>, José Luis Godínez-Ortega<sup>2</sup>, Alejandro Granados-Barba<sup>3</sup> y Pedro Ramírez-García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, CDMX, 04510. México

<sup>2</sup>Instituto de Biología, Departamento de Botánica, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, CDMX, 04510. México

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Calle Hidalgo 617, Col. Río Jamapa, Boca del Río, Veracruz, 94290. México  
e-mail: ra\_windstar@hotmail.com

---

Vázquez-Machorro A., J. L. Godínez-Ortega, A. Granados-Barba y P. Ramírez-García. 2016. Estructura y composición de la macroflora dominante del pecio Ana Elena, Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México. *Hidrobiológica* 26 (2): 259-267.

### RESUMEN

**Antecedentes.** El Sistema Arrecifal Veracruzano es un área protegida que da abrigo al puerto de Veracruz y, que, desde la llegada de los españoles a América, ha estado sujeto a encallamientos. Durante el siglo pasado, encallaron al menos 126 embarcaciones; algunas yacen actualmente en calidad de pecios, y en ellas se llevan a cabo procesos de reclutamiento y colonización. **Objetivos.** Estudiar la comunidad algal dominante del pecio Ana Elena, situado en el arrecife Anegada de Afuera, en Veracruz. **Métodos.** Las coletas y observaciones se realizaron mediante buceo autónomo y toma de fotografía digital sobre el gradiente batimétrico de 5 a 12 m, desde el puente de mando hasta el casco. **Resultados.** Por primera vez, se describe la estructura de los ensambles macroalgales dominantes del pecio y se observan los florecimientos de diversas comunidades algales (8 especies de macroalgas rojas, 3 pardas y 6 verdes). Las especies dominantes en cada zona de muestreo del pecio Ana Elena son: *Lithophyllum congestum* (30%) en el puente de mando, *Peyssonnelia inamoena* (48%) en el pasillo y *Lobophora variegata* (50%), en el casco. **Conclusiones.** La luz es el factor limitante para el establecimiento y la dominancia de estas algas. Se dan a conocer dos nuevos registros para la flora algal de México: *Dictyota friabilis* Setchell y *Anadyomene saldanhae* A. B. Joly et E. C. Oliveira.

**Palabras clave:** Coberturas, macroalgas, nuevos registros, pecio Ana Elena, riqueza ficoflorística.

### ABSTRACT

**Background.** The Veracruz Reef System is a protected area that gives shelter to the port of Veracruz and, therefore, has been subject to vessel groundings since the arrival of the Spanish in America. In the past century, at least 126 vessels ran aground and some of them now lie as shipwrecks where they are undergoing processes of recruitment and colonization. **Goals.** We studied the dominant community of algae in the Ana Elena shipwreck, Anegada de Afuera reef, Veracruz. **Methods.** Samples and observations are made by scuba diving and digital photograph on the bathymetric gradient of 5 to 12 m, from the captain's bridge to the hull. **Results.** The dominant macroalgal assemblages from this wreck were described for the first time, and various algal community outcrops were observed (8 species of red macroalgae, 3 brown, and 6 green). The dominant species in each zone of the Ana Elena shipwreck at the captain's bridge, corridor, and hull were *Lithophyllum congestum* (30%), *Peyssonnelia inamoena* (48%), and *Lobophora variegata* (50%), respectively. **Conclusions.** Light is a limiting factor in the settlement and dominance of these algae. Two new records for Mexico are reported: *Dictyota friabilis* Setchell and *Anadyomene saldanhae* A. B. Joly et E. C. Oliveira.

**Key words:** Ana Elena shipwreck, Coverage, macroalgae, new records, phycofloristic richness.



### INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral son ecosistemas ecológicamente importantes porque mantienen una alta biodiversidad y brindan numerosos servicios ambientales (Costanza *et al.*, 1997; Moberg & Folke, 1999; De Groot *et al.*, 2002; Orth *et al.*, 2006; Waycott *et al.*, 2009; Barbier *et al.*, 2011); sin embargo, son ecosistemas en crisis y cuyos hábitats han recibido diversos impactos por actividades turísticas y pesqueras, así como por la contaminación con aguas domésticas e industriales y la alta sedimentación (Knowlton, 2001; Hughes *et al.*, 2003, 2011; Knowlton & Jackson, 2008; Bradbury & Seymour, 2009). En el Golfo de México, el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) no es la excepción a éstos y otros impactos (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008; Ortiz-Lozano, 2012; Valadez-Rocha & Ortiz-Lozano, 2013), como los encallamientos asociados a un puerto de altura, sumando 126 en el último siglo (Hayasaka-Ramírez & Ortiz-Lozano, 2014), de los cuales algunos aún se encuentran en el fondo en calidad de pecios. De acuerdo con Walker *et al.* (2007), los pecios permiten el reclutamiento de larvas y especies pioneras sobre los nuevos sustratos que son colonizados rápidamente por algas (Fager, 1971; Schuhmacher, 1977; Carter *et al.*, 1985; Eston *et al.*, 1992; Cummings, 1994; Moura *et al.*, 2004; Kraufvelin *et al.*, 2007), y se convierten en zonas de alimentación, crianza y/o refugio para diversos organismos en los sistemas arrecifales (Borowitzka *et al.*, 1978; Antit *et al.*, 2013). En el SAV no existen investigaciones científicas acerca de la composición biótica y estructura, ni de los procesos ecológicos que se llevan a cabo en los pecios.

Algunos aspectos ecológicos que permiten entender la dinámica de las comunidades algales son el estudio de la estructura y composición del fitobentos. Por ello, en este trabajo se realizó, con base en un gradiente batimétrico, un estudio que considera la macroflora del pecio Ana Elena, una embarcación encallada en el SAV a principios del siglo XX. El objetivo de este estudio fue conocer la composición y estructura de la comunidad fitobentónica de dicho pecio.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) se localiza en la región central de Veracruz, frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo. Es un sistema complejo e importante dentro del Golfo de México (Fig. 1), pues está declarado reserva de la biosfera por la UNESCO, un humedal Ramsar y un componente esencial del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México propuesto por Ortiz-Lozano *et al.* (2013).

El pecio Ana Elena se localiza en el arrecife Anegada de Afuera del PNSAV; se encuentra en buenas condiciones, sobre un arenal rodeado de roca arrecifal que forma una poza de aproximadamente 80 m de diámetro. Sus restos se disponen a profundidades de entre 5 y 12 m, y corresponden a una embarcación de cabotaje de 53 m de eslora por 6.5 m de manga y 7.6 m de puntal, cuya proa está dirigida al Noroeste (Fig. 2).

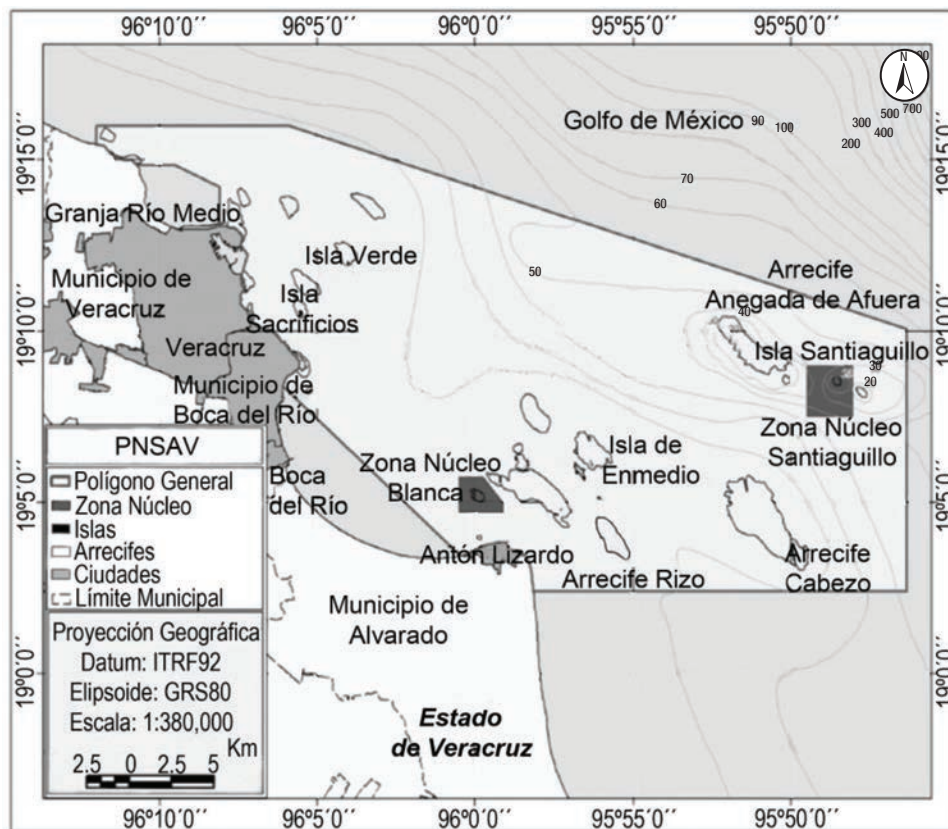


Figura 1. Polígono modificado del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano con cerca de 65,517 hectáreas (Tomada de DOF, 2012).

Tabla 1. Listado ficoflorístico del Pecio Ana Elena.

División	Forma biológica**
<b>Rhodophyta</b>	
<i>Antithamnionella</i> sp.	Epífita filamentosa de <i>Lobophora variegata</i>
<i>Botryocladia spinulifera</i> W. R. Taylor et I. A. Abbott	Epífita carnosa de <i>L. variegata</i>
<i>Griffithsia globulifera</i> Harvey ex Kützing	Epífita filamentosa <i>J. pumila</i> y <i>P. inamoena</i>
<i>Hypnea spinella</i> (C. Agardh) Kützing	Filamentosa asociada con <i>P. inamoena</i> y <i>J. pumila</i>
<i>Hypoglossum hypoglossoides</i> (Stackhouse) F. S. Collins et Hervey	Epífita laminar de <i>Dictyota friabilis</i> , <i>J. pumila</i> , <i>L. variegata</i>
<i>Jania pumila</i> J. V. Lamouroux	Calcárea articulada
<i>Lithophyllum congestum</i> (Foslie) Foslie	Costrosa
<i>Peyssonnelia inamoena</i> Pilger	Costrosa
<b>Ochrophyta</b>	
<i>Dictyopteris delicatula</i> J. V. Lamouroux	Laminar
* <i>Dictyota friabilis</i> Setchell	Laminar
<i>Lobophora variegata</i> (J. V. Lamouroux) Womersley ex E. C. Oliveira	Laminar
<b>Chlorophyta</b>	
* <i>Anadyomene saldanhae</i> A. B. Joly et E. C. Oliveira	Laminar
<i>Caulerpella ambigua</i> (Okamura) Prud'homme van Reine et Lokhorst	Filamentosa asociada con <i>L. variegata</i>
<i>Caulerpa racemosa</i> (Forsskål) J. Agardh	Carnosa ramificada
<i>Cladophora laetevirens</i> (Dillwyn) Kützing	Filamentosa
<i>Halimeda opuntia</i> (Linnaeus) J. V. Lamouroux	Calcárea articulada
<i>Rhypocephalus phoenix</i> f. <i>longifolius</i> A. Gepp et E. Gepp	Carnosa ramificada asociada con <i>L. variegata</i>

\* Nuevos registros para el Golfo de México.      \*\*Littler *et al.* (1983)

Se realizaron dos muestreos durante marzo y mayo del 2014, utilizando buceo autónomo para llegar al pecio. La toma de muestras consideró la heterogeneidad presente en el exterior de la banda de estribor del pecio, donde se pueden diferenciar con claridad tres zonas principales que siguen un gradiente batimétrico: puente de mando (entre 5 y 6.5 m), pasillo (entre 7 y 8.5 m) y casco (entre 9 y 10.5 m). Para ello, se colocaron 27 cuadrantes de 0.25 m<sup>2</sup> (50 x 50 cm), 9 en cada zona del pecio (puente, pasillo y casco), dispuestos en forma horizontal de 3 x 3 cuadros por cada zona. Los cuadrantes se subdividieron en cuatro subcuadros (12.5 x 12.5 cm) con un cabo de nylon para fotografías con mayor resolución. Los subcuadros fueron fotografiados con una cámara Canon G10 (15 megapíxeles). Cuando se requirió, se tomaron pequeñas muestras, las cuales fueron fijadas con formol al 4%, neutralizado

en agua de mar para posteriormente identificar a las especies en el laboratorio usando microscopía estereoscópica y fotónica, y realizando preparaciones permanentes por medio de la técnica de criohistología (Tsuda & Abbott, 1985).

La estructura de la comunidad se estimó con base en la cobertura por subcuadro lo cual determinó, el porcentaje de ocupación de cada uno de los componentes macroalgales (forma biológica), como son talos laminares, costrosos, carnosos ramificados, filamentosos, calcáreos articulados y algunas algas epífitas o asociadas (Littler *et al.*, 1983). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para probar diferencias significativas de la cobertura algal entre los niveles batimétricos del pecio Ana Elena.

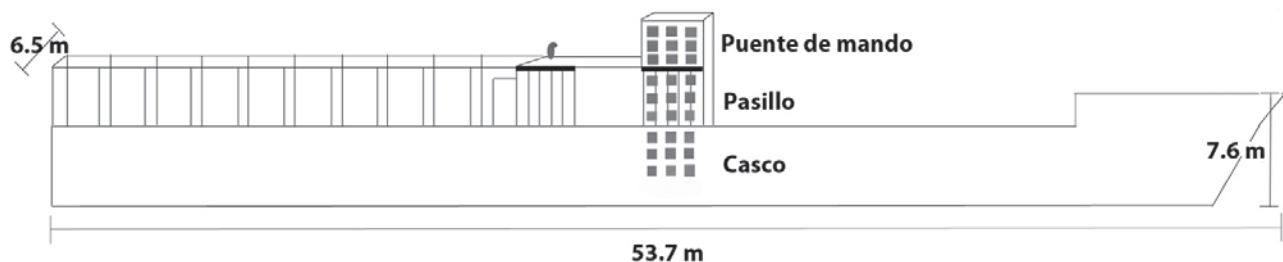
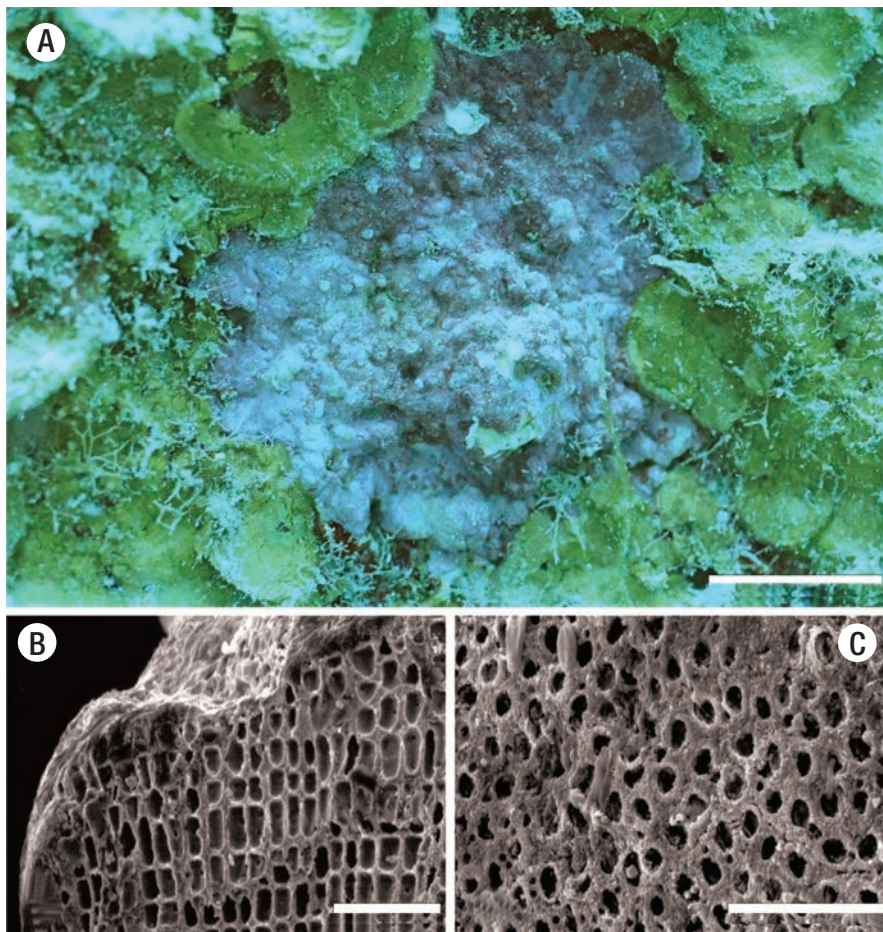


Figura 2. Diagrama de estribor del pecio Ana Elena, los cuadros grises representan el área muestreada.



Figuras 3A-C. *Lithophyllum congestum* (Foslie) Foslie. A) Aspecto del alga sobre el Pecio Ana Elena, barra = 5 cm. B) Vista de un fragmento transversal en MEB con células rectangulares del peritalo y células epiteliales del hipotalo, barra = 50  $\mu\text{m}$ . C) Vista superficial en MEB mostrando células epiteliales, barra = 40  $\mu\text{m}$ .

## RESULTADOS

Se registró un total de 17 especies algales en la zona de muestreo del pecio Ana Elena (ocho rodofitas, tres ocofitas y seis clorofitas); de éstas, dos son nuevos registros para México: *Dictyota friabilis* Setchell y *Anadyomene saldanhae* A. B. Joly *et E. C. Oliveira* (Tabla 1).

En cuanto a las coberturas, *Lithophyllum congestum* (Fig. 3) fue la especie dominante en la zona del puente, con 30% de cobertura, mientras que *Peyssonnelia inamoena* (Fig. 4) lo fue para el pasillo, con 48%. En el casco, *Lobophora variegata* (Fig. 5) presentó una máxima cobertura del 50%, la cual disminuye con respecto a la cobertura que presentan el puente y el pasillo.

Las coberturas de las algas laminadas y costrosas presentan diferencias significativas en cuanto a las zonas del barco ( $F_{1,46}=12.332$ ;  $p=0.001$ ). *L. variegata* (alga laminar) no se encuentra en las zonas más someras (puente), y su presencia va en aumento cuando llega al casco, que se encuentra a mayor profundidad (12 m). Por el contrario, las formas costrosas se observan con coberturas mayores en las zonas más someras, y disminuyen en la zona más profunda del barco: el casco ( $F_{1,55}=11.628$ ;  $p=0.001$ ) (Figs. 6a-f).

## DISCUSIÓN

El PNSAV ha sido objeto de encallamientos desde la llegada de los españoles a las costas veracruzanas, acción que aumentó con la construcción del puerto y los eventos de nortes, que han dejado numerosos pecios en el fondo marino (Hayasaka-Ramírez & Ortiz-Lozano, 2014). Los pecios son un sustrato útil para el establecimiento de diversos organismos, entre ellos, las algas, uno de los primeros grupos de especies colonizadoras (Schuhmacher, 1977; Borowitzka *et al.*, 1978; Kraufvelin *et al.*, 2007; Antit *et al.*, 2013).

La riqueza algal en el Sistema Arrecifal Veracruzano está representada por 284 especies, registradas en 14 de los 23 arrecifes del SAV (Galicia-García & Morales-García, 2007); no obstante, todavía existen áreas inexploradas ficológicamente, como el arrecife Anegada de Afuera; por ello, este trabajo representa el primer registro de las comunidades algales que se desarrollan al interior de este arrecife.

La riqueza del pecio es baja si se compara con los arrecifes Enmedio (con 161 especies, en 2.4  $\text{km}^2$ ) y Santiaguillo (con 43 especies, en 1  $\text{km}^2$ ), ambos del subsistema Antón Lizardo (Galicia-García & Morales-García, 2007). Por su parte, en sustratos que funcionan como arrecifes

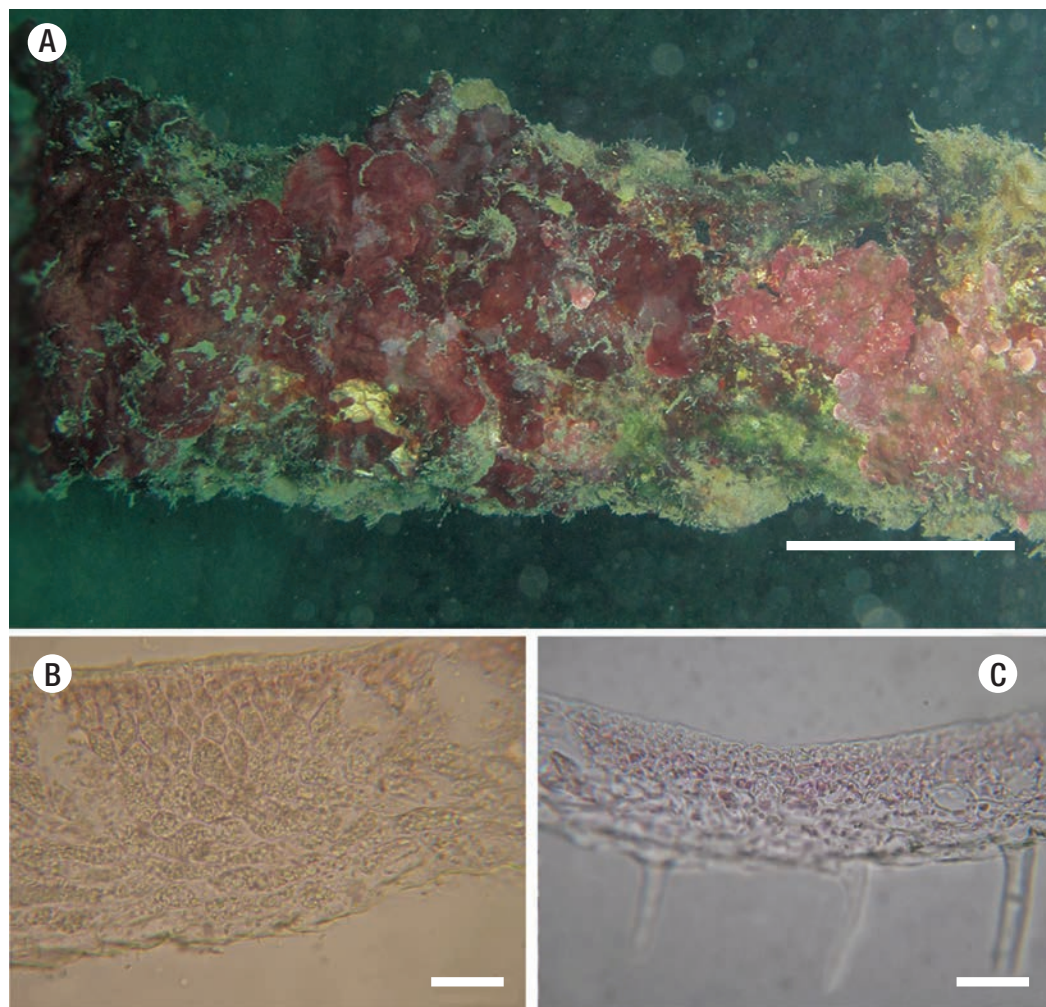


artificiales, Falace y Bressan (2002) registran 93 especies de algas en el arrecife artificial Loano, mar Mediterráneo (3.5 km<sup>2</sup>), mientras que Thanner *et al.* (2006) registraron varias especies en un arrecife artificial de Miami-Dade, en Florida (6093 m<sup>2</sup>) y Blair y Flynn (1989) mencionan que existe 29 % de cobertura de algas para el mismo arrecife. Considerar la dimensión (área) de estos arrecifes naturales y artificiales es importante, ya que superan al pecio Ana Elena (344.5 m<sup>2</sup>), y, a pesar de ello, éste tiene un porcentaje de cobertura de algas más alto (50% en el casco) que el del arrecife artificial de Miami-Dade.

La mayor riqueza macroalgal registrada en el pecio Ana Elena corresponde a la División Rhodophyta, lo cual ha sido mencionado por diferentes autores con respecto a los sustratos naturales (Ortega *et al.*, 2001; Galicia-García & Morales-García, 2007; Fernández, 2008) y artificiales (Borowitzka *et al.*, 1978; Falace & Bressan, 2002).

*Anadyomene saldanhae* tiene una distribución anfiatlántica (Cabo Verde y mar Caribe) (Collado-Vides *et al.*, 2013). No obstante, en Veracruz, *A. saldanhae* constituye un nuevo registro para la región suroeste

del golfo de México, ya que complementa la distribución geográfica de especies con afinidades a regiones tropicales. Sólo se había reportado previamente en Florida y el mar Caribe (Littler & Littler, 2000). Por ahora no es posible deslindar provincias biogeográficas de esta especie (Europea, golfo de México y el Caribe), ya que existen pocos datos moleculares publicados; sin embargo, llama la atención que exista un clado del mar Caribe (Santa Cruz, Islas Vírgenes, isla de Bonaire) (Collado-Vides *et al.*, 2013) estrechamente relacionada con *A. stellata*, pero la muestra de Florida (*Anadyomene* sp.) se sale de ese clado. Esto resulta interesante para estudiar en un futuro, comparando los registros de Veracruz para comprobar su identidad y probar que la región del golfo de México difiere de la del Caribe. Una cuestión similar sucede con *Dictyota friabilis*, reportada para el Pacífico Sur y señalada como *D. pfaffi* para el Caribe (Littler & Littler, 2000). Pocos estudios moleculares se han realizado de esta especie proveniente de Tahití (Polinesia) y Saba (Antillas holandesas) (Lozano-Orozco *et al.*, 2015), y no se han relacionado con las especies del golfo de México y otras regiones del Caribe. La presencia de esta especie con bandas iridiscentes conduce precisamente a *D. friabilis*, por lo que es necesario revisar en el futuro.



Figuras 4A-C. *Peyssonnelia inamoena* Pilger. A) Aspecto del talo sobre estructuras del Pecio Ana Elena, barra = 10 cm. B) Corte longitudinal mostrando células basales largas y células pequeñas de la superficie, barra = 50 µm. C) Corte longitudinal mostrando rizoides en la base, barra = 50 µm.



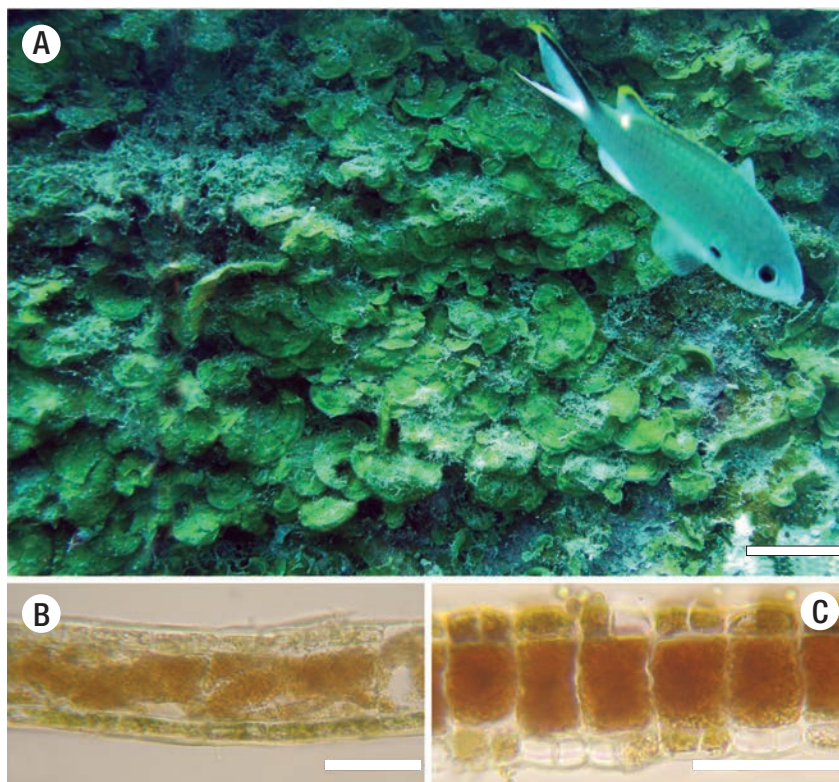
El siglo XXI se ha caracterizado por el descubrimiento de numerosos registros nuevos y especies para México (Wynne, 2011), lo cual es un indicador de que en el país se están realizando investigaciones en regiones poco exploradas. En este estudio se explora por primera vez el arrecife Anegada de Afuera, donde un barco crea un arrecife artificial rico en flora con afinidades a regiones cálidas. Por otra parte, pone de manifiesto la importancia de trabajar los pecios (sustratos artificiales) con el fin de complementar el inventario biótico del bentos veracruzano y de México.

El arreglo algal sobre la borda del pecio es diferenciado de acuerdo con el gradiente batimétrico, principalmente por el cambio en la radiación lumínica y la historia de vida de las especies (Falace & Bressan, 2002). En efecto, las diferentes zonas del pecio parecen tener relevancia con la presencia de macroalgas, ya que en el puente, el alga coralina dominante (30%) es *L. congestum* ( $p = 0.001$ ), un alga incrustante que se encontró unida al pecio, cuya dureza favorece su crecimiento y, a su vez, permite que otras especies de algas se establezcan (Borowitzka *et al.*, 1978), por lo que se considera pionera en el Ana Elena. En el pasillo del pecio, que tiene un techo que lo vuelve sombrío, domina *Peyssonnelia inamoena* (48%), especie adaptada a zonas con poca luz y protegidas del oleaje, que puede habitar en profundidades mayores a 20 m (Littler & Littler, 2000; Cebrián & Ballesteros, 2004). En el casco, la zona más profunda del pecio, domina (50%) *L. variegata* ( $p = 0.001$ ), una especie presente en zonas sombrías o profundas (100-120 m), donde la luz es un factor limitante (Littler *et al.*, 1985; Littler & Littler, 2000). Esta especie se encontró también en la zona del pasillo, pero no en la del puente.

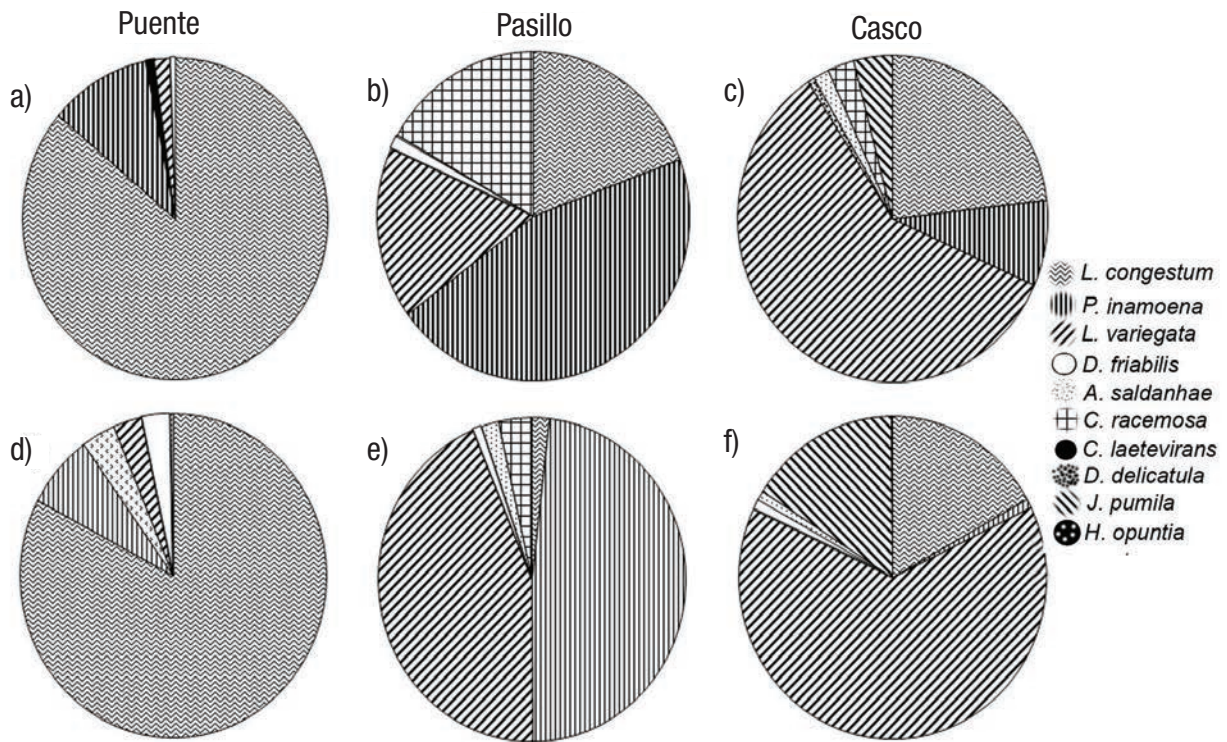
Este tipo de estudios sobre sustratos artificiales adquieren relevancia cuando se realizan en zonas arrecifales, en donde incluso se han utilizado pecios como arrecifes artificiales (Martínez-Hernández & Camacho-Olivares, 2007). En este contexto, cuando se compara la composición algal del pecio Ana Elena con la de un arrecife natural, se observa que en ambos la parte superior está dominada por algas coralinas, mientras que la parte inferior por algas carnosas y tapetes algales (Borowitzka & Larkum, 1986). Para algunos arrecifes del SAV (Anegada de Adentro, Sacrificios, Blanca, Pájaros, Sacrificios, Verde, Enmedio y Santiaguillo), Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) registran que el porcentaje de algas coralinas a profundidades de 0-12 m es alto (7-8.1%), siendo mayor al de 12-15 m (14.0 %); *L. variegata* sólo fue encontrada a profundidades de entre 6 y 15 m, mientras que los tapetes algales presentaron un mayor porcentaje (9.2%) de 0-12 m, lo que aumentó en profundidades de entre 12-15 m (14.0%).

Con este estudio, se da a conocer la riqueza biótica potencial de los pecios en el SAV y se detecta la necesidad de realizar mayores investigaciones en el Ana Elena, pues lo que se logró fotografiar no necesariamente representa a todas las estructuras presentes en él (barandales, proa, popa, etcetera) ni lo que está entreverado con las macroalgas visibles. Por ejemplo, dentro de los compartimentos del barco se observó una comunidad de cianobacterias, por lo que sería interesante estudiarla, así como al resto del componente faunístico.

El estudio del funcionamiento ecológico de los pecios debe ser una línea de investigación en el PNSAV, ya que es un área vulnerable ante los encallamientos debido a que el canal de navegación cruza el área



Figuras 5A-C. *Lobophora variegata* (J.V. Lamouroux) Womersley ex E.C. Oliveira. A) Aspecto sobre el casco del barco Ana Elena, barra = 3 cm. B) Corte longitudinal de la lámina, barra = 50 µm. C) Corte transversal, barra = 50 µm.



Figuras 6a-f. Porcentajes de las coberturas algales del Pecio Ana Elena. a-c) Mes de marzo. d-f) Mes de mayo.

protegida entre los arrecifes para acceder al puerto de Veracruz, mismo que se pretende ampliar al doble de su capacidad en los próximos años (DOF, 2012).

### AGRADECIMIENTOS

El trabajo se realizó en el marco del proyecto “Bases para el análisis y síntesis de los sistemas costeros de Veracruz”, como parte de la Red para el Análisis y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana, Golfo de México (RASZCOV), de las redes temáticas del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP-SEP).

### REFERENCIAS

- ANTIT, M., A. DAOUATLI, J. L. RUEDA & C. SALAS. 2013. Temporal variation of the algae-associated molluscan assemblage of artificial substrata in the Bay of Tunis (Tunisia). *Mediterranean Marine Science* 14: 390-402. DOI: 10.12681/mms.379
- BARBIER, E. B., S. D. HACKER, C. KENNEDY, E. W. KOCH, A. C. STIER & B. R. SILLIMAN. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* 81: 169-193. DOI: 10.1890/10-1510.1
- BLAIR, S. M. & B. S. FLYNN. 1989. *Biological monitoring of hard bottom reef communities off Dade County Florida: community description*. Proceedings, 9th Annual Scientific Diving Symposium, American Academy of Underwater Sciences, September 28-October, 1989: 9-24.
- BOROWITZKA, M. A. & A. W. D. LARKUM. 1986. Reef algae. *Oceanus* 29: 49-54.
- BOROWITZKA, M. A., A. W. D. LARKUM & L. J. BOROWITZKA. 1978. A preliminary study of algal turf communities of shallow coral reef lagoon using an artificial substratum. *Aquatic Botany* 5: 365-381.
- BRADBURY, R. H. & R. M. SEYMOUR. 2009. Coral reef science and the new commons. *Coral Reefs* 28: 831-837. DOI: 10.1007/s00338-009-0540-6
- CARTER, J. W., A. L. CARPENTER, M. S. FOSTER & W. N. JESSEE. 1985. Benthic succession on an artificial reef designed to support a kelp-reef community. *Bulletin of Marine Science* 37: 86-113. <http://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bull-mar/1985/00000037/00000001/art00007>
- CEBRIÁN, E. & E. BALLESTEROS. 2004. Zonation patterns of benthic communities in an upwelling area from the western Mediterranean (La Herradura, Alboran Sea). *Scientia Marina* 68: 69-84. <http://scientiamarina.revistas.csic.es/index.php/scientiamarina/article/view/346/346>
- COLLADO-VIDES, L., C. AVILAC, S. BLAIR, F. LELIAERT, D. RODRIGUEZ, T. THYBERG, S. SCHNEIDER, J. ROJAS, P. SWEENEY, C. DRURY & D. LIRMAN. 2013. A persistent



- bloom of *Anadyomene* J. V. Lamouroux (Anadyomenaceae, Chlorophyta) in Biscayne Bay, Florida. *Aquatic Botany* 111: 95-103. DOI: 10.1016/j.aquabot.2013.06.010
- COSTANZA, R., R. D'ARGE, R. DE GROOT, S. FARBER, M. GRASSO, B. HANNON, K. LIMBURG, S. NAEEM, R. V. O'NEILL, J. PARUELO, R. G. RASKIN, P. SUTTON & M. VAN DEN BELT. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260. <http://www.nature.com/nature/journal/v387/n6630/abs/387253a0.html>
- CUMMINGS, S. L. 1994. Colonization of a nearshore artificial reef at Boca Raton (Palm Beach County), Florida. *Bulletin of Marine Science* 55: 1193-1215. <http://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bullmar/1994/0000055/F0020002/art00075>
- DE GROOT, R. S., M. A. WILSON & R. M. J. BOUMANS. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393-408. DOI:10.1016/S0921-8009(02)00089-7
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2012. Decreto por el que se modifica al diverso por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicada frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del Estado de Veracruz Llave. Jueves 29 de Noviembre. 21, p.p.1-14.
- ESTON, V. R., M. R. A. BRAGA, M. CORDEIRO-MARINO, M. T. FUJII & N. S. YOKOYA. 1992. Macroalgal colonization patterns on artificial substrates inside southeastern Brazilian mangroves. *Aquatic Botany* 42: 315-325. DOI:10.1016/0304-3770(92)90051-J
- FAGER, E. W. 1971. Pattern in the development of a marine community. *Limnology and Oceanography* 16: 241-253. [http://www.aslo.org/lo/toc/vol\\_16/issue\\_2/0241.pdf](http://www.aslo.org/lo/toc/vol_16/issue_2/0241.pdf)
- FALACE, A. & G. BRESSAN. 2002. A qualitative and quantitative analysis of the evolution of macroalgal vegetation on an artificial reef with anti-grazing nets (Loano-Ligurian Sea). *ICES Journal of Marine Sciences* 59: S150-S156. DOI: 10.1006/jmsc.2002.1278.
- FERNÁNDEZ, C. 2008. Flora marina del Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica, Pacífico Oriental Tropical. *Revista de Biología Tropical* 56: 57-69. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44920231005>
- GALICIA-GARCÍA, C. & A. MORALES-GARCÍA. 2007. Investigaciones sobre macroalgas realizadas en el Sistema Arrecifal veracruzano. In: Granados-Barba, A., L. G. Abarca-Arenas & J. M. Vargas-Hernández (Eds.). *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche, p.p. 141-159.
- HAYASAKA-RAMÍREZ, S. & L. ORTIZ-LOZANO. 2014. Anthropogenic pressure indicators associated with vessels groundings on coral reefs in a marine protected area. *Ciencias Marinas* 40: 237-249. DOI: 10.7773/cm.v40i4.2459
- HUGHES, T. P., A. H. BAIRD, D. R. BELLWOOD, M. CARD, S. R. CONNOLLY, C. FOLKE, R. GROSBERG, O. HOEGH-GULDBERG, J. B. C. JACKSON, J. KLEYPAS, J. M. LOUGH, P. MARSHALL, M. NYSTRÖM, S. R. PALUMBI, J. M. PANDOLFI, B. ROSEN & J. ROUGHGARDEN. 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* 301: 929-933. DOI: 10.1126/science.108504
- HUGHES, T. P., D. R. BELLWOOD, A. H. BAIRD, J. BRODIE, J. F. BRUNO & J. M. PANDOLFI. 2011. Shifting base-lines, declining coral cover, and the erosion of reef resilience: comment on Sweatman et al. (2011). *Coral Reefs* 30: 653-660. DOI: 10.1007/s00338-011-0787-6
- KNOWLTON, N. 2001. The future of coral reefs. *Proceeding of the National Academy of Sciences* 98: 5419-5425. DOI: [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.091092998](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.091092998)
- KNOWLTON, N. & J. B. C. JACKSON. 2008. Shifting baselines, local impacts, and global change on coral reefs. *PLoS Biology* 6: 215-220. DOI: 10.1371/journal.pbio.0060054
- KRAUFVELIN, P., A. T. RUUSKANEN, N. NAPPU & M. KIIRIKKI. 2007. Winter colonisation and succession of filamentous macroalgae on artificial substrates and possible relationships to *Fucus vesiculosus* settlement in early summer. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72: 665-674. DOI: 10.1016/j.ecss.2006.11.029
- LITTLER, D. S. & M. M. LITTLER. 2000. *Caribbean reef plant. An identification guide to the reef plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of México*. Offshore Graphics. Washington, 542 p.
- LITTLER, M. M., D. S. LITTLER & P. R. TAYLOR. 1983. Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: functional-form groups of marine macroalgae. *Journal of Phycology* 19: 229-237. DOI: 10.1111/1529-8817.ep10994410
- LITTLER, M. M., D. S. LITTLER, S. M. BLAIR & J. N. NORRIS. 1985. Deepest known plant life discovered on an uncharted seamount. *Science* 227: 57-59. [http://go.galegroup.com/ps/retrieve.do?sort=DA-SORT&doctype=Article&tabID=T002&prodId=AONE&searchId=R3&resultListType=RESULT\\_LIST&searchType=AdvancedSearchForm&contentSegment=&currentPosition=33&searchResultsType=SingleTab&inPS=true&userGroupName=pu&docId=GALE%7CA359272-9&contentSet=GALE%7CA3592729](http://go.galegroup.com/ps/retrieve.do?sort=DA-SORT&doctype=Article&tabID=T002&prodId=AONE&searchId=R3&resultListType=RESULT_LIST&searchType=AdvancedSearchForm&contentSegment=&currentPosition=33&searchResultsType=SingleTab&inPS=true&userGroupName=pu&docId=GALE%7CA359272-9&contentSet=GALE%7CA3592729)
- LOZANO-OROZCO, J. G., A. SENTÍES, O. DE CLERCK, K. M. DRECKMANN & J. DÍAZ-LARREA. 2015. Two New Species of the Genus *Dictyota* (Phaeophyceae: Dictyotales) from the Mexican Caribbean. *American Journal of Plant Sciences* 6: 2492-2501. DOI: 10.4236/ajps.2015.615251
- MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, J. A. & B. CAMACHO-OLIVARES. 2007. Ictiofauna del arrecife artificial "Ex-Cañonero C-50, General Vicente Riva Palacio" en el Sistema Arrecifal Veracruzano, México. In: Granados-Barba, A., L.G. Abarca-Arenas & J.M. Vargas-Hernández (Eds.). *Investigaciones científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche, pp. 209-219.
- MOBERG, F. & C. FOLKE. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics* 29: 215-233. DOI:10.1016/S0921-8009(99)00009-9
- MOURA, A., D. BOAVENTURA, J. CÚRDIA, S. CARVALHO, P. PEREIRA, L. CANCELDA DA FONSECA, F. M. LEITAO, M.N. SANTOS & C.C. MONTEIRO. 2004. Benthic succession on an artificial reef in the South of Portugal-Preliminary results. *Revista Biológica (Lisboa)* 22: 169-181.
- ORTEGA, M. M., J. L. GODÍNEZ & G. GARDUÑO. 2001. *Catálogo de algas bentónicas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 594 p.

- ORTH, R. J., T. J. B. CARRUTHERS, W. C. DENNISON, C. M. DUARTE, J. W. FOUR-  
 QUREAN, K. L. HECK JR., A. R. HUGHES, G. A. KENDRICK, W. J. KENWORTHY,  
 S. OLYARNIK, F. T. SHORT, M. WAYCOTT & S. L. WILLIAMS. 2006. A global  
 crisis for seagrass ecosystem. *BioScience* 56: 987-996. DOI:  
 10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2
- ORTIZ-LOZANO, L. 2012. Identification of priority conservation actions  
 in marine protected areas: using a causal networks approach.  
*Ocean & Coastal Management* 55: 74-83. DOI: 10.1016/j.oce-  
 coaman.2011.10.013
- ORTIZ-LOZANO, L., H. PÉREZ-ESPAÑA, A. GRANADOS-BARBA, C. GONZÁLEZ-GÁNDARA,  
 A. GUTIÉRREZ-VELÁZQUEZ & J. MARTOS. 2013. The reef corridor of the  
 Southwest Gulf of Mexico: challenges for its management and con-  
 servation. *Ocean & Coastal Management* 86: 22-32. DOI: 10.1016/j.  
 ocecoaman.2013.10.006
- PÉREZ-ESPAÑA, H. & J. M. VARGAS-HERNÁNDEZ. 2008. *Caracterización ecoló-  
 gica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera Etapa*.  
 Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías. Informe final SNIB-  
 CONABIO proyecto No. DM002. México, 70 p.
- SALAS-PÉREZ, J. J. & A. GRANADOS-BARBA. 2008. Oceanographic characteri-  
 zation of the Veracruz reefs system. *Atmósfera* 21: 281-301. [http://  
 www.redalyc.org/articulo.oa?id=56512098005](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56512098005)
- SCHUHMACHER, H. 1977. Initial phases in reef development, studied at arti-  
 ficial reef types off Eilat, (Red Sea). *Helgoländer wissenschaftliche  
 Meeresuntersuchungen* 30: 400-411.
- THANNER, S. E., T. L. McINTOSH & S. M. BLAIR. 2006. Development of ben-  
 thic and fish assemblages on artificial reef materials compared to  
 adjacent natural reef assemblages in Miami-Dade County, Florida.  
*Bulletin Marine of Science* 78: 57-70. [http://www.ingentaconnect.  
 com/contentone/umrsmas/bullmar/2006/00000078/00000001/  
 art00006](http://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bullmar/2006/00000078/00000001/art00006)
- TSUDA, R. T. & I. A. ABBOTT. 1985. Collection, handling, preservation and  
 logistics. In: Littler, M. M & D. S. Littler (Eds). *Handbook of phyco-  
 logical methods. Ecological Field Methods: Macroalgae*. Cambridge  
 University Press, pp. 67-86.
- VALADEZ-ROCHA, V. & L. ORTIZ-LOZANO. 2013. Spatial and temporal effects of  
 port facilities expansion on the surface area of shallow coral reefs.  
*Environmental Management* 52: 250-260. DOI: 10.1007/s00267-  
 013-0098-5
- WALKER, S. J., T. A. SCHLACHER & M. A. SCHLACHER-HOENLINGER. 2007. Spatial  
 heterogeneity of epibenthos on artificial reefs: fouling communities  
 in the early stages of colonization on an East Australian shipwreck.  
*Marine Ecology* 28:1-11. DOI: 10.1111/j.1439-0485.2007.00193.x
- WAYCOTT, M., C. M. DUARTE, T. J. B. CARRUTHERS, R. J. ORTH, W. C. DENNISON,  
 S. OLYARNIK, A. CALLADINE, J. W. FOURQUREAN, K. L. HECK JR., A. R. HUGHES,  
 G. A. KENDRICK, W. J. KENWORTHY, F. T. SHORT & S. L. WILLIAMS. 2009. Ac-  
 celerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal  
 ecosystems. *Proceeding of the National Academy of Sciences* 106:  
 12377-12381. DOI: 10.1073/pnas.0905620106
- WYNNE, M. J. 2011. A checklist of benthic marine algae of the tropical  
 and subtropical western Atlantic: third revision. *Nova Hedwigia Bei-  
 heft* 140: 1-166.

**Recibido:** 19 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 09 de abril de 2016.



## Tratamiento subcrónico en ratones diabéticos con *Caulerpa sertularioides* (Chlorophyta) y *Spyridia filamentosa* (Rhodophyta)

### Sub-chronic treatment in diabetic mice with *Caulerpa sertularioides* (Chlorophyta) and *Spyridia filamentosa* (Rhodophyta)

Ramón Ulises García Granados<sup>1</sup>, Francisco Alarcón Aguilar<sup>2</sup>, Margarita Gallegos Martínez<sup>3</sup> y Graciela De Lara-Isassi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Fisiología Aplicada, Departamento de Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI). Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, CDMX, 09340. México

<sup>2</sup>Laboratorio de Farmacología, Departamento de Ciencias de la Salud. UAMI. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, CDMX, 09340. México

<sup>3</sup>Laboratorio de Pastos Marinos. Departamento de Hidrobiología. UAMI. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, CDMX, 09340. México  
e-mail: grace@xanum.uam.mx

García Granados R. U., F. Alarcón Aguilar, M. Gallegos Martínez y G. De Lara-Isassi. 2016. Tratamiento subcrónico en ratones diabéticos con *Caulerpa sertularioides* (Chlorophyta) y *Spyridia filamentosa* (Rhodophyta). *Hidrobiológica* 26 (2): 269-276.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** Las algas son una fuente potencial de compuestos naturales con actividad biológica diversa. En particular, se ha reportado que las algas pueden contener compuestos hipoglucemiantes e hipolipidémicos, por lo que representan una alternativa para el control de la diabetes mellitus, enfermedad con los más altos índices de prevalencia y mortalidad en México. **Objetivos.** Determinar el efecto hipoglucémico e hipolipidémico de los extractos de dos especies algales (*Caulerpa sertularioides* y *Spyridia filamentosa*) a través de un estudio subcrónico en un modelo murino de diabetes experimental. **Métodos.** Los extractos se administraron por vía oral durante 30 días a ratones con diabetes experimental (50 mg/kg/día), usando solución salina isotónica y glibenclamida (5 mg/kg/día) como controles. Al final de los tratamientos se midió glucosa, colesterol total, triglicéridos, aspartato aminotransferasa y alanina aminotransferasa. **Resultados.** Se observó que las dos especies algales reducen de manera significativa la glucemia, aunque también producen alteraciones en los lípidos sanguíneos. Los niveles de transaminasas permanecieron sin cambios, indicando ausencia de hepatotoxicidad. **Conclusiones.** Ambas especies representan una alternativa como fuente de nuevos fármacos para el control de la diabetes mellitus.

**Palabras clave:** Agentes hipoglucemiantes, *Caulerpa sertularioides*, diabetes mellitus, macroalgas marinas, *Spyridia filamentosa*.

#### ABSTRACT

**Background.** Algae are a potential source of natural compounds with diverse biological activities. It has been reported that algae may contain hypoglycemic and hypolipidemic compounds, and are an alternative to diabetes mellitus controls, a disease with very high rates of prevalence and mortality in Mexico. **Goals.** The objective of this research was to determine the hypoglycemic and hypolipidemic effects of extracts from two algal species (*Caulerpa sertularioides* and *Spyridia filamentosa*) through a sub-chronic study in a murine model of experimental diabetes. **Methods.** The algal extracts were administered by gavage during 30 days to diabetic mice (50 mg/kg/day), using saline isotonic solution and glibenclamide (5 mg/kg/day) as controls. At the end of the experiment glucose, total cholesterol, triglycerides and liver transaminases (aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase) were measured. **Results.** It was observed that these two algal species have significant hypoglycemic effect, causing alterations in the lipid levels. The extracts did not show changes in transaminases nor other signs of toxicity. **Conclusions.** Both species represent an alternative as a source of new agents for controlling diabetes mellitus.

**Key words:** *Caulerpa sertularioides*, diabetes mellitus, hypoglycemic agents, marine macroalgae, *Spyridia filamentosa*.

## INTRODUCCIÓN

Las algas marinas se han convertido en centro de atención debido a que son una fuente de compuestos naturales con efectos benéficos para la salud humana (Marfaing & Lerat, 2007). En varios países asiáticos, las algas son usadas como medicina alternativa para el control de la diabetes mellitus y en la prevención de complicaciones vasculares, padecimientos con los mayores índices de prevalencia y mortalidad a nivel mundial, incluido México (Aguilar-Salinas *et al.*, 2001; ADA, 2006; Bakri, 2007; Hu *et al.*, 2004; King *et al.*, 1998; Lerman & Rull-Rodrigo, 2001). Por ejemplo el rizoides de la alga marina *Laminaria japonica* Areschoug, conocida de forma coloquial como Kelp japonés, se usa de manera tradicional en el tratamiento de la diabetes mellitus. En los últimos años también se ha demostrado que esta alga posee varias actividades biológicas: es hipotensora (Chiu & Fung, 1997), antimutagénica (Okai & Nakamura, 1993) y antioxidante (Lee *et al.*, 1999). Otras investigaciones, además han reportado que las algas pueden influir en el control de la glucemia, ser eficaces en la reducción de lípidos sanguíneos y mejorar la actividad de enzimas antioxidantes (Ara *et al.*, 2002; Lamela *et al.*, 1989; Kim *et al.*, 2009; Kiriya *et al.*, 1968; Nishide & Uchida, 2003).

Desde el punto de vista químico de los productos naturales, se sabe que las algas marinas contienen metabolitos secundarios de diversa índole, principalmente ácidos grasos poliinsaturados, polisacáridos (agar, carragenanos, ácido alginico y fucanos) y esteroides (fucosterol, desmosterol, sargasterol, estigmasterol y beta sitosterol), los cuales se han asociado con diversas actividades biológicas (antibacteriana, antimicótica, antioxidante, anticoagulante y antineoplásica, entre otras) (Rodríguez *et al.*, 1995; Nishide & Uchida, 2003; Yuan *et al.*, 2005).

Algunas algas comestibles también pueden contener cantidades apreciables de polifenoles, los cuales se caracterizan por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Rodríguez-Bernaldo de Quiroz *et al.*, 2010), incluso son capaces de inhibir diferentes tipos de enzimas glicolíticas, como la  $\alpha$ -amilasa y la  $\alpha$ -glucosidasa (Nwosu *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2009), con lo que de esta manera se previene el desarrollo de las complicaciones diabéticas (Lee *et al.*, 2010, 2008; Zhang *et al.*, 2007; Iwai, 2008; Apostolidis & Lee, 2010).

Las algas marinas son un recurso abundante en los mares mexicanos: sin embargo, hasta ahora no se ha prestado suficiente atención a su papel como fuente potencial para el desarrollo de fármacos y, aunque en México se han evaluado farmacológicamente algunas especies de macroalgas marinas (De Lara-Isassi, 1986, 1991, 1995; De Lara-Isassi & Lozano 1992; De Lara-Isassi & Álvarez-Hernández, 1994, 1995, 1998; De Lara-Isassi *et al.*, 1989, 1993, 1996, 1999), aún no se han llevado a cabo estudios relacionados con la diabetes mellitus.

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto hipoglucémico e hipolipidémico de los extractos de *Caulerpa sertularioides* (Gmelin) M. A. Howe (Chlorophyta) UAMIZ 444 y *Spyridia filamentosa* (Wulfen) Harvey (Rhodophyta) UAMIZ s/n, con base en un estudio subcrónico en un modelo murino de diabetes experimental.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Material biológico y obtención de extractos.** La recolección del material ficológico se realizó en el estado de Campeche en las localidades de Isla Blanquilla y del Ranchito, en época de secas. Se hizo de forma manual. Las muestras se lavaron con agua de mar y posteriormente se

colocaron en bolsas Ziploc con poca agua y sin sedimentos, asignándose el número de colecta correspondiente a la estación donde fueron recolectadas, se preservaron dentro de una hielera a 4°C. En el laboratorio todas las muestras colectadas se conservaron a una temperatura de -20°C hasta el día de su procesamiento.

Cuando se procesaron, se descongelaron de forma paulatina, a temperatura ambiente, dentro de cristalizadores con un volumen de 1 L. Ya descongeladas se lavaron con agua del grifo para desechar en su totalidad los sedimentos acumulados en los talos; con ayuda de unas pinzas de disección, se revisó talo por talo y se removieron toda clase de impurezas y organismos epífitos. Terminando este proceso, se extendió cada muestra sobre láminas de unicel forradas de plástico; con ayuda de toallas absorbentes se eliminó el exceso de humedad para después secarlas en una campana de extracción protegida de la luz y del polvo, con aireación constante y a temperatura ambiente durante una semana, de acuerdo con la metodología convencional previamente reportada para el secado de plantas medicinales (Díaz-Flores *et al.*, 2002; Román-Ramos *et al.*, 2012; Bonilla *et al.*, 2015). Las algas se molieron en un molino comercial para café de acero inoxidable; el material así obtenido se pesó y guardó en sobres de papel aluminio, dentro de bolsas de plástico (marca Ziploc), etiquetadas con el número de muestra, localidad y peso final. Estas se pusieron dentro de bolsas de papel para resguardarlas de la luz, la humedad y el calor. Posteriormente se pesaron 40 g del material molido de cada especie y se colocaron dentro de un matraz con 500 ml con agua destilada; se agitó la solución durante 15 minutos y se colocó durante 10 minutos a 80°C. El extracto se incubó a 4 °C durante 24 h en un matraz cubierto con papel aluminio para evitar la oxidación. Después del periodo de incubación las muestras se filtraron. Cada uno de los extractos se colocó en un refractario de cristal, cubierto de plástico auto-adherible con perforaciones en su superficie, dentro de la campana de extracción, para facilitar la evaporación. Al término de este proceso cada muestra se recuperó con la ayuda de una espátula de metal. El polvo resultante se pesó y se guardó dentro de frascos de plástico color ámbar, previamente etiquetados, conservándolos a una temperatura de 4°C. Los rendimientos de los extractos de *C. sertularioides* y de *S. filamentosa* fueron de 13.8% y 12.5%, respectivamente.

**Estudio subcrónico en animales de experimentación.** El manejo zosanitario, cuidado y estudio se realizó bajo la Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999) "Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio"; y se respetó en todo momento la bioética para la realización de esta serie de experimentos. El bioensayo se realizó de acuerdo con la metodología modificada de Díaz-Flores *et al.* (2012). Ratones machos (*Mus musculus* Linnaeus, 1758), cepa CD-1 de 8 semanas de nacidos, con peso de 30 a 40 g, recibieron por vía intraperitoneal estreptozotocina (175 mg/kg). Después de una semana, con estos animales se formaron cuatro grupos de ocho individuos cada uno. Los grupos 1 y 2 se usaron como controles positivo y negativo, respectivamente. Al grupo 1 se le suministró solución salina isotónica (0.9% a razón de 4 ml/kg/día); al grupo 2 glibenclámid (5 mg/kg/día); al grupo 3, el extracto de *Caulerpa sertularioides* (50 mg/kg/día) y al grupo 4, el extracto de *Spyridia filamentosa* (50 mg/kg/día). Todos los tratamientos fueron administrados diariamente por vía intragástrica durante 30 días, a la misma hora. Posteriormente se elaboró un perfil bioquímico, para determinar niveles de glucosa, colesterol, triglicéridos y las enzimas hepáticas aspartato aminotransferasa (AST o GOT) y alanina aminotransferasa (ALT o GPT), éstas últimas con la finalidad de detectar algún grado de toxicidad.

La cuantificación de glucosa se basó en la medición de corriente eléctrica (Amperes), generada por la conversión de glucosa en gluconolactona por la enzima glucosa deshidrogenasa (*Accu-Check Sensor Comfort*). Por su parte, los niveles de colesterol total, triglicérido, GOT y GPT, de las muestras sanguíneas obtenidas por punción del seno orbital del ojo del ratón, se cuantificaron mediante el sistema Reflotron Plus (*Roche Diagnostics*).

**Análisis estadístico.** Los resultados se reportan como media  $\pm$  el error estándar de la media ( $n=8$ ). Para evaluar la significancia estadística de los datos se realizó un análisis de varianza, con una prueba *post hoc* de Tukey-Kramer con un nivel mínimo de significancia del 95% y se usó el paquete estadístico IBM-SPSS/22.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos con respecto a la glucemia muestran que los extractos de ambas especies algales causan reducciones significativas ( $p < 0.05$ ) tanto en relación a su glucemia inicial como con respecto a los controles (positivo y negativo) después de 30 días de tratamiento, mostrando actividad hipoglucemiante evidente (Fig. 1).

Las figuras 2 y 3 muestran el efecto de los extractos algales sobre los niveles de colesterol y triglicéridos, respectivamente. Se observaron aumentos significativos ( $p < 0.05$ ) tanto en los niveles de colesterol durante el tratamiento con *Spyridia filamentosa*, y en los niveles de los triglicéridos con el extracto de *Caulerpa sertularioides*, en ambos casos con respecto al control positivo que recibió solución salina isotónica (SSI).

En relación con las enzimas transaminasas (aspartato aminotransferasa o GOT y alanina aminotransferasa o GPT), éstas no fueron estadísticamente modificadas por los tratamientos, con respecto al control positivo (Figs. 4-5, respectivamente).

## DISCUSIÓN

Desde el siglo pasado las macroalgas marinas se reconocieron como una de las fuentes más ricas en compuestos bioactivos, gracias a una considerable serie de análisis e investigaciones en donde fueron descubiertas las múltiples actividades biológicas de sus compuestos (Blunt *et al.*, 2006).

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran cierta similitud con estudios previos realizados por diferentes grupos de trabajo en relación con el potencial farmacológico de estos recursos, ya que fue posible detectar el efecto hipoglucémico significativo con ambas especies algales, efecto que resultó ser mayor que el producido por la glibenclamida, hipoglucemiante oral tipo sulfonilurea más empleado en la clínica para el tratamiento de la diabetes mellitus.

Como se mencionó, la información disponible reporta que las macroalgas marinas pueden contener compuestos polifenólicos con actividad inhibitoria de glucosidasas, enzimas encargadas de metabolizar carbohidratos a nivel intestinal (Kurihara *et al.*, 1999). La inhibición de estas enzimas reduce la absorción de carbohidratos, decreciendo el incremento postprandial de glucosa en sangre (Rajeswari *et al.*, 1991), con beneficios importantes para los pacientes con diabetes.

Por otro lado, también se ha reportado que los polifenoles de macroalgas marinas podrían estimular la captación de glucosa a nivel periférico (Iwai, 2008; Zhang *et al.*, 2007). Aunque el contenido de polifenoles totales no fue determinado en esta investigación, estudios preliminares aún no publicados de un grupo de investigación cercano, lograron determinar con el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, que *Caulerpa sertularioides* y *Spyridia filamentosa* contienen 38 y 71  $\mu\text{g}$  de polifenoles totales/ml de extracto, respectivamente. Sin embargo, con los datos obtenidos hasta ahora aún no es posible afirmar que la actividad hipoglucemiante producida por las dos especies algales usadas en la presente investigación se deba a su contenido de este tipo de compuestos. Burritt *et al.* (2002) sugieren que la ausencia

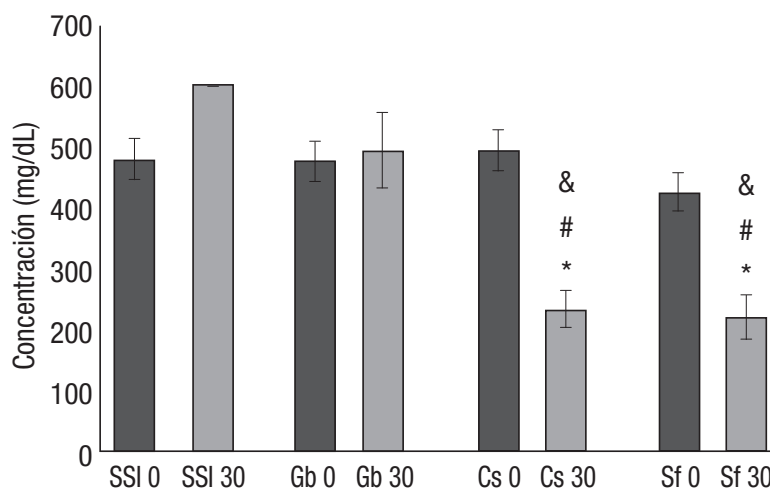


Figura 1. Niveles de Glucosa en ratones diabéticos al inicio (0) y a un mes de tratamiento (30 días) con extractos de *Caulerpa sertularioides* y *Spyridia filamentosa* (50 mg/kg/día). #=diferencia significativa respecto a SSI. \*=diferencia significativa respecto al tratamiento con *C. sertularioides*. &=diferencia significativa respecto al tratamiento con *S. filamentosa*. Control positivo=SSI solución salina isotónica (0.9%). Control negativo=Gb glibenclamida (5 mg/Kg). Cs=*C. sertularioides*. Sf=*S. filamentosa*.

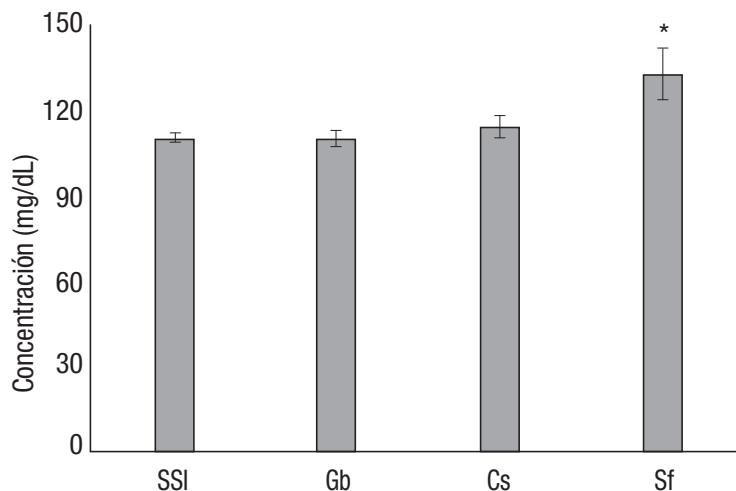


Figura 2. Niveles de colesterol alcanzados con los extractos de *Caulerpa sertularioides* (50 mg/kg/día) y *Spiridia filamentosa* (50 mg/kg/día) en ratones diabéticos. Control positivo=SSI solución salina isotónica (0.9%). Control negativo=Gb glibenclamida (5 mg/Kg). Cs=*C. sertularioides*. Sf=*S. filamentosa*.

de daño oxidativo en los componentes estructurales de las macroalgas marinas y su estabilidad frente a condiciones adversas, como el entorno marino, se pueden deber a la presencia de polifenoles presentes en dichas algas.

Cabe señalar que en los trabajos consultados no se encontraron resultados semejantes a los obtenidos en esta investigación respecto a las dos especies estudiadas, ya que las algas que más se han investigado para conocer su efecto hipoglucémico son las Phaeophyceae, por la gran cantidad de polifenoles que contienen (Iwai, 2008, Lee *et al.*, 2008, 2010; Kim *et al.*, 2014).

En los análisis de los niveles de lípidos en sangre se encontró un aumento del colesterol durante el tratamiento con *S. filamentosa*

y un aumento de triglicéridos en el tratamiento con *C. sertularioides*. Aunque estos resultados son contradictorios a los reportados con *Caulerpa lentillifera* J. Agardh y *C. racemosa* (Forsskål) J. Agardh especies que reducen los niveles de colesterol, triglicéridos y lipoproteínas de baja densidad en un modelo murino de hiperlipidemia (Matanjun *et al.*, 2010), es probable que estas diferencias en el efecto sobre los lípidos sanguíneos sean debido a que se usaron modelos diferentes; en esta investigación se trabajó con un modelo murino con diabetes experimental, el cual no desarrolló hipercolesterolemia ni hipertrigliceridemia. Esto es importante porque en muchas ocasiones es necesario que en los modelos experimentales esté bien establecida la patología para que las sustancias activas potenciales puedan ejercer su acción y puedan ser observables sus efectos farmacológicos.

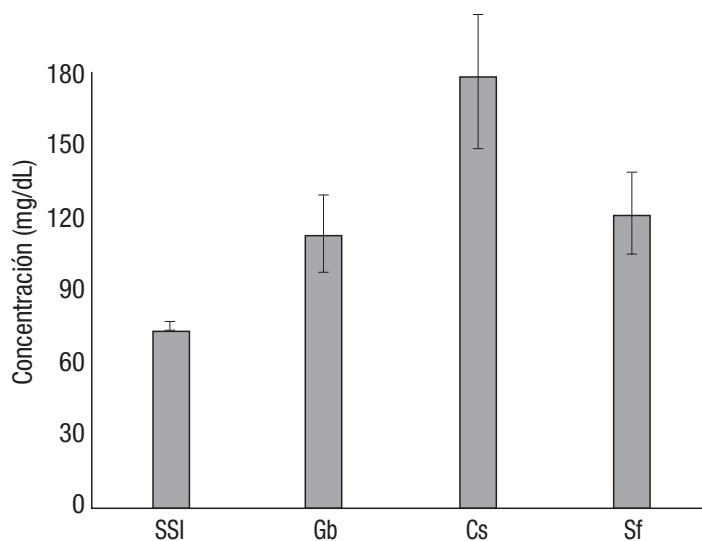


Figura 3. Niveles de triglicéridos con extractos de *Caulerpa sertularioides* (50 mg/kg/día) y *Spiridia filamentosa* (50 mg/Kg) en ratones diabéticos. Control positivo=SSI solución salina isotónica (0.9%). Control negativo=Gb glibenclamida (5 mg/kg/día). Cs=*C. sertularioides*. Sf=*S. filamentosa*.



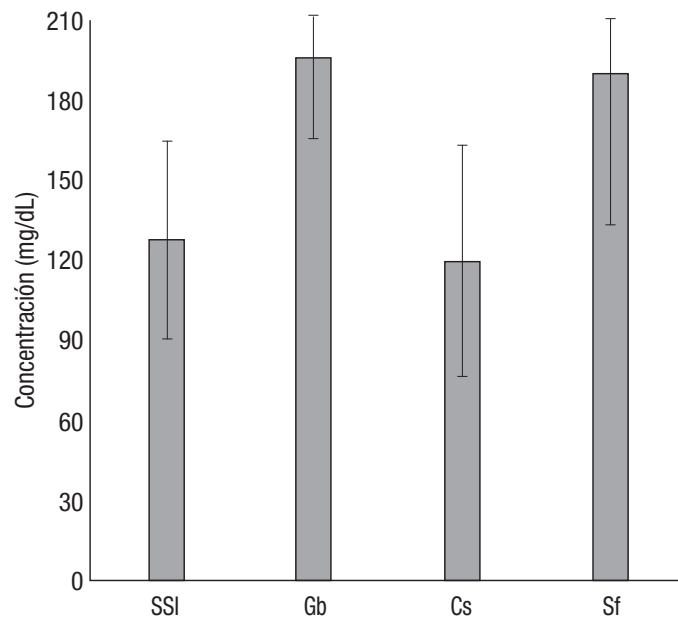


Figura 4. Niveles de GOT con extractos de *Caulerpa sertularioides* (50 mg/kg/día) y *Spiridia filamentosa* (50 mg/kg) en ratones diabéticos. Control positivo=SSI solución salina isotónica (0.9%). Control negativo=Gb glibenclamida (5 mg/kg/día). Cs=*C. sertularioides*. Sf=*S. filamentosa*.

Los extractos de *C. sertularioides* y *S. filamentosa* no mostraron ser tóxicos al evaluar los niveles de ambas transaminasas durante el periodo que duró el bioensayo, ya que no fueron modificadas significativamente. Lo anterior, tomando en cuenta que un incremento en los niveles de GOT y GPT es indicativo de hepatotoxicidad (McAnuff *et al.*, 2003). Cabe recordar que, de acuerdo con Danneman *et al.* (2012), el intervalo normal de aspartato aminotransferasa es 69-191 UI/l, mientras el de alanina aminotransferasa es 26-120 UI/l en el modelo murino. Los valores encontrados con los tratamientos algales

en estos parámetros cayeron dentro de estos rangos, sin detectarse signos de toxicidad. Además, aunque no fue posible observar de manera macroscópica aparatos y sistemas en los grupos experimentales durante el estudio, tampoco se observaron cambios conductuales ni algún otro síntoma que pudiera ser indicativo de intoxicación por la administración de los tratamientos, siempre se comportaron dentro de los parámetros normales. De cualquier manera, un análisis histológico para confirmar estas observaciones, es obligatorio en futuros estudios con estos extractos.

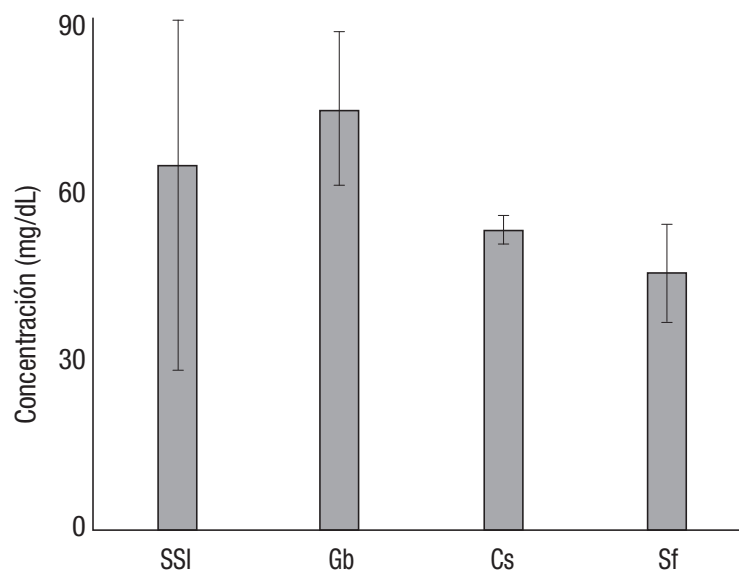


Figura 5. Niveles de GPT con extractos de *Caulerpa sertularioides* (50 mg/kg/día) y *Spiridia filamentosa* (50 mg/kg/día) en ratones diabéticos. Control positivo=SSI solución salina isotónica (0.9%). Control negativo=Gb glibenclamida (5 mg/Kg) , Cs=*C. sertularioides*. Sf=*S. filamentosa*.

Los tratamientos con las macroalgas evidenciaron niveles bajos de GPT, quizá debido a la presencia de estructuras fenólicas con efectos hepatoprotectores, una actividad biológica reportada en modelos experimentales tras la administración oral de extractos de macroalgas de la División Heterokontophyta (*Sargassum polycystum* C. Agardh, *S. henslowianum* C. Agardh y *S. siliquastrum* (Mertens ex Turner) C. Agardh). Por lo tanto, existe la posibilidad de que los extractos acuosos de las especies usadas en este estudio tengan un efecto hepatoprotector similar al reportado para otras especies (Wong *et al.*, 2004).

La actividad hipoglucemiante y la nula toxicidad observadas con estas especies les confiere un uso potencial como fuente de fármacos para el control de la diabetes mellitus, aunque antes deben de ser sometidas a estudios químicos y farmacológicos más específicos, con la finalidad de identificar las moléculas responsables de los efectos benéficos encontrados en esta investigación y elucidar sus mecanismos de acción.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dra. Margarita Elizabeth Gallegos Martínez, coordinadora del proyecto "Indicadores del estado de las comunidades de pastos marinos, en la costa del Golfo de México" dentro del cual se colectaron las muestras. También al Instituto Nacional de Ecología (INE) por el financiamiento de dicho proyecto.

### REFERENCIAS

- AGUILAR-SALINAS, C. A., C., VÁZQUEZ-CHÁVEZ, R. GAMBOA-MARRUFO, N. GARCÍA-SOTO, J. RÍOS-GONZÁLEZ & R. HOLGUÍN. 2001. Prevalence of obesity, diabetes, hypertension and tobacco consumption in an urban adult Mexican population. *Archives of Medical Research* 32: 446-453. DOI: 10.1016/S0188-4409(01)00300-9
- ADA (American Diabetes Association). 2006. Standards of medical care in diabetes. *Diabetes Care* 29: 4-42.
- APOSTOLIDIS, E. & C. M. LEE. 2010. In Vitro Potential of *Ascophyllum nodosum* Phenolic Antioxidant-Mediated  $\alpha$ -Glucosidase and  $\alpha$ -Amylase Inhibition: *Journal of Food Science* 75 (3): 97-102. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01544.x.
- ARA, J., V. SULTANA & V. U. QASIM RAHMAD 2002. Hypolipidaemic activity of seaweed from Karachi coast. *Phytotherapy Research* 16: 479-483. DOI: 10.1002/ptr.909
- BAKRI, R. 2007. Diabetes mellitus among adults aged 30 years and above. Diabetes Epidemic in Malaysia: Second National Health and Morbidity Survey Diabetes. *Public Health Institute* 9. Available on line at: <http://www.diabetes.org.my/article.php?aid=63> (Downloaded June 2014).
- BLUNT J. W., COPP B. R., MUNRO M. H. G., NORTHCOTE P. T. & M. R. PRINSEP. 2006. Marine natural products. *Natural Products Reports*. 23: 26-78. DOI: 10.1039/B516554G
- BONILLA, J. H., C. G. GUADARRAMA, A. F. J. ALARCÓN, M. O. LIMÓN & P. G. VÁZQUEZ 2015. Antidepressant-like activity of *Tagetes lucida* Cav. is mediated by 5-HT<sub>1A</sub> and 5-HT<sub>2A</sub> receptors. 2015. *Journal of Natural Medicines* 463-470. DOI: 10.1007/s11418-015-0909-5.
- BURRITT, D. J., J. LARKINDALE & K. HURD. 2002. Antioxidant metabolism in the intertidal red seaweed *Stictosiphonia arbuscula* following desiccation. *Planta*. 215:829-838.
- CHIU, K. W. & A. Y. L. FUNG. 1997. The cardiovascular effects of green beans (*Phaseolus aureus*), common rue (*Ruta graveolens*), and kelp (*Laminaria japonica*) in rats. *General Pharmacology* 29: 859-862. DOI: 10.1016/S0306-3623(97)00001-3
- DANNEMAN, P. J., M. A. SUCKOW & B. CORY. 2012. The Laboratory Mouse. CRC Press. 184 p. DOI: 10.1002/9781444318777.ch21
- DE LARA-ISASSI, G. 1986. El Mar: Una fuente potencial de medicamentos. *El Nacional*. México. *Revista Mexicana de Cultura* 185.
- DE LARA-ISASSI, G. 1991. "Propiedades antibióticas de algunas especies de algas marinas bentónicas". *Hidrobiológica* 1 (2): 21-28.
- DE LARA-ISASSI, G. 1995. Screening for toxic activity of some marine benthic algae. *Food Additives and Contaminants* 12 (3): 485-490. DOI: 10.1080/02652039509374334
- DE LARA-ISASSI, G. & C. LOZANO 1992. Actividad antibacteriana de algunas algas de la costa de Sonora y Sinaloa. *Memorias del IX Simposium Internacional de Biología Marina*: 43-46.
- DE LARA-ISASSI, G. & S. ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ. 1994. Actividad biológica de algunas macroalgas marinas Mexicanas. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 45: 51-60.
- DE LARA-ISASSI, G. & S. ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ. 1995. Propiedades anticoagulantes de extractos de algas marinas Mexicanas: *Halimeda discoidea* (Chlorophyta) con actividad semejante a la heparina. *Cryptogamie-Algologie* 16 (3): 199-205.
- DE LARA-ISASSI, G. & S. ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ 1998. Evaluación de la actividad anticoagulante de algas marinas presentes en las costas del Golfo de México y Caribe mexicano. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 49: 75-82.
- DE LARA-ISASSI, G., A. SOBRINO-FIGUEROA, C. LOZANO RAMÍREZ, M. E. PONCE MÁRQUEZ & K. DRECKMAN. 1989. Evaluación de la actividad antibiótica de las macroalgas de las costas de Michoacán, México. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente* 28 (1-2): 99-104.
- DE LARA-ISASSI, G., M. E. PONCE-MÁRQUEZ, N. HERNÁNDEZ SOTO & A. AGUILAR 1993. Actividad antibiótica de las algas marinas de las costas de Nayarit, Jalisco y Colima, México. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Católica del Norte. Chile. *Serie Ocasional* 2: 43-46.
- DE LARA-ISASSI, G., S. ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ & K. DRECKMANN 1996. Hemagglutinating activity in extracts of some Marine Mexican Algae. *Cryptogamie-Algologie* 17: 265-269.
- DE LARA-ISASSI, G., S. ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ, C. LOZANO-RAMÍREZ & N. HERNÁNDEZ-SOTO. 1999. Nuevas adiciones al conocimiento de la actividad an-

- tibiótica de macroalgas marinas mexicanas. *Hidrobiológica* 9 (2): 159-169.
- DÍAZ-FLORES, M., S. ÁNGELES-MEJÍA, L.A. BAIZA-GUTMAN, R. MEDINA-NAVARRO, D. HAN, J., S. KANG, R. CHOUÉ, H. KIM, K. LEEM, S. CHUNG, C. KIM & J. CHUNG. 2002. Free radical scavenging effect of *Diospyros kaki*, *Laminaria japonica* and *Undaria pinnatifida*. *Fitoterapia* 73: 710-712.
- HU, G., Q. QIAO, J. TUOMILEHTO, B. BALKAU, K. BORCH-JOHNSEN & K. PYORALA. 2004. Group DS. Prevalence of the metabolic syndrome and its relation to all-cause and cardiovascular mortality in nondiabetic European men and women. *Archives of Internal Medicine* 164: 1066-1076.
- IWAI, K. 2008. Anti-diabetic and antioxidant effects of polyphenols in brown alga *Ecklonia stolonifera* in genetically diabetic KK-A99 mice. *Plant Foods and Human Nutrition* 63: 163-169.
- KIM, A. R., T. S. SHIN, M. S. LEE, J. Y. PARK, K. E. PARK & N. Y. YOON. 2009. Isolation and identification of phlorotannins from *Ecklonia stolonifera* with antioxidant and anti-inflammatory properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 3483-3489. DOI: 10.1021/jf900820x
- KIM, S. Y., K. EUN-A, K. MIN-CHEOL, L. JI-HYEOK, Y. HYE-WON, L. JUNG-SUCK, L.TAE IL & J. YOU-JIN. 2014. Polyphenol-rich fraction from *Ecklonia cava* (a brown alga) processing by-product reduces LPS-induced inflammation *in vitro* and *in vivo* in a zebrafish model. *Algae* 29 (2):165-174. DOI: 10.4490/algae.2014.29.2.165
- KING, H., R. E. AUBERT & W. H. HERMAN. 1998. Global burden of diabetes, 1995-2025. *Diabetes Care* 21: 1414-1431.
- KIRIYAMA, S., Y. OKAZAKI & A. YOSHIDA. 1968. Hypocholesterolemic effect of polysaccharides and polysaccharide foodstuffs in cholesterol fed rats. *Journal of Nutrition* 97: 382-388.
- KURIHARA, H., T. MITANI, J. KAWABATA & K. TAKAHASHI 1999. Inhibitory potencies of bromophenols from Rhodomelaceae algae against  $\alpha$ -glucosidase activity. *Fishery Sciences*. 65: 300-303. DOI: 10.2331/fishsci.65.300
- LAMELA, M., J. AWCA, R. VILLAR, J. OTERO & J. M. CALLEJA. 1989. Hypoglycemic activity of several seaweed extracts. *Journal of Ethnopharmacology* 27: 35-43. DOI: 10.1016/0378-8741(89)90075-5
- LEE, K. B. B., M. BAE & M. JANG. 1999. Effect of sea tangle and metformin on lipid peroxide and antioxidants levels in diabetic rats. *Korean Journal of Nutrition* 32: 230-238.
- LEE, S. H., J. S. HAN, S. J. HEO, J. Y. HWANG & Y. J. JEON. 2010. Protective effects of dieckol isolated from *Ecklonia cava* against high glucose-induced oxidative stress in human umbilical endothelial cells. *Toxicology in Vitro* 24: 375-381. DOI: 10.1016/j.tiv.2009.11.002.
- LEE, S. H., Y. LI, F. KARADENIZ, M. M. KIM & S. K. KIM. 2008.  $\alpha$ -Glucosidase and  $\alpha$ -amylase inhibitory activities of phloroglucinol derivatives from edible marine brown alga, *Ecklonia cava*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 1552-1558. DOI: 10.1002/jsfa.5585
- LERMAN-GARBER, I. & J. A. RULL-RODRIGO. 2001. Epidemiology of diabetes in Mexico and associated coronary risk factors. *Israel Medical Association Journal* 3 (5): 369-373.
- MAFAING, H. & Y. LERAT. 2007. Les algues ont-elles une place en nutrition. *Phytothérapie* 5 (1): 2-5.
- Matanjun, P., S. Mohamed, M. Kharidah & M. Noordin. 2010. Comparison of cardiovascular protective effects of tropical seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillifera*, and *Sargassum polycystum*, on high-cholesterol/high-fat diet in rats. *Journal of Medicinal Food* 4: 792-800.
- McANUFF, M. A., F. O. OMORUYI, E. Y. MORRISON & H. N. ASEMOTA. 2003. Hepatic function enzymes and lipid peroxidation in streptozotocin induced diabetic rats fed bitter yam (*Dioscorea polygonoides*) steroidal saponin extract. *Diabetologia Croatica* 32: 17-22.
- NISHIDE, E. & H. UCHIDA. 2003. Effects of *Ulva* powder on the ingestion and excretion of cholesterol in rats. In: Chapman, A. R. O., R. J. Anderson, V. J. Vreeland & I. R. Davisons (Eds.). Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium. Oxford University Press, Oxford. pp. 165-168.
- NWOSU, F., J. MORRIS, V. A. LUND, D. STEWART, H. A. ROSS & G. J. McDougall. 2011. Anti-proliferative and potential anti-diabetic effects of phenolic-rich extracts from edible marine algae. *Food Chemistry* 126: 1006-1012.
- OKAI, Y., K. HIGASHI-OKAI & S-I. NAKAMURA. 1993. Identification of heterogenous antimutagenic activities in the extract of edible brown seaweeds, *Laminaria japonica* Makonbu and *Undaria pinnatifida* Wakame by the umu gene expression system in *Salmonella typhimurium* (TA1535/pSK1002). *Mutation Research* 303: 63-70. DOI: 10.1016/0165-7992(93)90096-E
- RAJESWARI, P., R. NATARAJAN, J. L. NADLER, D. KUMAR & V. K. KALRA. 1991. Glucose induces lipid peroxidation and inactivation of membrane-associated ion-transport enzymes in human erythrocytes *in vivo* and *in vitro*. *Journal of Cell Physiology* 149: 100-109. DOI: 10.1002/jcp.1041490113
- RODRÍGUEZ, B. M., D. S. CARRILLO, G. R. F. PÉREZ, G. E. ÁVILA & V. M. CASAS. 1995. Efecto sobre la calidad del huevo y cascarón al incluir algas marinas *Sargassum sinicola* y *Ulva lactuca* en raciones para ponedoras. XX Convención de la Asociación Nacional de Especialistas en Ciencias Avícolas. Acapulco, Guerrero, México.
- RODRÍGUEZ-BERNALDO DE QUIROZ, A., M. A. LAGE-YUSTY & J. LÓPEZ-HERNÁNDEZ. 2010. Determination of phenolic compounds in macroalgae for human consumption. *Food Chemistry* 121: 634-638. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.12.078
- ROMÁN-RAMOS, R., J. C. ALMANZA PÉREZ, A. FORTIS BARRERA, S. ÁNGELES-MEJÍA, T. R. BANDERAS-DORANTES, A. ZAMILPA-ÁLVAREZ, M. DÍAZ-FLORES, I. JASSO, G. BLANCAS-FLORES, J. GÓMEZ & F. J. ALARCÓN-AGUILAR. 2012. Antioxidant and anti-inflammatory effects of hypoglycemic fraction from *Cucurbita ficifolia* Bouche in streptozotocin-induced diabetes mice. *American Journal of Chinese Medicine* 40 (1): 97-110. DOI: 10.1142/S0192415X12500085

- WONG, C. K., E. C. VINCENT & P. O. ANG. 2004. Hepatoprotective effect of seaweeds' methanol extract against carbon tetrachloride-induced poisoning in rats. *Hydrobiologia* 512: 267-270. DOI:10.1023/B:HYDR.0000020336.06047.ac
- YUAN, Y. V., M. F. CARRINGTON & N. A. WALSH. 2005. Extracts from dulse (*Palmaria palmata*) are effective antioxidants and inhibitors of cell proliferation in vitro. *Food and Chemical Toxicology* 43: 1073-1081. DOI: 10.1016/j.fct.2005.02.012
- ZHANG, J., C. TILLER, J. SHEN, C. WANG, G. S. GIRORAUD & D. DENNIS. 2007. Antidiabetic properties of polysaccharide and polyphenolic-enriched fractions from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum*. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 85: 1115-1123. DOI: 10.1139/Y07-105

**Recibido:** 19 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 01 de abril de de 2016.



Effect of salinity on growth of the green alga *Caulerpa sertularioides* (Bryopsidales, Chlorophyta) under laboratory conditionsEfecto de la salinidad sobre el crecimiento del alga verde *Caulerpa sertularioides* (Bryopsidales, Chlorophyta) en condiciones de laboratorioZuleyma Mosquera-Murillo<sup>1</sup> and Enrique Javier Peña-Salamanca<sup>2</sup><sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Chocó, Facultad de Ciencias Básicas. Carrera 22 No.18 B-10, Quibdó, A. A. 292. Colombia<sup>2</sup>Universidad del Valle, Departamento de Biología. Calle 13 No.100-00, Cali, A.A. 25360. Colombia

e-mail: d-zuleyma.mosquera@utch.edu.co

---

Mosquera-Murillo Z. and E. J. Peña-Salamanca. 2016. Effect of salinity on growth of the green alga *Caulerpa sertularioides* (Bryopsidales, Chlorophyta) under laboratory conditions. *Hidrobiológica* 26 (2): 277-282.

**ABSTRACT**

**Background.** Salinity, temperature, nutrients, and light are considered essential parameters to explain growth and distribution of macroalgal assemblages in coastal zones. **Goals.** In order to evaluate the effect of salinity on the growth properties of *Caulerpa sertularioides*, we conducted this study under laboratory conditions to find out how salinity affects the distribution of this species in coastal tropical environments. **Methods.** Five ranges of salinity were used for the experiments (15, 20, 25, 30, and 35 ppt), simulating *in situ* salinity conditions on the south Pacific Coast of Colombia. The culture was grown in an environmental chamber with controlled temperature and illumination, and a 12:12 photoperiod. The following growth variables were measured weekly: wet biomass, stolon length (cm), number of new fronds and rhizomes. In the experimental cultures, growth (increase in wet biomass and stolon length) was calculated as the relative growth rate (RGR), expressed as a percentage of daily growth. **Results.** Significant differences ( $p < 0.001$ ) were found between 15 ppt and the remaining treatments (20, 25, 30, and 35 ppt). The highest growth rates were recorded at 25 ppt (4.82 % d<sup>-1</sup>), while at 15 ppt, whitening and progressive deterioration of *C. sertularioides* fragments were observed. These results are consistent with the natural habitat of *C. sertularioides* in Tumaco Bay (Nariño, Colombia), where it is found in areas with average salinities of 24 ppt during its annual cycle. **Conclusions.** The physiological responses obtained in this study will be valuable in exploring possible effects of environmental conditions on the growth and distribution of *Caulerpa* in tropical estuaries.

**Key words:** Algal growth, *Caulerpa sertularioides*, distribution, indoor culture, salinity.

**RESUMEN**

**Antecedentes.** Salinidad, temperatura, nutrientes y luz se consideran parámetros esenciales para explicar el crecimiento y la distribución de las comunidades de macroalgas en la zona costera. **Objetivos.** El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la salinidad sobre las propiedades de crecimiento de *Caulerpa sertularioides*. **Métodos.** Cinco rangos de salinidad fueron utilizados para los experimentos (15, 20, 25, 30 y 35 ppt), simulando las condiciones de salinidad encontradas en la costa del Pacífico sur de Colombia. El cultivo se realizó en una cámara ambiental con temperatura e iluminación controladas, manteniendo un fotoperiodo 12:12. Se midieron semanalmente variables tales como, biomasa húmeda, longitud estolón (cm), número de hojas nuevas y rizomas. En el laboratorio, el crecimiento se calculó como la tasa de crecimiento relativo (RGR), expresada como porcentaje de crecimiento diario. **Resultados.** Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) entre el tratamiento de 15 ppt y los restantes (20, 25, 30 y 35 ppt). Las tasas de crecimiento más altas se registraron a 25 ppt (4.82% d<sup>-1</sup>), mientras que a 15 ppt se observó blanqueamiento y el deterioro progresivo de los fragmentos de *C. sertularioides*. Estos resultados son consistentes con el hábitat natural de *C. sertularioides* en la Bahía de Tumaco (Nariño, Colombia), donde la especie se encuentra en áreas con salinidades promedio de 24 ppt en su ciclo anual. **Conclusiones.** Las respuestas fisiológicas obtenidas en este estudio son valiosas para explorar posibles efectos de las condiciones ambientales sobre el crecimiento y la distribución de *Caulerpa* en estuarios tropicales.

**Palabras clave:** *Caulerpa sertularioides*, crecimiento de algas, cultivos in vitro, distribución, salinidad.

## INTRODUCTION

Macroalgae of the *Caulerpa* genus (Chlorophyta: Bryopsidales) are of interest in the marine environment for several reasons. The high growth rates that some species exhibit, and their ability to propagate from asexual fragments have generated serious negative impacts on natural communities (Biber & Irlandi, 2006; Glardon *et al.*, 2008; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2012). Three species, *C. taxifolia* (M. Vahl) C. Agardh, *C. brachypus* Harvey and *C. racemosa* (Forsskål) J. Agardh, originally found in warm tropical waters grow rapidly and are therefore classified as invasive plants (Klüser *et al.*, 2004; Lapointe & Bedford, 2010). The factors that determine growth have been evaluated for several *Caulerpa* species (Khou *et al.*, 2007; Theil *et al.*, 2007; Burfeind & Udy, 2009; Guo *et al.*, 2015). Salinity and temperature, together with nutrients and light, are considered essential parameters for the further cultivation of seaweed on a large scale (Scrosati, 2001; Lapointe & Bedford, 2010). Furthermore, physiological responses of *Caulerpa* to those abiotic parameters are used to discuss the implications for the management of this green alga for possible invasions (West & West, 2007; Lirman *et al.*, 2014). Little is known, however, about the impact of salinity on the growth of *C. sertularioides* in tropical environments, such as the Colombian Pacific, where oceanographical conditions are constantly changing due to extensive river discharges and high precipitation patterns along the coast (Tejada *et al.*, 2003). Particularly, on the Pacific coast of Colombia, *C. sertularioides* inhabits intertidal and shallow subtidal areas (Peña, 1998; 2008). No seasonality of natural populations was registered; however, great biomass was observed during low rainfall season within creeks along the Bay of Tumaco (Marin & Peña, 2014). Unlike other species within this genus, such as *C. taxifolia* and *C. racemosa*, there are several studies that address their tolerance to different environmental conditions and their conditions as invasive plants (Piazzi *et al.*, 2001; Lirman *et al.*, 2014). Osmotic acclimatization in response to changes in salinity is a fundamental tolerance mechanism that conserves the stability of the intracellular medium and is therefore essential to maintain an efficient functional state in the cells (Kirst, 1990; Peña *et al.*, 1999; Ospina *et al.*, 2006). It has been suggested that algae can regulate their cell volume by modifying the internal water potential in response to changes in salinity (Gouldard *et al.*, 2001; Eggert *et al.*, 2007). Although most marine algae can tolerate fluctuations in salinity over the short term, large variations of this parameter can significantly affect some biochemical processes involved in photosynthesis and growth, altering the biomass, distribution, and productivity of a great number of species (Sousa *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2006; Theil *et al.*, 2007). Those results demonstrated the plasticity and adaptation of *Caulerpa* species to different salinity gradients compared to other siphonous algae and, therefore, their capacity to spread out in shallow coastal environments.

The aim of this study is to evaluate growth conditions under different salinity conditions of the green alga *C. sertularioides* and its effect on the distribution and colonization of the species in the estuary.

## MATERIALS AND METHODS

**Culture conditions and experimental design.** Fragments of *C. sertularioides* were brought from Tumaco Bay, Pacific coast of Colombia (1° 45' - 2° 00' N; 78° 30' - 78° 45' W). The bay comprises a 350 km<sup>2</sup> area with depths varying between 0 and 50 m (Tejada, 2002). Algal fragments were collected from the intertidal zone, during low tide and stored in paper towels moistened with seawater, packed in polyethylene

bags and stored in a polystyrene icebox until transportation to the laboratory, according to West and Calumpong (1988). Fragments were cleaned of other benthic materials (sand, shell fragments, etc.) and kept in an environmental chamber with average temperatures of  $27 \pm 0.37$  °C and controlled illumination ( $40\text{--}50 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A 12:12 cycle of light/darkness was maintained during two (2) weeks for their acclimation. Material for subsequent experiments was then selected from these fragments. Fragments of *C. sertularioides* consisted of a basal portion (stolon), rhizome and 3-4 erect axes (fronds); fresh weight was between 0.2 and 2.0 g and was calculated at the beginning of the experiments (West & West, 2007). Five ranges of salinity were used for the experiments (15, 20, 25, 30, and 35 ppt). These salinities were chosen after examination of historical data of salinity recorded for Tumaco Bay by the oceanographical and Hydrological Research Center of the Colombian Army at the Pacific coast, located in the Port of Tumaco (Tejada *et al.*, 2003). Six replicates of each salinity range were set up and the experiment was repeated twice, with a culture period of 4 (four) weeks each time, and measurements taken every 8 days. Mini-aquaria of 0.5 L capacity were filled with artificially filtered seawater enriched with Provasoli, stirred with aerators (modified by West & McBride, 1999) ( $10 \text{ ml L}^{-1}$ ), and changed weekly.

A one-way ANOVA (factor = salinity) was done to test for significant differences (5%) in total new growth. Data were tested for homogeneity of variances using Cochran's test. Where significant differences were found, Tukey's HSD test was used for means comparison. The R statistical package version 2.12.0 and SPSS 17.0 were used for the analyses.

**Analysis of algal growth.** The following growth variables were measured weekly: wet biomass, stolon length (cm), and number of new fronds and rhizomes. In the experimental cultures, growth (increase in wet biomass and stolon length) was calculated as the relative growth rate (RGR), expressed as percent daily growth, applying the following equation used by different authors (Areces, 1995; Anderson *et al.*, 1997; Marinho-Soriano *et al.*, 2002):  $\text{RGR} = [(W_f/W_i)^{1/t} - 1] \times 100$ , where RGR = relative growth rate,  $W_f$  = final wet weight, final length,  $W_i$  = initial wet weight, initial length;  $t$  = time interval elapsed between the two observations.

## RESULTS

Salinity had a significant effect on the growth of *C. sertularioides* ( $p < 0.001$ ; Table 1; Figs 1a- b) during the culture period. The highest growth rates in terms of wet biomass during the culture period occurred for salinities of 25 and 30 ppt, with mean values of  $2.262 \pm 0.242 \%$  d<sup>-1</sup> and  $1.408 \pm 0.215 \%$  d<sup>-1</sup>, respectively (mean  $\pm$  SD,  $n = 18$ ), that remained constant during the experiment. The lowest growth rates were recorded for salinities of 15 and 35 ppt, which had growth rates of around 1% d<sup>-1</sup> and lower. At a salinity of 15 ppt, growth rates were negative as a result of the progressive deterioration of the material at this salinity concentration (Fig. 1a).

The fragments of *C. sertularioides* cultivated at different salinity concentrations produced growth of the existing stolons and new stolons, except at 15 ppt salinity (Fig. 1b). The highest stolon growth rates were observed at salinity concentrations of 25 and 30 ppt, with average values of  $2.638 \pm 0.712 \%$  d<sup>-1</sup> and  $3.177 \pm 1.305 \%$  d<sup>-1</sup>, respectively (mean  $\pm$  SD,  $n = 18$ ). The lowest growth rates were observed at 15 ppt salinity ( $1.616 \pm 0.760 \%$  d<sup>-1</sup>).

Table 1. ANOVA results of differences in RGR (% d<sup>-1</sup>) of *C. sertularioides* fragments under different salinity ranges under laboratory conditions.

	Biomass				
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Salinity	4	176.8	44.20	15.54	1.89x10 <sup>-9</sup>
Time	1	0.03	0.03	0.011	0.9141
Salinity/Time	4	2.37	0.59	0.209	0.9327
Residuals	80	227.4	2.84		
	Stolon length				
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Salinity	4	136.1	34.04	6.34	0.000175***
Time	1	0.31	0.30	0.05	0.8114
Salinity/Time	4	22.3	5.58	1.04	0.3917
Residuals	80	429.5	5.36		

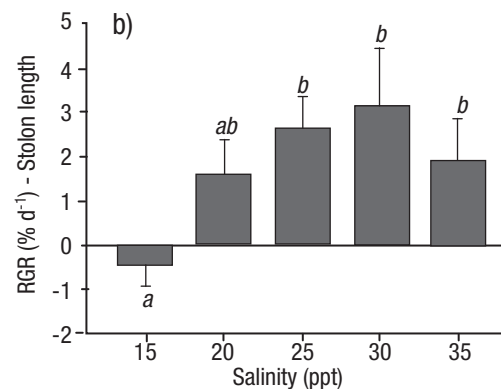
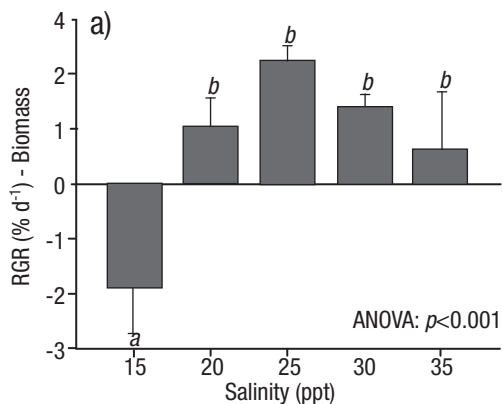
Significant codes (\*\*\*) = 0, (\*\*) = 0.001, (\*) = 0.01, (.) = 0.05. Significant difference = 0.01.

The appearance of new fronds and rhizomes was observed at all evaluated salinities, excepting 15 ppt salinity. The highest number of new fronds (mean = 2.111 ± 0.787) and rhizomes (mean = 5.111 ± 1.109) was obtained at 25 ppt. The lowest number of new fronds (mean = 1.111 ± 0.192) and rhizomes (mean = 1.167 ± 0.500) was obtained at 35 ppt.

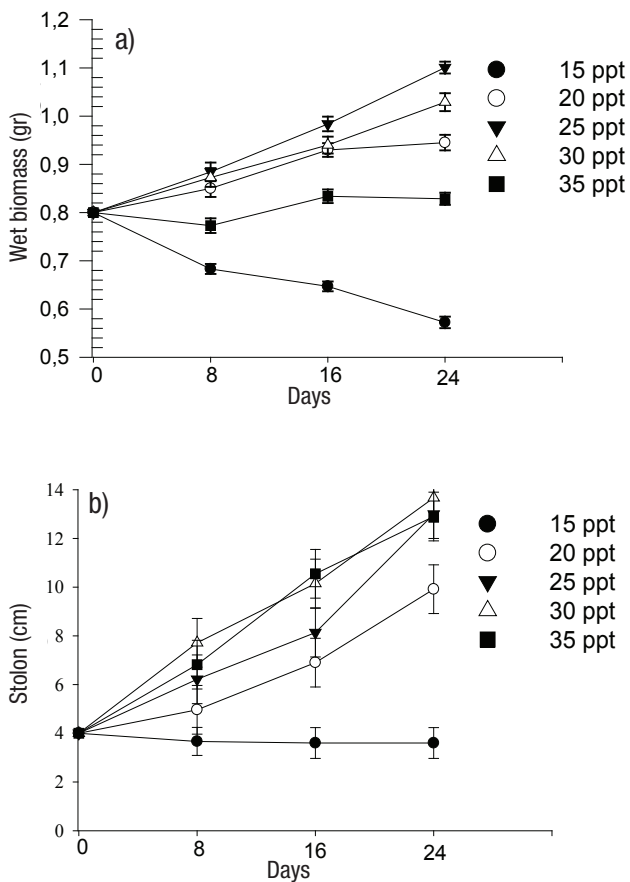
The daily growth rate, determined at three time intervals (Fig. 2), showed that, from the first week of culture, the relative growth rate of *C. sertularioides* varied under the different salinity concentrations evaluated. This behavior was constant during the culture period and was more obvious at salinities of 25 ppt and 30 ppt than at 15 and 35 ppt. During the 24 days of culture, growth rates of 4.82% d<sup>-1</sup> and 3.02% d<sup>-1</sup> were recorded at salinities of 25 and 30 ppt, respectively. At salinities of 20 and 35 ppt, growth rates of only 2.8% d<sup>-1</sup> and 2.6% d<sup>-1</sup> were observed.

## DISCUSSION

According to these experimental results, *C. sertularioides* growth was significantly affected by changes in salinity. Growth increased with salinities over 20 and up to 30 ppt; the best growth response was obtained at 25 ppt. Variations in salinity can significantly affect the growth, distribution, and productivity of macroalgae (Chesnes & Montague, 2001). These results are consistent with the natural habitat of *C. sertularioides* in Tumaco Bay (Nariño, Colombia), where it is found in areas with average salinities of 24 ppt during its annual cycle (Fig. 3). Indeed, higher biomass of *C. sertularioides* showed a direct relationship with seasonal variation of salinity in the study area (Marin & Peña, 2014). Salinity is clearly one of the key variables influencing abundance and distribution of macroalgal meadows in shallow coastal environments, and it is the factor most easily manipulated through management decisions (Biber & Irlandi, 2006; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2012; Lirman *et al.*, 2014).



Figures 1a-b. Effect of salinity on Relative Growth Rate (% d<sup>-1</sup>) of *C. sertularioides*. **a)** Biomass. **b)** Stolon length. Means and standard deviations are shown ( $n = 18$ ). Different letters represent significant differences between salinities as shown by Tukey's test,  $p < 0.05$ .



Figures 2a-b. Growth of *C. sertularioides* at different salinities (ppt). a) Increase in wet biomass (g). b) Increase in stolon length (cm). Error bars show SD ( $n = 18$ ).

Results of this study showed a progressive deterioration of *C. sertularioides* fragments at 15 ppt of salinity, demonstrating a negative growth rate in terms of biomass and stolon growth (Mosquera-Murillo, 2012). Other species of the *Caulerpa* genus, such as *C. taxifolia* (West & West, 2007) and *C. lentillifera* J. Agardh (Guo *et al.*, 2015), exhibit reduced chlorophyll content and decreased Fv/Fm values, which could be the result of a disorganization of the cellular structure and chloroplasts in turgid cells. The rapid growth of *C. sertularioides* at salinities above 20 ppt observed in this study, as well as its deterioration at lower salinities, has also been reported for other species in this genus, such as *C. taxifolia* (Biber & Irlandi, 2006; West & West, 2007; Theil *et al.*, 2007).

The fragments of *C. sertularioides* grown at higher salinity concentrations (35 ppt) also showed low growth rates ( $0.618 \pm 1.047 \% d^{-1}$ ), but maintained normal coloration. According to Kirst (1990), growth can be reduced near the salinity tolerance level in order to maintain osmotic regulation, which can guarantee survival. The reduction in growth can also be a consequence of the cumulative effect of enzymes and the reduction of turgidity pressure that inhibits cellular division (Lee & Liu, 1999; Liu *et al.*, 2000; Kamer & Fong, 2000). West and West (2007) reported optimal growth rates of *C. taxifolia* at salinities between 22.5 and 30 ppt, with null growth at lower salinities. (Liu & Phang, 2010). Increases and decreases in salinity generate stress in macroalgae, and species that are tolerant to these conditions present different strategies for growth (Liu *et al.* 2000; Ospina *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2010; Guo *et al.*, 2015).

These initial laboratory experiments demonstrated the effect of salinity changes on growth of *C. sertularioides*, and suggest that a range of experiments investigating other environmental factors, such as temperature, light, and nutrient conditions, would be beneficial in understanding the distribution of this species in the region.

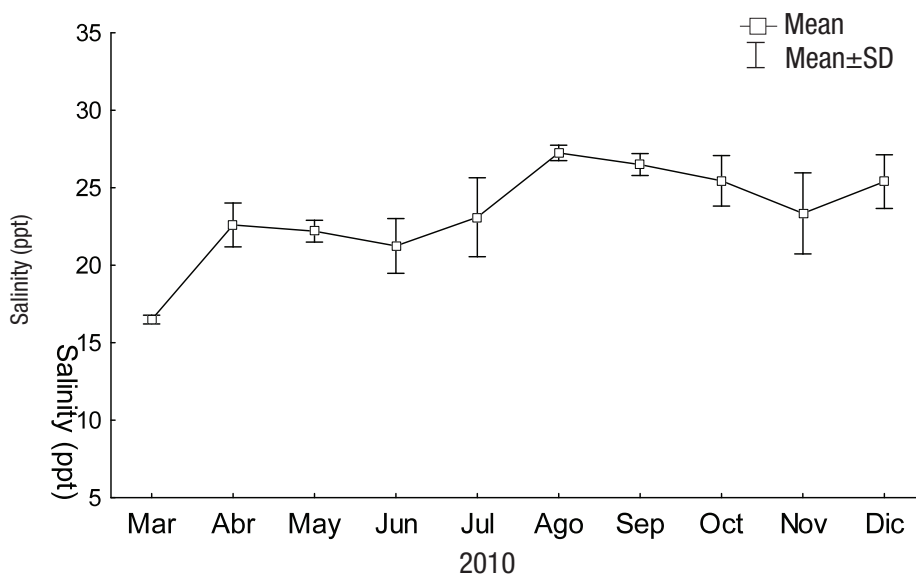


Figure 3. Salinity values recorded at sampling locations in Tumaco Bay (Nariño, Colombia), during 2010 (Marín & Peña, 2014).



## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was conducted as part of a project titled “Adaptation, growth and reproduction of promising species for productive development in the Colombian Pacific: Marine algae”, and supported by the Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación “COLCIENCIAS”, the University of Valle, and the AGROMARINA Shrimp Company. The authors thank the company’s field personnel and gratefully acknowledge biologist Hernel Marin for his help during field trips and sampling of algae in Tumaco Bay.

## REFERENCES

- ANDERSON, R. J., G. J. LEVITT & A. SHARE. 1997. Experimental investigations for the mariculture of *Gracilaria* in Saldanha Bay, South Africa. *Journal of Applied Phycology* 8: 421-430. DOI: 10.1007/BF02178587
- ARECES, J. A. 1995. Cultivo comercial de carragenófitas del género *Kappaphycus* Doty. In: K. Alveal, M. E. Ferrario, E. C. Oliveira & E. Sar, (eds.) *Manual de métodos ficológicos*. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, pp. 529-550.
- BIBER, P. & E. A. IRLANDI. 2006. Temporal and spatial dynamics of macroalgal communities along an anthropogenic salinity gradient in Biscayne Bay (Florida, USA). *Aquatic Botany* 85: 65-77. DOI: 10.1016/j.aquabot.2006.02.002
- BURFEIND, D. & J. W. UDY. 2009. The effects of light and nutrients on *Caulerpa taxifolia* and growth. *Aquatic Botany* 90: 105-109. DOI:10.1016/j.aquabot.2008.06.004
- CHESNES, T. C. & C. L. MONTAGUE. 2001. The effects of salinity fluctuation on the productivity and osmoregulation of two seagrass species. *Estuarine Research Federation Conference*. November 4–8., St. Petersburg, Florida.
- CHOI, H. G., Y. S. KIM, J. H. KIM, S. J. LEE, E. J. PARK, J. RYU & K. W. NAM. 2006. Effects of temperature and salinity on the growth of *Gracilaria verrucosa* and *G. chorda*, with the potential for mariculture in Korea. *Journal of Applied Phycology* 18: 269-277. DOI: 10.1007/s10811-006-9033-y
- CHOI, T. S., E. J. KANG, J. KIM & K. Y. KIM. 2010. Effect of salinity on growth and nutrient uptake of *Ulva pertusa* (Chlorophyta) from an eelgrass bed. *Algae* 25(1): 17-26. DOI: 10.4490/algae.2010.25.1.017
- EGGERT, A., U. NITSCHKE, J. A. WEST, D. MICHALIK & U. KARSTEN. 2007. Acclimation of the intertidal red alga *Bangiopsis subsimplex* (Stylonemato-phyceae) to salinity changes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 343:176-186. DOI: 10.1016/j.jembe.2006.11.015
- GLARDON, C. G., L. J. WALTERS, P. F. QUINTANA-ASCENCIO, L. A. MCCAULEY, W. T. STAM & J. L. OLSEN. 2008. Predicting risks of invasion of macroalgae in the genus *Caulerpa* in Florida. *Biological Invasions* 10:1147-1157. DOI: 10.1007/s10530-007-9192-z
- GOULARD, F., M. DIOURIS, G. QUERE, E. DESLANDES & J. Y. FLOCH. 2001. Salinity effects on NDP-sugars, floridoside, starch, and carrageenan yield, and UDP-glucose-pyrophosphorylase and -epimerase activities of cultivated *Solieria chordalis*. *Journal of Plant Physiology* 158:1387-1394. DOI: 10.1078/0176-1617-00569
- GUO H., J. YAO, Z. SUN & D. DUAN. 2015. Effect of temperature, irradiance on the growth of the green alga *Caulerpa lentillifera* (Bryopsidophyceae, Chlorophyta). *Journal of Applied Phycology* 27: 879-885. DOI: 10.1007/s10811-014-0358-7
- KAMER, K. & P. FONG. 2000. A fluctuating salinity regime mitigates the negative effects of reduced salinity on the estuarine macroalga, *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 254: 53-69. DOI: 10.1016/S0022-0981(00)00262-8
- KHOU, M., N. A. PAUL, J. T. WRIGHT & P. D. STEINBERG. 2007. Intrinsic factors influence the attachment of fragments of the green alga *Caulerpa filiformis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 352: 331-342. DOI: 10.1016/j.jembe.2007.08.010
- KIRST, G. O. 1990. Salinity tolerance of eukaryotic marine algae. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 41: 21-53. DOI: 10.1146/annurev.pp.41.060190.000321
- KLÜSER, S., P. PEDUZZI, G. GIULIANI & A. DE BONO. 2004. *Caulerpa taxifolia*, a growing menace for the temperate marine environment. Coll. Early Warning on Emerging Threats, UNE/DEWVA-Europe/GRID-Geneva, 4 p.
- LAPOINTE, B. E. & B. J. BEDFORD. 2010. Ecology and nutrition of invasive *Caulerpa brachypus* f. *parvifolia* blooms on coral reefs off southeast Florida, U.S.A. *Harmful Algae* 9: 1-12. DOI: 10.1016/j.hal.2009.06.001
- LEE, T. M. & C. H. LIU. 1999. Correlation of decreased calcium contents with proline accumulation in the marine green macroalga *Ulva fasciata* exposed to elevated NaCl contents in seawater. *Journal of Experimental Botany* 50: 1855-1862. DOI: 10.1093/jxb/50.341.1855
- LIRMAN, D., T. THYBERG, R. SANTOS, S. SCHOPMEYER, C. DRURY L. COLLADO-VIDES, S. BELLMUND & J. SERAFY. 2014. SAV Communities of Western Biscayne Bay, Miami, Florida, USA: Human and Natural Drivers of Seagrass and Macroalgae Abundance and Distribution Along a Continuous Shoreline. *Estuaries and Coasts* 37: 1243-1255. DOI: 10.1007/s12237-014-9769-6
- LIU, C. H., M. C. SHIH & T. M. LEE. 2000. Free proline levels in *Ulva* (Chlorophyta) in response to hypersalinity: elevated NaCl in seawater versus concentrated seawater. *Journal of Phycology* 36:118-119. DOI: 10.1046/j.1529-8817.2000.99127.x
- LIU, F. & S. J. PHANG. 2010. Stress tolerance and antioxidant enzymatic activities in the metabolisms of the reactive oxygen species in two intertidal red algae *Grateloupia turuturu* and *Palmaria palmate*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 382: 82-87. DOI: 10.1016/j.jembe.2009.11.005
- MARIN, H. & E. PEÑA. 2014. Variación espacio-temporal de la biomasa del alga *Caulerpa sertularioides* en poblaciones naturales y en condiciones de cultivo en estanques de camarón en la Bahía de Tumaco, Pacífico Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 43: 121-135.

- MARINHO-SORIANO, E., C. MORALES & W. MOREIRA. 2002. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp ponds effluents in Brazil. *Aquaculture Research* 33: 1081-1086. DOI: 10.1046/j.1365-2109.2002.00781.x
- MOSQUERA-MURILLO, Z. 2012. Factores reguladores del crecimiento del alga verde *Caulerpa sertularioides* (Caulerpales, Chlorophyta) en condiciones de campo y laboratorio. Tesis de Maestría en Ciencias Biología. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad del Valle. Colombia. 95 p.
- OSPINA, N., E. J. PEÑA & R. BENÍTEZ. 2006. Efecto de la salinidad en la capacidad de bioacumulación de plomo en el alga verde *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey (Chlorophyceae, Cladophorales). *Actualidades Biológicas* 28: 17-25.
- PEÑA, E. J. 1998. Physiological ecology of mangrove associated macroalgae in a tropical estuary (Doctoral dissertation). University of South Carolina, USA. 59 p.
- PEÑA, E. J., R. ZINGMARK, & C. NIETCH. 1999. Comparative photosynthesis of two species of intertidal epiphytic macroalgae on mangrove roots during submersion and emersion. *Journal of Phycology* 35:1206-1214. DOI: 10.1046/j.1529-8817.1999.3561206.x
- PEÑA, E. J. 2008. Dinámica espacial y temporal de la biomasa algal asociada a las raíces de mangle en la Bahía de Buenaventura, costa pacífica de Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 37: 55-70.
- PÉREZ-RUZAFÁ, A., C. MARCOS, C. M. BERNAL, V. QUINTINO, R. FREITAS, A. M. RODRIGUES, M. GARCÍA-SÁNCHEZ & I. M. PÉREZ-RUZAFÁ. 2012. *Cymodocea nodosa* vs. *Caulerpa prolifera*: Causes and consequences of a long term history of interaction in macrophyte meadows in the Mar Menor coastal lagoon (Spain, southwestern Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 110: 101-115. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.04.004
- PIAZZI, L., G. CECCHERELLI & F. CINELLI. 2001. Threat to macroalgal diversity: effects of the introduced green alga *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 210:149-159. DOI: 10.3354/meps210149
- SCROSATI, R. 2001. Population dynamics of *Caulerpa sertularioides* (Chlorophyta: Bryopsidales) from Baja California, Mexico, during El Niño and La Niña years. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 81 (5):721-726. DOI: 10.1017/S0025315401004520
- SOUSA, A. I., I. MARTINS, A. I. LILLEBO, M. R. FLINDT & M. A. PARDAL. 2007. Influence of salinity, nutrients and light on the germination and growth of *Enteromorpha* sp. spores. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 341: 142-150. DOI: 10.1016/j.jembe.2006.09.020
- TEJADA, C. 2002. Clima marítimo de la bahía de Tumaco, un caso de aplicación del sistema de modelado integral de zonas costeras para Colombia. Tesis de Maestría (MSc en Ciencias Tecnológicas para la Gestión de la Costa) Universidad de Cantabria, España. 44 p.
- TEJADA, C., L. CASTRO, A. NAVARRETE, T. CARDONA, L. OTERO, F. AFANADOR, A. MORGOLLÓN & W. PEDROZA. 2003. *Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano*. Centro Control Contaminación del Pacífico Colombiano. Ed. DIMAR. Serie Publicaciones Especiales Vol. 3, San Andrés de Tumaco, 120 p.
- THEIL, M., G. WESTPHALEN, G. COLLINGS & A. CHESHIRE. 2007. *Caulerpa taxifolia* responses to hyposalinity stress. *Aquatic Botany* 87: 221-228. DOI: 10.1016/j.aquabot.2007.06.001
- WEST, J. & H. CALUMPONG. 1988. Mixed-phase reproduction of *Bostrychia* (Ceramiaceae, Rhodophyta) in culture. I. *B. tenella* (Lamouroux) J. Agardh. *Japanese Journal of Phycology* 36: 292-310.
- WEST, J. A. & D. L. McBRIDE. 1999. Long-term and diurnal carpospore discharge patterns in the Ceramiaceae, Rhodomelaceae and Delesseriaceae (Rhodophyta). *Hydrobiologia* 298/299: 101-13. DOI: 10.1023/A:1017025815001
- WEST, E. J. & R. J. WEST. 2007. Growth and survival of the invasive alga, *Caulerpa taxifolia*, in different salinities and temperatures: implications for coastal lake management. *Hydrobiologia* 577: 87-94. DOI: 10.1007/s10750-006-0419-2

**Recibido:** 17 de diciembre de 2014.

**Aceptado:** 19 de febrero de 2016.

## Benthic diatoms on fluvial tufas of the Mesa River, Iberian Range, Spain

## Diatomeas bentónicas en tufas fluviales del Río Mesa, Cordillera Ibérica, España

Hugo Beraldi-Campesi<sup>1</sup>, Concepcion Arenas-Abad<sup>2</sup>, Luis Auque-Sanz<sup>2</sup>, Marta Vázquez-Urbez<sup>2</sup>  
and Gonzalo Pardo-Tirapu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, CDMX, 04510. México

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, E50009. España  
e-mail: hberaldi@unam.mx

Beraldi-Campesi H., C. Arenas-Abad, L. Auque-Sanz, M. Vázquez-Urbez and G. Pardo-Tirapu. 2016. Benthic diatoms on fluvial tufas of the Mesa River, Iberian Range, Spain. *Hidrobiológica* 26 (2): 283-297.

## ABSTRACT

**Background.** The Mesa River (MR) in the Iberian Range (Spain) displays prominent, Pleistocene to present-day fluvial tufa deposits. Little of their associated microbiota has been studied to date despite the regional and historical relevance of these calcareous buildups. **Goals.** This paper is a preliminary exploration of the diatom (Bacillariophyta) genera associated with actively-growing tufa from 10 benthic environments along 24 km of the Mesa River. **Methods.** Bright-field microscopy, as well as consultation with specialists and specialized literature was used for taxonomic classification of diatoms. **Results.** We identified 25 diatom genera in three different types of sedimentary facies (porous and moss-algae rich, dense-laminated, and tufa-free gravel). Most diatoms were raphid pennate (class Bacillariophyceae), while a few were centric (class Coscinodiscophyceae) or araphid pennate (class Fragilariophyceae). They appeared as integral components of the tufa structure along with cyanobacteria and other algae and mosses. **Conclusions.** Together with previous studies on the hydrochemistry and sedimentology of the MR, our interpretations suggest that  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{pCO}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , and TDIC negatively affect diatom richness and that their abundance is positively related to the presence of mosses and algae.

**Key words:** Benthic diatoms; freshwater tufas; Iberian Range, Spain.

## RESUMEN

**Antecedentes.** Del Río Mesa en la Cordillera Ibérica Española destacan sus tufas fluviales, depositadas desde Pleistoceno hasta el reciente. Poco de su microbiota bentónica ha sido estudiado a pesar de la relevancia regional de estas formaciones calcáreas. **Objetivos.** Con el objetivo de conocer los géneros de diatomeas (división Bacillariophyta) que crecen asociados a estas tufas activas, se revisaron muestras de 10 ambientes bentónicos a lo largo de 24 kilómetros del río Mesa. **Métodos.** Se utilizaron técnicas de microscopía y consultas con especialistas y literatura especializada para la identificación taxonómica de las diatomeas. **Resultados.** Se identificaron 25 géneros de diatomeas en tres diferentes tipos de facies sedimentarias (porosa con musgo y algas, densa-laminada, y grava sin tufa). La mayoría de las diatomeas fueron pennadas y con rafe (clase Bacillariophyceae), y pocas fueron céntricas (clase Coscinodiscophyceae) o pennadas sin rafe (clase Fragilariophyceae). Estas aparecieron como componentes integrales de las tufas junto con cianobacterias, musgos y algas. **Conclusiones.** Estudios previos de sedimentología e hidroquímica en este río sugieren que el  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{pCO}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , y TDIC afectan negativamente a la riqueza de diatomeas, y que su abundancia esta positivamente relacionada con la presencia de musgos y algas.

**Palabras clave:** Cordillera Ibérica, diatomeas bentónicas, España, tobas fluviales.

## INTRODUCTION

Diatoms are of great ecological significance for the functioning of aquatic and terrestrial ecosystems, and are useful environmental and ecological indicators (e.g. Smol & Stoermer, 2010). They are also key oxygenic photosynthesizers and prolific producers of extracellular polymeric substances (EPS) in most benthic habitats today (Krumbein *et al.*, 2003; Pentecost, 2005). In fluvial environments, diatoms are also key primary producers and abundant on calcareous tufas (also called spring-associated limestones) worldwide (e.g. Stevenson *et al.*, 1996; Gradzinski, 2010). Because diatoms sequester dissolved CO<sub>2</sub> through photosynthetic C fixation, which results in a shift in pH, and because they produce large quantities of EPS that can agglutinate and accrete particles, they may play an important role in tufa formation.

The Iberian Range in Spain harbors a great variety of fluvial tufa systems that have been accumulating since the Pleistocene (Vázquez-Urbez *et al.*, 2012). In particular, the Mesa River (MR) and the nearby Piedra River, have been of historical importance since ancient times (e.g. Corral-Lafuente, 2000). Despite this fact, the eukaryotic component of these ecosystems is poorly known, even though the microbial diversity of other tufas in the Iberian Range have been partially documented (Beraldi-Campesi *et al.*, 2012).

In this paper, we aim to document the diatom genera present on substrates distributed along the Mesa River, and detect any possible relationship with environmental conditions, using sedimentary and hydrochemical variables that are known to influence tufa deposition. This preliminary report will increase our understanding of these geobiological systems and will allow comparisons with diatoms from other tufa systems and neighboring areas where diatoms have been used for monitoring environmental changes (e.g. Flor-Arnau *et al.*, 2008).

## MATERIALS AND METHODS

**Environmental context of the Mesa River.** The Mesa River (MR) is one of several rivers in the Iberian Range, NE Spain (Fig. 1) that display thick tufa deposits (Vázquez-Urbez *et al.*, 2010, 2012; Auque *et al.*, 2013). The MR is a tributary of the Jalon River that later enters the Ebro River near the city of Zaragoza (Fig. 1). It flows from southwest to northeast and cuts through Mesozoic and Tertiary rocks. Mesozoic (Lower Jurassic and Upper Cretaceous) carbonate units hold the aquifers that feed the river and are responsible for the calcium bicarbonate composition of the water. The regional climate is Mediterranean continental, with strong seasonal changes in temperature and precipitation. Mean annual precipitation varies from ~20 to ~55 mm and occurs mostly in spring (April-May) and autumn (September-October). Mean annual air temperature varies from ~5 to 25 °C (4-5 °C in December and January and 23-25 °C in July). Mean discharge of the MR reaches 49 hm<sup>3</sup>/year with marked variability (~2 m<sup>3</sup>/s in May and ~1 m<sup>3</sup>/s in August; see Auque *et al.*, 2013). Several natural springs occur along the MR, most notoriously near Mochales and Jaraba (Fig. 1). Water temperature at or close to resurgence points is rather constant through the year, about 13-14 °C in the river at site 1 (Mochales) and between 20-32 °C in the low-thermal springs near Jaraba (Pinuaga *et al.*, 2004; Sanchez-Navarro *et al.*, 2004). Mean underground water discharge in Jaraba is also constant through the year (570 to 647 l/s; Pinuaga *et al.*, 2004). During dry seasons, the river discharge depends mainly on underground inputs (Auque *et al.*, 2013). All these climatic and physicochemical variables drive the overall process of calcite precipitation.

**Facies characterization.** Different depositional environments were characterized as sedimentary facies based on the type of substrate (in plan view and cross section), water depth, water flow, and type of flora (according to the main component on the surface: mosses, algae, cyanobacteria).

**Diatom sampling and identification.** Ten sites distributed along the MR (Fig. 1, Table 1) were selected according to bed configuration, sedimentary facies, and physical parameters (e.g. slope, depth, and water velocity; see below), representing the main sub-environments in the river. Sites ranged from empty grounds and gravel beds, to areas densely populated by plants, bryophytes, and macroscopic colonies of algae and cyanobacteria.

At each site, 3 to 5 pieces (~1-3 cm<sup>3</sup>) of the soft, recently-formed tufa surface were cored from limestone tablets previously placed at each site (see Vázquez-Urbez *et al.*, 2010 for explanation), and combined into a single sample. Combined samples were immediately stored in a 20% ethanol-formalin solution for transport to the laboratory and further frozen at -10 °C until inspected under a microscope.

For microscopic observations of diatom frustules, tufa (CaCO<sub>3</sub>) fragments were dissolved in a 50% HCl solution, washed with distilled water in 50 ml vials, and centrifuged to obtain a pellet. Pellets were washed in distilled water and centrifuged many times before aliquots were taken for observation. This was done on a brightfield, phase-contrast, and dark-field microscope (Olympus BH2) equipped with an Olympus DP11 digital camera. Abundance of different genera per sample was noted but not quantified, as frustule counts could be highly biased by this method without exhaustive sampling of larger areas. Observations per sample were concluded when no new morphotypes were discovered in the aliquots. All identifications were made upon comparisons with the literature (Hustedt, 1930; Smith, 1950; Bourrelly, 1968; Round *et al.*, 1990). Taxonomic names were updated from the Algaebase database (Guiry & Guiry, 2015). Statistical analyses (Poisson regression, etc.) were processed for hydrochemical data using the R statistical software (R Core Team, 2014).

## RESULTS

**Diatom genera distribution.** A total of 25 diatom genera were detected in the 10 studied sites (Table 1; Figs 2-3). Most of them were pennate and only two were centric (Class Coscinodiscophyceae, *Melosira* Agardh and *Biddulphia* Gray; Table 1). Not all the identified genera were present at all sites. In general, the number of diatom genera increased from sites 1 through 4, oscillated from sites 5 to 8, and abruptly decreased at sites 9 and 10 (Table 1).

Among the pennate diatoms, 3 genera were araphid (class Fragilariophyceae) and 20 were raphid (class Bacillariophyceae; Fig. 4). Diatom genera are presented in Fig. 4 according to their frequency of appearance in the samples, from bottom (frequent) to top (rare); the most frequent genera were: *Amphora* Ehrenberg ex Kützing, *Cocconeis* Ehrenberg, and *Navicula* Bory de Saint-Vincent 1822 (Figs 2-3), which were detected in 7 sampling sites. *Cymbella* Agardh and *Diatoma* Bory de St-Vincent (Fig. 2) followed in frequency and were detected in 6 sites. *Gyrosigma* Hassall and *Rhoicosphenia* Grunow (Figs 2-3) were present in 5 sites. Genera present in 4 or less sites (Fig. 4; Table 1) were *Achnantheidium* Kützing, *Gomphonema* Ehrenberg, *Stauroneis* Ehrenberg, *Denticula* Kützing, *Gomphoneis* Cleve, *Meridion* Agardh, *Nitzschia* Hassall, *Synedra* Ehrenberg, *Aneumastus* Mann *et* Stickle,



Table 1. Genera of benthic diatoms found along the Mesa River. Presence is indicated by 'X'. Photos of each genus are shown in Figs 2-3. Facies: A = moss-dominated, porous tufa; B = dense, laminated tufa; C = tufa free gravel. See text for sedimentary facies details. Richness is expressed as the number of diatom genera found in the samples.

	Latitude / Longitude										Figures
	41.09296 -2.01726	41.11872 -1.99375	41.12670 -1.97934	41.14548 -1.93942	41.14684 -1.94000	41.15800 -1.90496	41.17278 -1.89696	41.17333 -1.89405	41.18040 -1.88902	41.22603 -1.82199	
SITE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FACIES <sup>a</sup>	C	B	A	A	A/B	A	A/B	A/B	C	C	
GENUS											
<i>Achnanthydium</i>			X	X		X		X			2A
<i>Amphora</i>			X	X	X	X	X	X	X		2B
<i>Aneumastus</i>						X					2D
<i>Biddulphia</i>										X	2E
<i>Cavinula</i>				X							2F
<i>Cocconeis</i>		X	X		X	X	X	X		X	2G, H
<i>Cosmioneis</i>						X					2C
<i>Cymbella</i>		X		X		X	X	X	X		2I, J
<i>Denticula</i>	X			X							2K
<i>Diatoma</i>	X	X	X	X		X		X			2L, M
<i>Diatomella</i>			X								2N
<i>Gomphoneis</i>				X				X			2O
<i>Gomphonema</i>			X		X	X	X				3A, D
<i>Gyrosigma</i>				X	X	X	X	X			3B
<i>Melosira</i>	X										3C
<i>Meridion</i>		X				X					
<i>Navicula</i>		X	X	X	X	X	X	X			3E, F, H
<i>Nitzschia</i>			X						X		3G
<i>Pinnularia</i>								X			
<i>Placoneis</i>						X					3I
<i>Pleurosigma</i>		X									3J
<i>Rhoicosphenia</i>		X	X		X	X	X				3K, L
<i>Stauroneis</i>		X	X	X							3M
<i>Surirella</i>								X			3N
<i>Synedra</i>				X				X			3O
RICHNESS	3	8	10	11	6	13	7	12	2	2	

*Biddulphia* S. F. Gray, *Cavinula* Mann et Stickle, *Cosmioneis* Mann et Stickle, *Diatomella* Greville, *Melosira* C. Agardh, *Pinnularia* Ehrenberg, *Placoneis* Mereschkowsky, *Pleurosigma* Smith, and *Surirella* Turpin (Table 1; Figs 2- 3).

Although Cyanobacteria were visibly conspicuous on the tufa substrate, our samples rendered few specimens (*Microcystis*, *Gloeocapsa*, and *Nostoc*). Nevertheless, other cyanobacteria are known to exist at this river (Beraldi-Campesi *et al.*, 2012). Algae within the Chlorophyta (*Cladophora*, *Closterium*, and *Spirogyra*), the Charophyta (*Coleochaete*), the Rhodophyta (*Batrachospermum*) and the Xanthophyta (*Vaucheria*), were commonly observed as part of the benthic microflora of the MR and found in our samples as well (some examples are shown in Figs 5 and 6). All these organisms were forming large, macroscopic colonies on the tufa, non-calcified submerged rocks, or on plant debris. Among these, *Cladophora* was ubiquitous, and its filaments were usually coated with thick layers of calcite (Figs 5K-N).

From the collected samples and field observations we could see that diatoms were especially abundant on algae and on mosses, which covered most of the benthic surfaces together with cyanobacteria. For instance, colonies of *Amphora*, *Cocconeis*, *Diatoma*, *Melosira*, and *Symploca* were found growing preferentially where chlorophytes (e.g. *Coleochaete*, *Spirogyra*) were most abundant. The most conspicuous diatom genus in our survey, *Cocconeis*, was also epiphytic on other diatoms, green algae, and cyanobacteria (*Biddulphia*, *Cladophora*, and *Nostoc*, respectively), on which calcification (micritic coatings) was visually pervasive. The stalk-forming *Rhoicosphenia* and *Gomphonema* were also conspicuous on filamentous algae and mosses, where also micritic particles accumulated around them. These biotic interactions were not exclusive, and mixtures could be seen at sites where chlorophytes, rhodophytes, and xanthophytes (all carrying epiphytic diatoms) were growing together in large patches on the substrate.

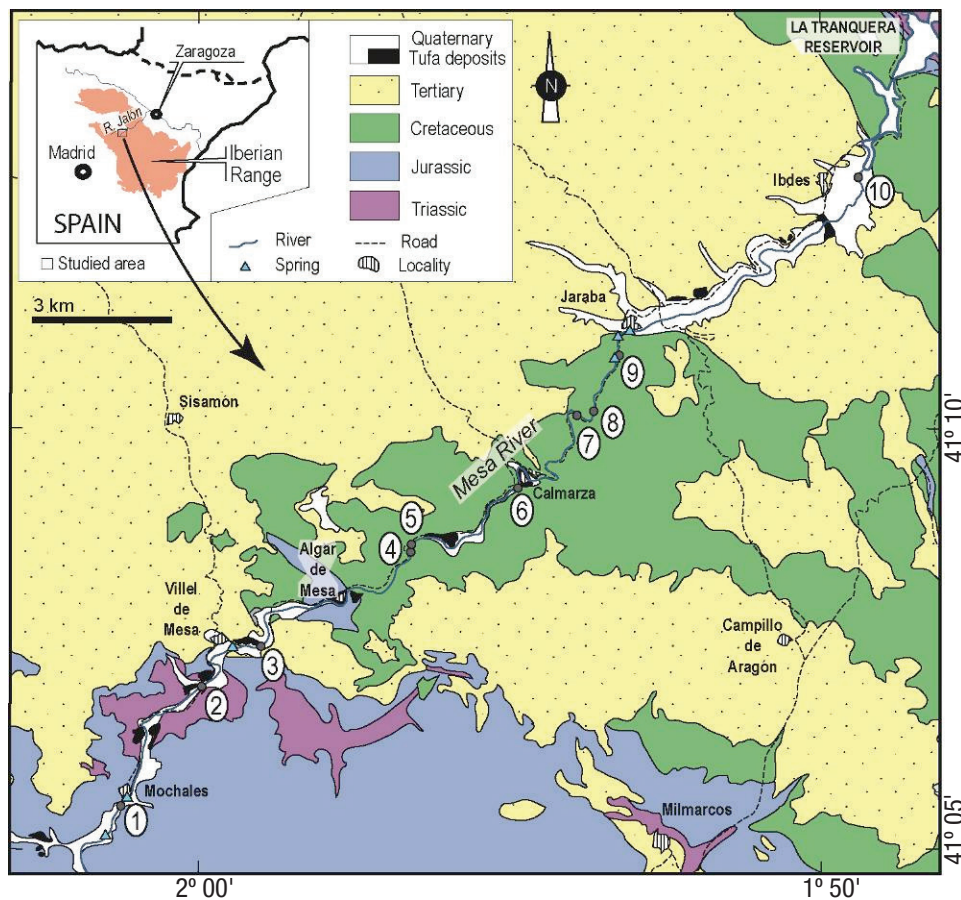


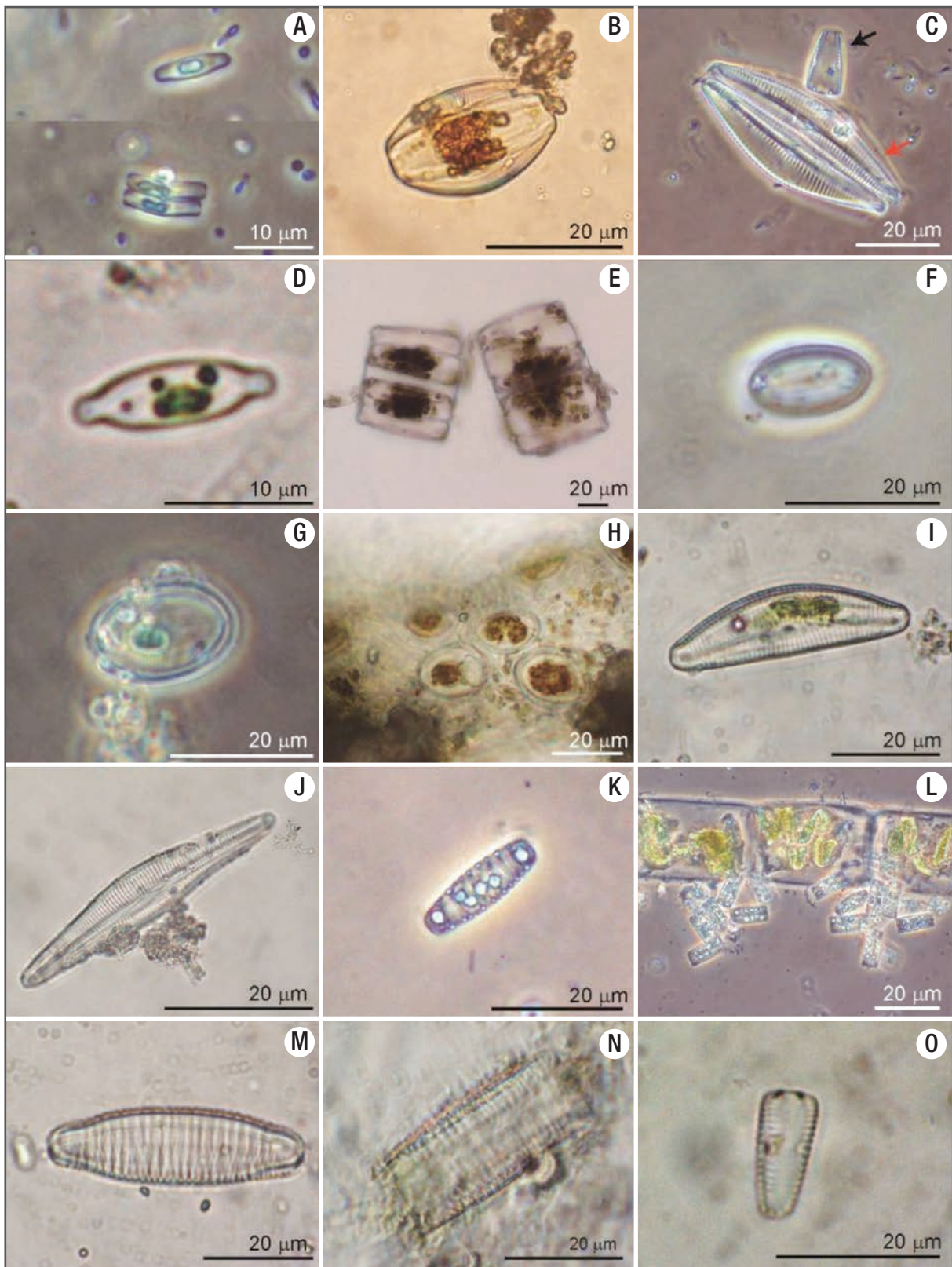
Figure 1. Geographic distribution of sampling sites (numbered dots) and geological context of the Mesa River. The river flows from SW to NE.

Table 2. Characteristic sedimentary facies found in the sampled sites along the Mesa River.

Depositional subenvironment	Water velocity (cm/s)	Depth (cm)	Facies code	Sedimentary facies
Small, generally stepped jumps, rapids, subhorizontal platforms and irregular horizontal beds with cobbles.	70 -110	9 - 25	A	Mostly spongy tufa: mats of filamentous algae, mosses, cyanobacteria and diatoms, poorly coated with calcite. Lamination is commonly absent.
Small jumps, rapids and subhorizontal floors and, less commonly, in irregular horizontal beds with cobbles	70-120	10-15	B	Laminated tufa made of calcite tubes formed around cyanobacterial filaments; mucilaginous substance, bacterial rods and cocci bodies, along with diatoms appear associated. Other algal components may be seen.
Gravel and cobble beds influenced by groundwater inputs	60-120	10-30	C	Rare filamentous algae and mosses, diatoms, cyanobacterial biofilms, some mollusks, insect nests and annelid tubes. Small clumps of calcite irregularly distributed on algae and mosses.

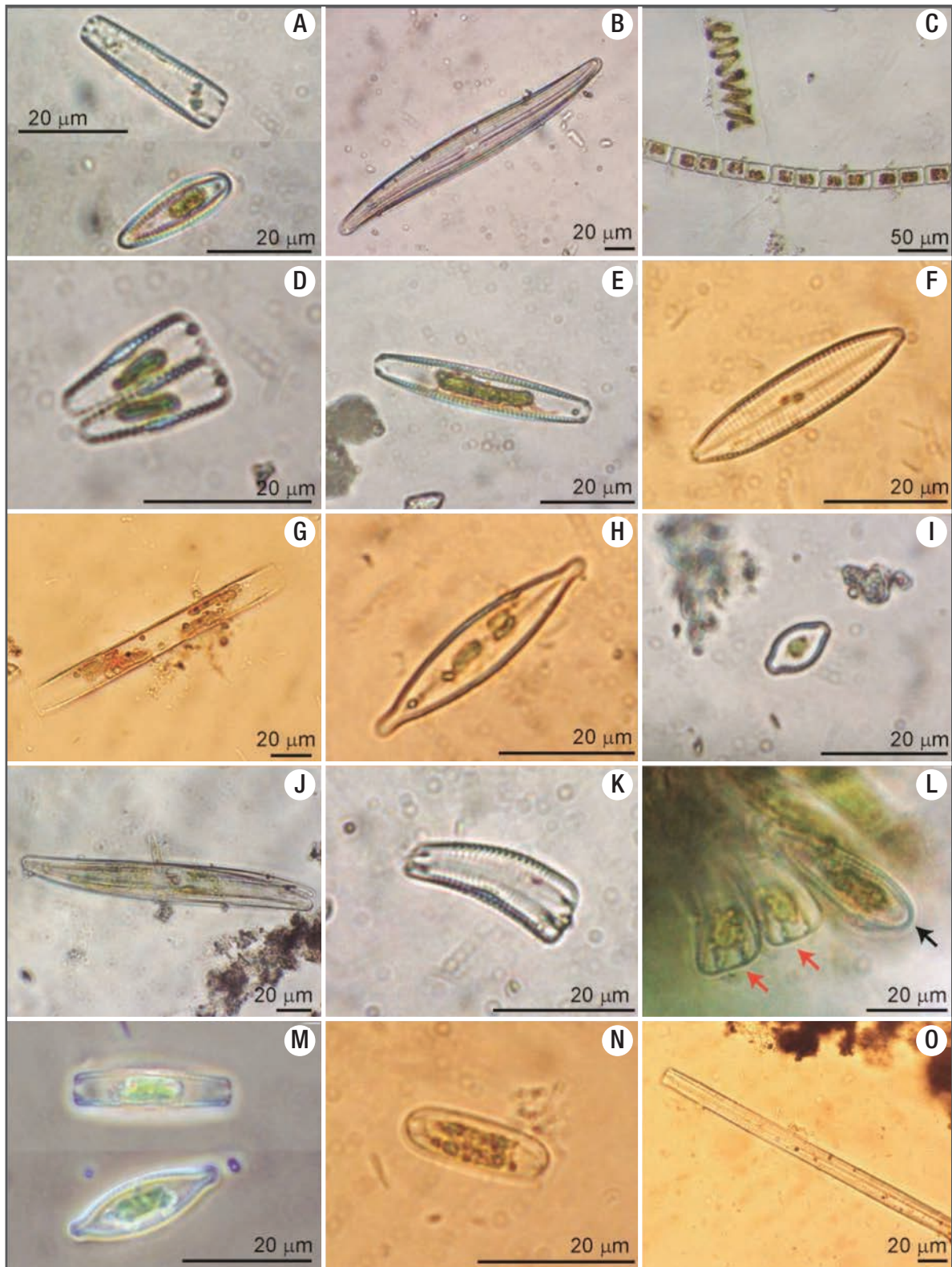
**Environmental context and sedimentary facies.** The tufa deposits we studied displayed different sedimentary characteristics (e.g. variations in thickness, porosity, and presence/absence of lamination), depending on the local environmental conditions (water flow velocity, depth, slope, luminosity, shade, etc.) and the associated flora (e.g. algae, bryophytes, etc.). In sites with rapid calcification, these floras seemed to be quickly entombed within the tufa structure. Diatoms were notorious within calcified communities and seemed to be integral components of the tufa structure (Fig. 7). Three main sedimentary facies

were identified along the MR (see below). Two facies (A and B, see Table 2) developed on small waterfalls and rapids with relatively shallow and fast-flowing water (~100 cm/s), and have been characterized for rapid tufa formation (~1.3 cm/yr; Vázquez-Urbez *et al.*, 2010). A third facies (C), consisted mainly on gravel-dominated grounds, with poor or no carbonate deposition (Table 2). Facies A and B often occurred together in lit areas (e.g. sites 4, 5, 6, and 8), and were thicker than in shady ones (e.g. sites 2 and 7; See Fig. 1 and Table 1 for location of sites). The diatom genera distribution within each of these facies is reported in Table 1. Facies descriptions are as follows:



Figures 2A-O. Diatom genera found in the Mesa River. **A)** *Achnanthydium*. **B)** *Amphora*. **C)** *Cymbella* (red arrow) and *Gomphonema* (black arrow). **D)** *Aneumastus* or *Cosmioneis*. **E)** *Biddulphia*. **F)** *Cavinula*. **G)** *Cocconeis*. **H)** *Cocconeis* on algal filament. **I-J)** *Cymbella*. **K)** *Denticula*. **L)** colonies of *Diatoma* on algal filament. **M)** *Diatoma*. **N)** *Diatomella*. **O)** *Gomphoneis*.





Figures 3A-O. Diatom genera found in the Mesa River. **A)** *Gomphonema*. **B)** *Gyrosigma*. **C)** *Melosira* next to an algal filament. **D)** *Gomphonema*. **E-F)** *Navicula*. **G)** *Nitzschia*. **H)** *Navicula*. **I)** *Placoneis* or *Cosmioneis*. **J)** *Pleurosigma*. **K)** *Rhoicosphenia*. **L)** periphytic *Rhoicosphenia* in perivalvar view (red arrow) and valvar view (black arrow). **M)** *Stauroneis*. **N)** *Surirella*. **O)** *Synedra*.



**Facies A:** This was the most widespread facies (Figs 8A-B) consisting of soft, very porous deposits, composed of completely or partially coated (calcified) filamentous cyanobacteria, and/or filamentous, siphonous, and parenchymatous algae (e.g. *Spirogyra*, *Vaucheria*, and *Batrachospermum* respectively), and bryophytes (Fig. 8B). Filamentous algae and mosses were visually more abundant than cyanobacteria in this facies. Both micrite and spar calcite crystals were present on these organisms, and pores and voids were sometimes filled with calcite, as in other examples of the same area (Arenas *et al.*, 2000), indicating relatively quick diagenetic processes. A variety of benthic diatoms were observed as periphyton on bundles of filamentous algae in this facies (Fig. 7).

**Facies B:** This facies consisted of hard and dense, calcitic, laminated deposits (also called stromatolitic tufa; Figs. 8C-D). Cyanobacteria were more common than algae in this facies. Sub-millimeter to mm-thick laminae were composed of calcite tubes forming palisades and bunches subperpendicular to the surface. The tubes were hollow (inner diameter ~7 µm) and consisted of ~5-7 µm-thick micrite and spar calcite walls (shown in cross section in Fig. 7B), and were linked by calcite crystals and mucilaginous substance, on which diatoms were attached. The size and morphology of the tubes suggest that filamentous microbes acted as templates for the nucleation of calcite.

**Facies C:** This facies consisted of poorly calcite-coated substrates (Figs 8E-F) in less shallow water. The bedrock was dominated by gravel and cobble deposits on gently steep or quasi-horizontal beds, in medium to high-velocity flow conditions (60-100 cm/s). These sites were close to springs and thus received variable groundwater inputs. Thin patches of cyanobacteria-dominated communities, scarce filamentous algae, mollusks, and some insect nests were common biotic features of these facies. These components were almost devoid of calcite impregnations or coatings (e.g. sites 1, 3, 9, and 10).

## DISCUSSION

**Diatoms and tufa formation.** Pennate diatom genera were abundant and had a wide distribution within the MR samples, while centric diatoms were represented only by two genera. This has also been observed in other tufas and travertines of the world (Pentecost, 2005; Brinkmann *et al.*, 2007; Arp *et al.*, 2010; Gradzinski, 2010).

Most of the identified diatom genera have been reported from other freshwater streams of the world (Pentecost, 2005; Brinkmann *et al.*, 2007; Arp *et al.*, 2010). Among these, genera such as *Amphora*, *Cocconeis*, and *Navicula* had the widest distribution in the MR samples. In contrast, *Aneumastus*, *Biddulphia*, *Cavinula*, *Cosmioneis*, *Diatomella*, *Melosira*, *Pinnularia*, *Placoneis*, *Pleurosigma*, and *Surirella* were only present in one sample from the MR. Only 17 genera identified here (*Achnantheidium*, *Amphora*, *Cocconeis*, *Cymbella*, *Denticula*, *Diatoma*, *Gomphoneis*, *Gomphonema*, *Gyrosigma*, *Melosira*, *Meridion*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Rhoicosphenia*, *Surirella*, and *Synedra*), corresponded to 68 genera found in the Ebro basin (Flor-Arnau *et al.*, 2008), which is a neighboring drier basin to the north of the Iberian Range. Even though our study was limited for close comparisons by the taxonomic resolution, it seems that these tufa environments bear a unique 'oasis' of diatom genera within the region. Nevertheless, complemen-

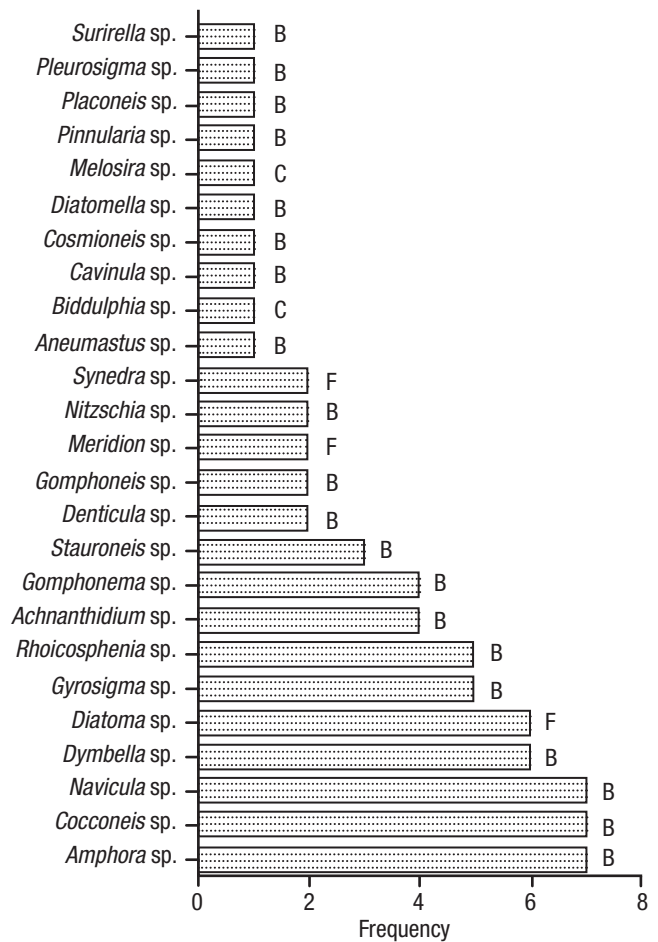
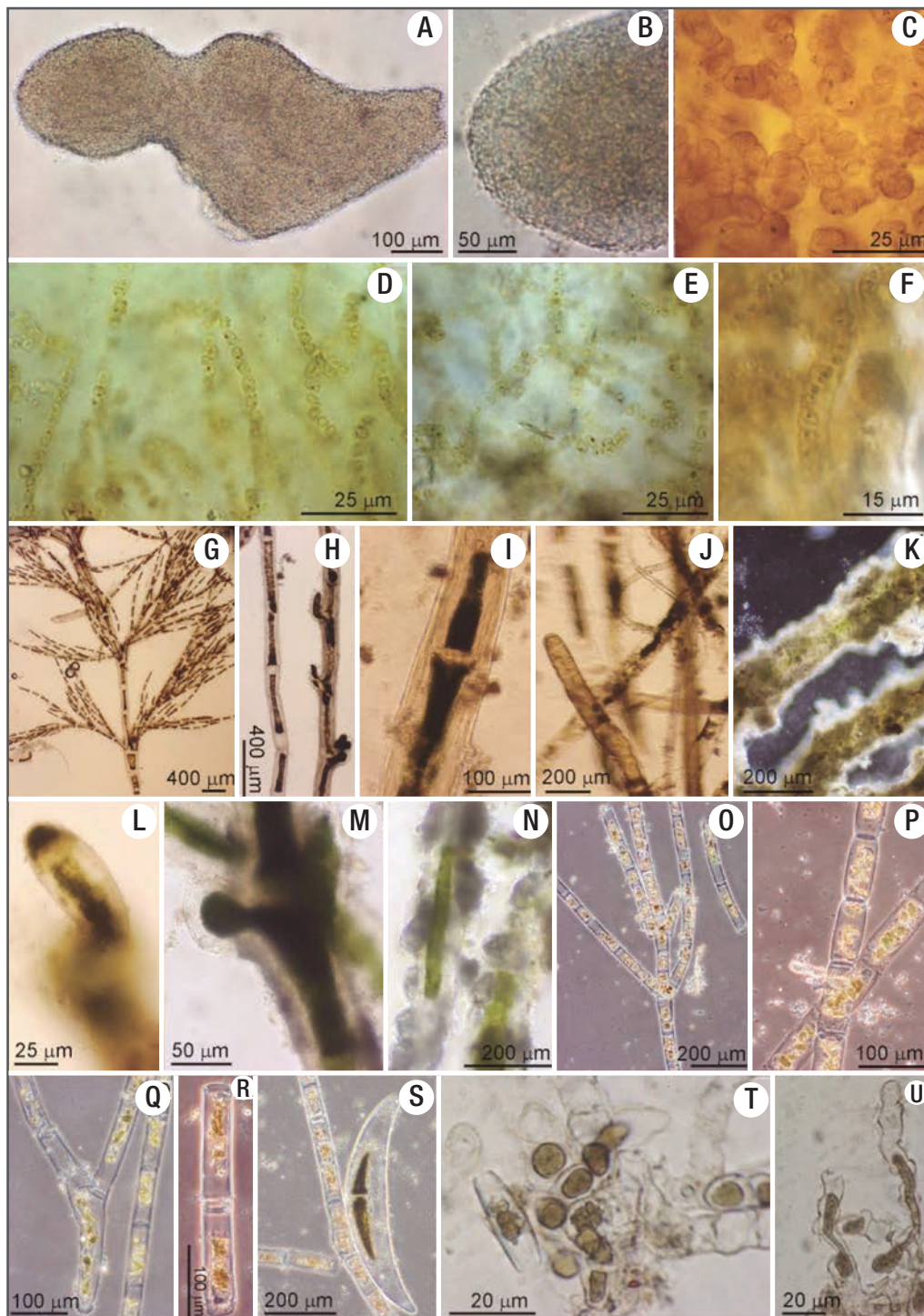


Figure 4. Frequency distribution of diatom genera from 10 sampling sites. B = Bacillariophyceae; F = Fragilariophyceae; C = Centric.

tary molecular fingerprinting studies would help to refine the identity and distribution of diatoms in these areas.

In the MR, 80% of the pennate diatoms displayed raphe, which is related to the motile benthic habit of the Bacillariophyceae (Round *et al.*, 1990; Chafetz *et al.*, 1991; Arp *et al.*, 2010). A motile capability would perhaps favor pennate raphids over the non-motile pennate araphids in places where continuous and fast carbonate precipitation occurs (~5 mm/yr on average and up to 13 mm/yr in some places; see Vázquez-Urbez *et al.*, 2010). It is likely that the fast carbonate deposition is in part responsible for changes in growth speed, coverage, and distribution of benthic microorganisms, including diatoms. It is reasonable to think that eukaryotic and prokaryotic communities at the surface of these (visually abundant) tufas, are very dynamic, in part due to the environmental pressure of permanent calcification and entombment. Another ecological alternative observed in non-calcareous, siliciclastic environments is that the distribution of motile versus non-motile diatoms may be due to their growth habits, in which non-motile diatoms tend to form bulk colonial aggregates, while motile diatoms are more widely dispersed (Hudon & Legendre, 1987).

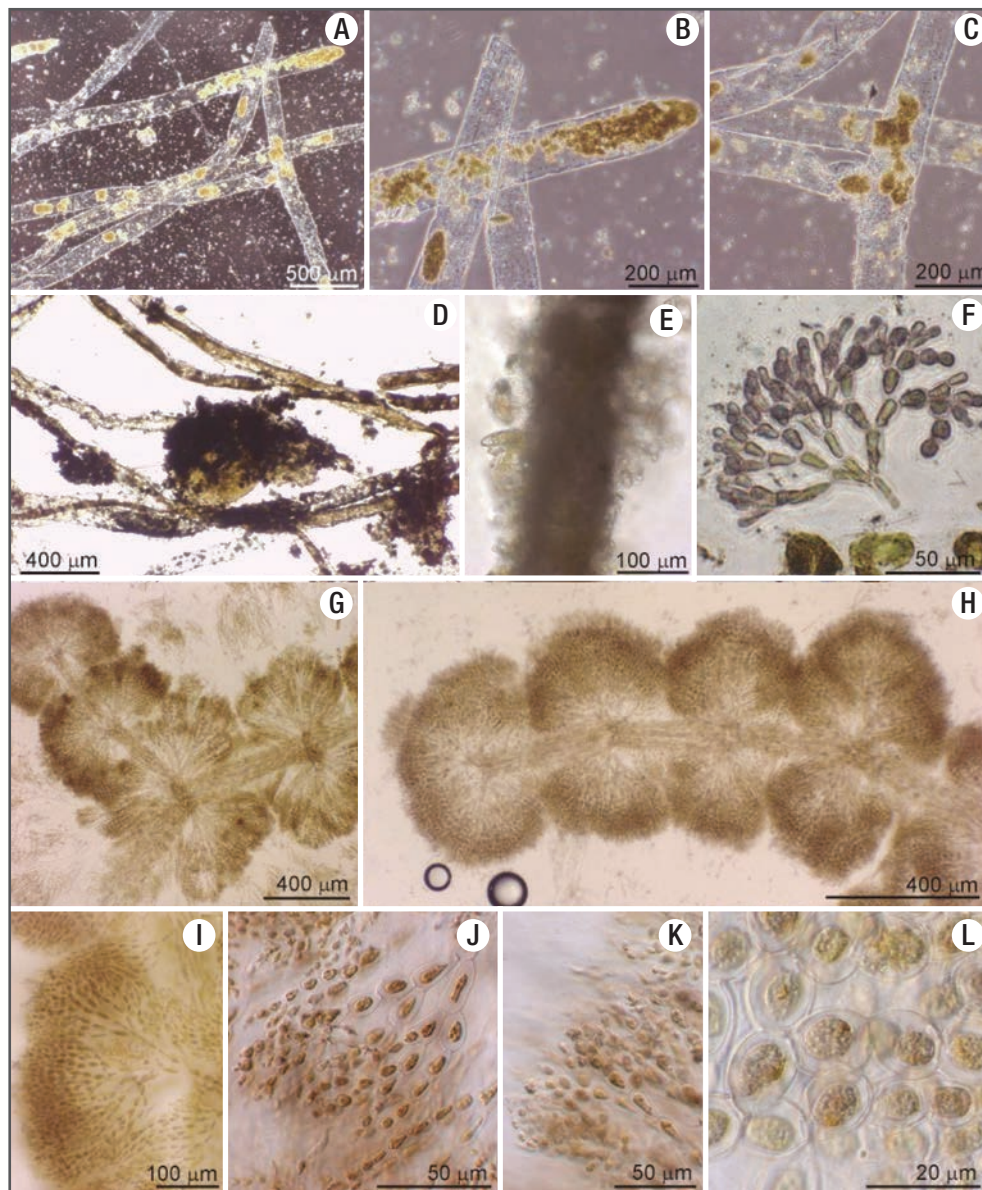


Figures 5A-U. Examples of benthic organisms co-existing with diatoms. **A)** Colony of the planktonic cyanobacterium *Microcystis*, although usually planktonic, these colonies become attached to the substrate at shallow exposures of the tufa. **B)** Close up of A showing the mucilage cover around the entire colony, which keeps it from disaggregating. **C)** Colony of the cyanobacterium *Gloeocapsa* showing stratified sheaths in a dense mucilaginous matrix. **D-E)** Arrangement of trichomes within a colony of *Nostoc*. **F)** Single filament within a *Nostoc* colony, around which abundant mucilage has been secreted. **G)** Ramified trichome of *Cladophora*. **H)** Filaments of *Cladophora* with and without growing bulbs. **I)** Zoom on a filament of *Cladophora* to appreciate cellular details and sparse calcite adhered to its sheath. **J)** *Cladophora* mingled with *Vaucheria* filaments. **K)** Filaments of *Cladophora* completely coated with calcite. **L)** Zoom on a *Cladophora* bulb without calcitic coat. **M)** A bulb of *Cladophora* in the process of being coated with calcite. **N)** Partially-coated *Cladophora* filaments. **O-R)** Unbranched, overlapped filaments of *Spirogyra*. This alga was rarely found coated with calcite. **S)** Large cell of *Closterium* next to a *Spirogyra* filament. **T)** Basal cells of a *Coleochaete* colony. **U)** Terminal cells of a *Coleochaete* colony.

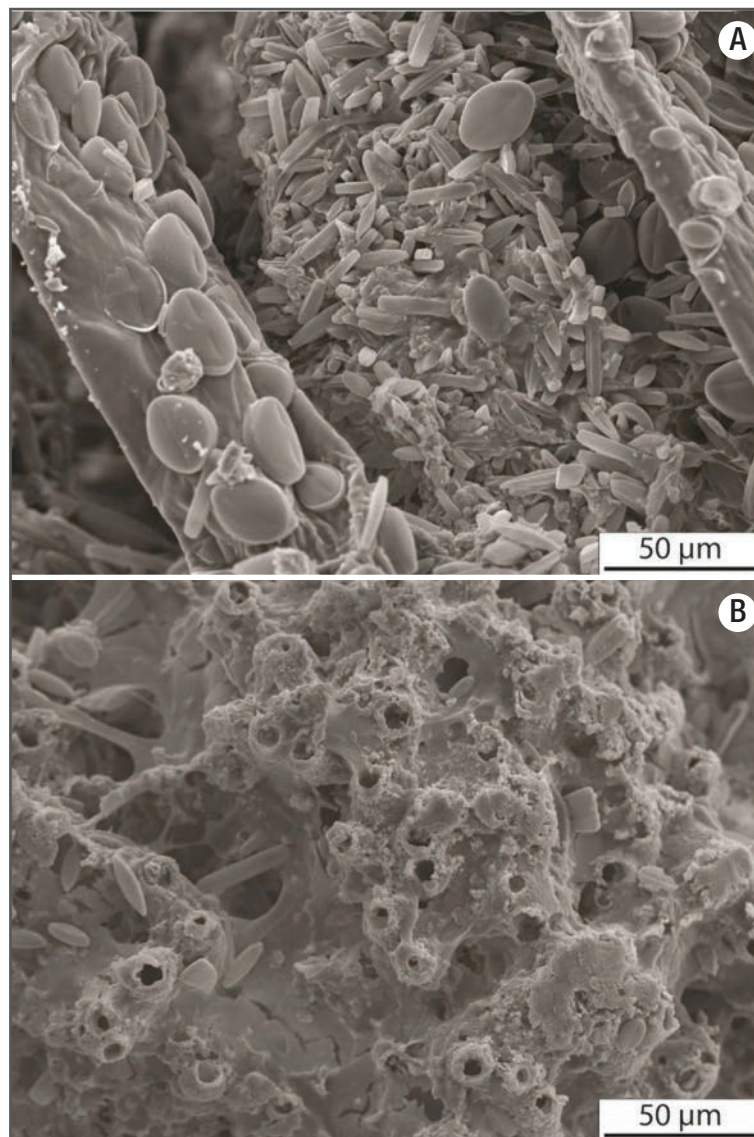


Diatoms can be seen in fresh fractures of recently-formed tufa (upper 10 cm of actively-growing tufa) and likely play a role in the mediation of these sedimentary structures by enhancing carbonate precipitation and influencing the morphological development of the structure. Tufa formation can go on abiotically through CO<sub>2</sub> outgassing (Merz-Preiß & Riding, 1999; Chen *et al.*, 2004; Vazquez-Urbez *et al.*, 2010), but some organisms (bacteria, algae, fungi, bryophytes, plants) can mediate tufa development by a) trapping and

binding particles with accretionary movement in and on a sticky, EPS-rich surface; b) serving as nucleation sites where calcite crystals accommodate according to the pre-existing 3D arrangement of the colonies, which develops particular structures and microfabrics; c) by removing dissolved CO<sub>2</sub> during photosynthesis; and d) by altering the local equilibrium in favor of carbonate precipitation (Rogerson *et al.*, 2008; Pedley *et al.*, 2009; Dittrich & Sibling, 2010; Shiraishi *et al.*, 2008, 2010).



Figures 6A-L. Examples of benthic organisms co-existing with diatoms. **A)** Filaments of *Vaucheria*. **B-C)** Zoom on filaments of *Vaucheria* showing details of the cellular contents. Note almost no calcitic coatings around them. **D)** Filaments of *Vaucheria* in the process of being coated with calcite. **E)** Filament of *Vaucheria* completely coated with calcite and epiphytic diatoms (*Gomphonema*) on its surface. **F)** Fragment of a *Batrachospermum* terminal cells. **G-H)** Cellular arrangement of *Batrachospermum* showing a central stem and lateral branches. **I-L)** Cellular morphology and arrangement within a macroscopic branch (shown in **G-H)** of *Batrachospermum*.



Figures 7A-B. Scanning Electron Microscope images of samples from facies A and B. **A)** facies A showing calcified filaments of green algae and mosses covered with diatoms. Note large *Cocconeis* Frustules on an algal filament (to the left). **B)** facies B showing calcite tubes (empty cyanobacterial sheaths) found within dense, laminated facies. Note the abundant exo-polysaccharides (EPS) filling interstitial spaces, where diatoms resembling *Aneumastus* or *Cosmioneis* are also present.

SEM and light microscopy observations, however, have shown that diatoms of the MR are not necessarily coated with calcite, despite being attached to algae or solid substrates where micrite and calcite platelets are part of the bulk mass (Figs 6E, 7). Although diatoms (e.g. *Cocconeis*-like morphologies; Fig. 7) can be seen embedded in the already-formed tufa, they seem to avoid calcite precipitation directly on their extracellular surroundings. This phenomenon has been observed in other similar substrates as well (Merz-Preiß & Riding, 1999; Arp *et al.*, 2001; Gradzinski, 2010). This is perhaps because of the composition of their EPS, but could also be derived from a constant EPS replacement given their motile nature, in contrast with cyanobacteria and green algae that calcify *in situ* given their sessile nature. In this regard, it should be further determined if combined factors, including seasonality, also

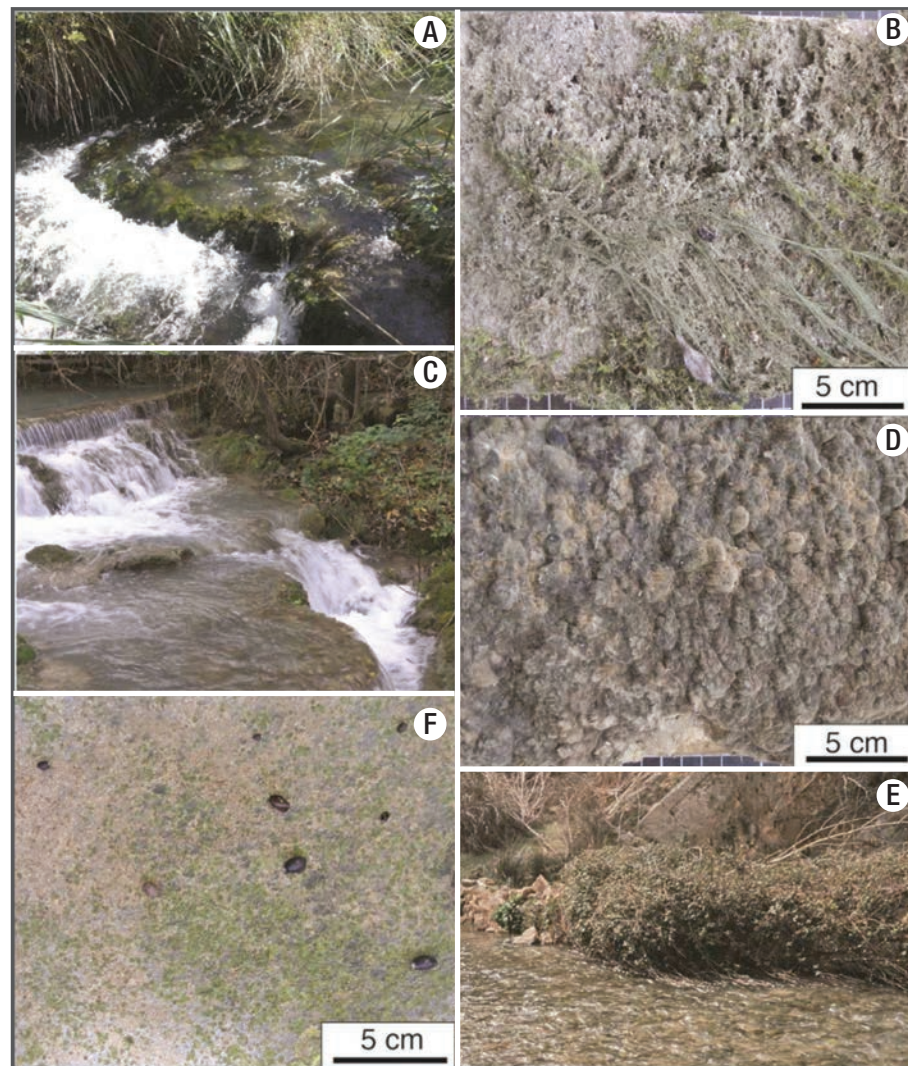
influence the way in which calcite precipitates around microbial colonies. For instance, poor precipitation on diatom biofilms during the winter (e.g. Arp *et al.*, 2001) may reverse during the summer when there is a much higher rate of calcite precipitation (Vázquez-Urbez *et al.*, 2010). Carbonate precipitation may also change due to variations in community composition, which in turn influence the amount and type of organic substrates on which  $\text{CaCO}_3$  can bind and start calcite nucleation (e.g. Lebron & Suarez, 1996). Although determining the particular role of the MR diatoms in the processes of tufa formation requires additional studies, the biotic components in the river certainly contribute to developing particular structures and textures, and determine much of the volume and porosity of the MR and other tufa deposits of the world (Rogerson *et al.*, 2008; Pedley, 2009; Pedley *et al.*, 2009; Gradzinski,



2010; Shiraishi *et al.*, 2010; Vázquez-Urbez *et al.*, 2010). Usually, the organisms that produce more biomass exert a major influence on the inner texture and fabric developed in tufas. This is evident in soft, moss-rich, porous tufa that can grow > 10 mm/year in these rivers, compared to 5 mm/year or less in microbial, biofilm-dominated tufas (Vázquez-Urbez *et al.*, 2010).

Interestingly, this effect of the biology on the inner texture of the tufas also occurs in other chemical sedimentary deposits where microbes are present (e.g. travertines, stromatolites, thrombolites, and silica sinters; see Cady & Farmer, 1996; Jones & Renaut, 1996; Jones *et al.*, 1998; Riding, 2000; Konhauser *et al.*, 2001; Pentecost, 2005; Jones *et al.*, 2007, 2008). In the MR, the presence of diatoms frustules within the tufa structure (and within most chemical sedimentary deposits), likely

influences the diagenetic processes of lithification and remineralization early after lithification (which is quite fast in chemical deposits). Other means of influence may involve the amount of organic matter they contribute to the system, a part of which is expected to be entombed within the tufa structure (Fig. 7). It remains unclear, however, how this organic matter and silica frustules affect the diagenetic processes of the tufa over time. Nevertheless, fluids and minerals likely evolve through time and alter the primary structure of the tufa, as well as the amount and composition of organic matter and metabolic byproducts, along with the recycling of the opaline silica frustules trapped within the sedimentary structure during intermediate stages of tufa formation (e.g. Kastner *et al.*, 1977; Hein *et al.*, 1978; Barker *et al.*, 1991; Michalopoulos *et al.*, 2000).



Figures 8A-F. Field view of the major sedimentary facies distributed along the Mesa River, and close ups of limestone tablets recovered at representative sites with those facies. **A-B)** facies A (moss- and algal-dominated, soft and highly porous sediment) at site 4. **C-D)** facies B (dense, laminated tufa) at site 2. **E-F)** facies C (gravel-dominated, poor tufa development) at site 9. Note snails of different sizes grazing on primary producers, which erode the tufa surface.

**Sedimentary and hydrochemical variables.** Data from previous studies on the hydrochemistry of the MR (Auque *et al.*, 2013) were used for correlation with the presence of diatom genera using an Anova Poisson regression (Fig. 9). Some of the physicochemical variables (alkalinity [ $\text{HCO}_3^-$ ],  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{pCO}_2$ , and TDIC) varied negatively and significantly with respect to diatom genera richness, while pH and  $\text{CaCO}_3$  were also significant but varied positively (Fig. 9). In sites with low (< 5) number of genera present (sites 1, 9, 10), these variables attained high values, whereas in sites with a higher number of genera (> 5) their values were low, especially sites 6 and 8, which had the highest richness of all.

The number of genera present in samples from the beginning and the end of the river was low, in sites where springs and human establishments (especially the largest, Jaraba and Ildes) also occur (Fig. 1). Nevertheless, other sites close to (less populated) towns (e.g. sites 3 and 6) had a relatively high numbers of diatom genera, causing uncertainty as to whether human establishments had a direct influence on diatoms or not. Further considerations on the degree of human activity in these towns and its impact on the quality of nearby water, including outputs from agriculture and other activities, should be assessed before assuming a negative correlation between these two variables.

In the MR, deep-underground, somewhat thermal, and cool-water surface processes drive calcite precipitation at a large scale. Calculated saturation index (SIc) for calcite were consistent with abundant tufa formation with values above 0.77 (Auque *et al.*, 2013) that seem sufficient to overcome the carbonate kinetic precipitation barrier (e.g. Jacobson & Usdowski, 1975; Dandurand *et al.*, 1982; Suarez, 1983; Drysdale *et al.*, 2002; Malusa *et al.*, 2003; Lojen *et al.*, 2004). The springs along the river (sites 1, 3 and 9) were the exception, as the SIc decreases below 3.20 (Auque *et al.*, 2013) and almost no tufa formation took place at those sites (only facies C develops there). These sites were directly affected by nearby groundwater discharges (especially at the

Jaraba thermal waters) at equilibrium or near equilibrium with respect to calcite. Mixing of groundwater inputs and surface water seemed to promote a clear decrease in the SIc values, as well as an increase in the  $\text{pCO}_2$  partial pressure, the  $\text{HCO}_3^-$ , and TDIC contents. Therefore, the occurrence of several groundwater discharge points along the MR is likely a main factor controlling the tufa sedimentation rates, as groundwater inputs promote the increase in the partial pressure of  $\text{CO}_2$  and the decrease in the SIc values, precluding tufa formation near those groundwater discharge points. Downstream of these points,  $\text{CO}_2$  degassing increases the SIc values and, after a certain distance, saturation index values again reach the minimum threshold for tufa formation (see Auque *et al.*, 2013 for further details).

Furthermore, the number of diatom genera decreased with higher concentrations of  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{pCO}_2$ , and TDIC (Fig. 9), and increased with pH. In this respect, higher  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$  concentrations in the water are assumed to derive from less  $\text{CaCO}_3$  precipitation for sites 1, 9, and 10, which coincidentally record the lowest tufa deposition rates and the lowest numbers of diatom genera (Facies C). These sites were strongly influenced by groundwater inputs, which supplied dissolved  $\text{CO}_2$  to the flowing water, therefore inhibiting or lowering  $\text{CaCO}_3$  precipitation (Auque *et al.*, 2013). The drastic decrease in numbers of diatom genera at site 9 and downstream may be influenced by the high underground discharge of the Jaraba springs (570 to 647 l/s). By contrast, sites with high numbers of diatom genera were away from spring discharges and had different sedimentary facies. For example, in sites with higher numbers of diatom genera (sites 4, 6, and 8), soft, porous tufa with abundant calcified filamentous algae and mosses has developed (facies A; Fig. 8 A-B). In contrast, sites 5 and 7 displayed both facies A and B, but developed in more shady areas (less photosynthetic activity), particularly site 7. It is possible that the dominance of diatoms in places with low  $\text{CaCO}_3$  precipitation, is also influenced by their biotic

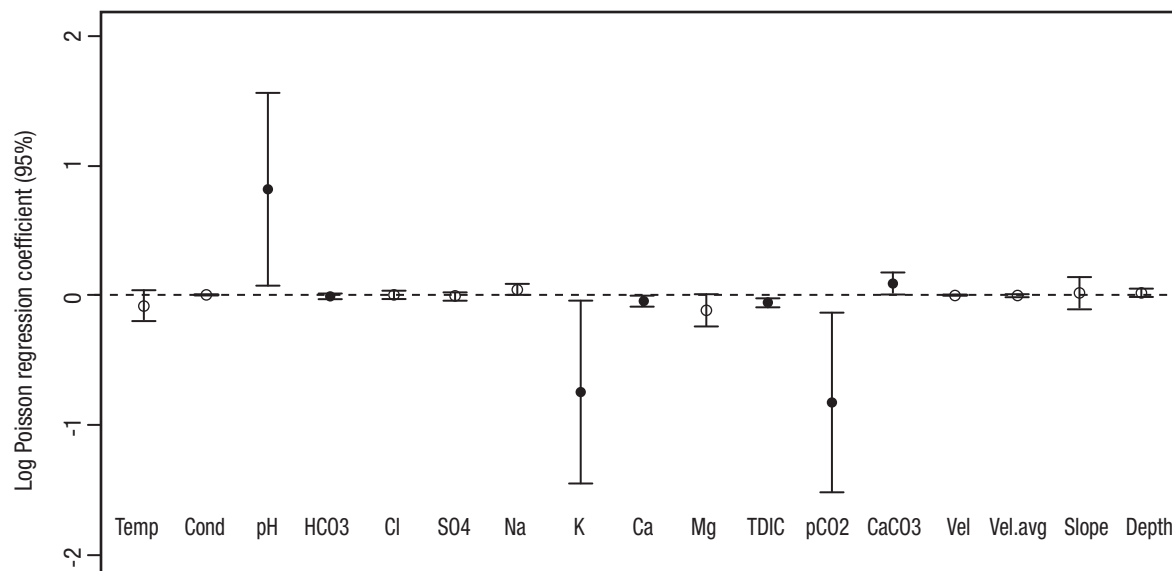


Figure 9. Poisson regression of physicochemical data (Auque *et al.*, 2013) and diatom richness values. Only black dots indicate variables that correlated significantly with richness. Values for pH and  $\text{CaCO}_3$  correlated positively. Values for  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , TDIC, and  $\text{pCO}_2$  correlated negatively. The log regression was constrained to the 95% confidence interval.

interactions, such as their epiphytic habit (higher richness where mosses and algae were more abundant), which are ultimately determined by the different physical and chemical conditions at each site. Despite the wide range of environmental conditions that a single species of diatom can tolerate (e.g. Fischer, 1979; Sánchez-Castillo 1993), the hydrochemistry along the MR has remained fairly constant throughout the last decade (Auque *et al.*, 2013). Yet for some diatom species, a wide range of environmental conditions may not significantly affect changes in morphology (Stevenson *et al.*, 1996). Therefore, assessments based on morphological traits to the level of genera should be taken with caution when using them as proxies for interpreting past or present environmental parameters, because discrete morphological changes may not be detected to the species level. Tufas exist since ancient times (Brasier, 2011) and thus are potential paleoenvironmental reservoirs of information about the physicochemical conditions at the time of deposition (Pedley & Rogerson, 2010), which may help us better understand the ecology of these environments through time. More studies on the diversity of the microflora living in these unique, freshwater sedimentary systems are needed. The use of biotechnological and bioinformatic tools are needed to explore such biodiversity. At least for diatoms, however, the recognition of the morphological expression of such biota should never be neglected.

### ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Sergio Cevallos-Ferriz, Antonio Altamira, Gerardo Zenteno, Elena Lounejeva, and Alexander Correa-Metrio, Institute of Geology, UNAM; Eberto Novelo Maldonado, Faculty of Sciences, UNAM; and Dr. Michal Gradzinski, Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, for their comments and technical support. This study was funded by projects REN2002-3575CLI and CGL2006-05063BTE of the Spanish Government and European Regional Development Funds. This is part of the Continental Sedimentary Basin Analysis Group (Aragon Government, University of Zaragoza).

### REFERENCES

- APPELO, C. A. J., & D. POSTMA. 2005. *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2nd Ed. *Balkema Publisher*, London. 647 p. DOI: 10.1201/9781439833544
- ARENAS, C., F. GUTIÉRREZ, C. OSÁCAR & C. SANCHO. 2000. Sedimentology and geochemistry of fluvio-lacustrine tufa deposits controlled by evaporite solution subsidence in the central Ebro Depression, NE Spain. *Sedimentology* 47: 883-909. DOI: 10.1046/j.1365-3091.2000.00329.x
- AUQUE, L. F., P. ACERO, M. J. GIMENO, J. B. GÓMEZ & M. P. ASTA. 2009. Hydrogeological modeling of a thermal system and lessons learned for CO<sub>2</sub> geologic storage. *Chemical Geology* 268: 324-336. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2009.09.011
- AUQUE, L. F., C. ARENAS, C. OSCAR, G. PARDO, C. SANCHO & M. VÁZQUEZ-URBEZ. 2013. Tufa sedimentation in changing hydrological conditions: the River Mesa (Spain). *Geologica Acta* 11 (1): 85-102. DOI: 10.1344/105.000001774
- ARP, G., N. WEDEMEYER & J. REITNER. 2001. Fluvial tufa formation in the hard water creek Deinschwanger Bach (Franconian Alb, Germany). *Facies* 44: 1-22. DOI: 10.1007/bf02668163
- ARP, G., A. BISSETT, N. BRINKMANN, S. COUSIN, D. DE BEER, T. FRIEDL, K. I. MOHR, T. R. NEU, A. REIMER, F. SHIRAIISHI, E. STACKEBRANDT & B. ZIPPEL. 2010. Tufa-forming biofilms of German karstwater streams: microorganisms, exopolymers, hydrochemistry and calcification. *Geological Society of London, Special Publication* 336: 83-118. DOI: 10.1144/sp336.6
- BARKER, P., F. GASSE, N. ROBERTS & M. TAIEB. 1991. Taphonomy and diagenesis in diatom assemblages; a Late Pleistocene palaeoecological study from Lake Magadi, Kenya. *Hydrobiologia* 214: 267-272. DOI: 10.1007/bf00050960
- BERALDI-CAMPESI, H., S.R.S. CEVALLOS-FERRIZ & E. CHACÓN-BACA. 2004. Microfossil algae associated with Cretaceous stromatolites in the Tarahumara Formation, Sonora, Mexico. *Cretaceous Research* 25: 249-265. DOI: 10.1016/j.cretres.2003.12.002
- BERALDI-CAMPESI, H., C. ARENAS-ABAD, F. GARCIA-PICHEL, O. ARELLANO-AGUILAR, L. AUQUE, M. VÁZQUEZ-URBEZ, C. SANCHO, C. OSÁCAR & S. RUIZ-VELASCO. 2012. Benthic bacterial diversity from freshwater tufas of the Iberian Range (Spain). *FEMS Microbiology Ecology* 80: 363-379. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2012.01303.x
- BERALDI-CAMPESI H. 2014. Life cycle of a Cretaceous non-marine centric diatom. *Cretaceous Research* 50: 89-96. DOI: 10.1016/j.cretres.2014.03.025
- BOURRELLY, P. 1968. *Les Algues d'eau douce. Initiation a la systematique, II: Les Algues jaunes et brunes, Chrysophycees, Pheophycees, Xanthophycees et Diatomees*. *Pans Editions N. Boubee & Cie*. Paris. 438 p. DOI: 10.2307/2258341
- BRASIER, A. T. 2011. Searching for travertines, calcretes and speleothems in deep time: Processes, appearances, predictions, and the impact of plants. *Earth-Science Reviews* 104 (4) 213-239. DOI: 10.1016/j.earscirev.2010.10.007
- BRINKMANN, N., A. BEHNKE, S. BRUNS, K. MOHR, R. JAHN & T. FRIEDL. 2007. Assessing the diversity of pennate benthic diatoms in calcifying biofilms of hard water creeks. *In: Kusber W. H. & R. Jahn (Eds.). Proceedings of the 1st Central-European Diatom Meeting. Botanic Garden and Botanical Museum Berlin-Dahlem, Freie Universitat Berlin*. p. 11-14. DOI: 10.3372/cediatom.102
- CADY, S. L. & J. D. FARMER. 1996. Fossilization processes in siliceous thermal springs: Trends in preservation along thermal gradients. *In: G. R. Bock & J. A. Goode (Eds.). Evolution of Hydrothermal Ecosystems on Earth (and Mars?)*, CIBA Foundation Symposium No. 202 *Wiley and Sons*. Chichester, UK. p. 150-173. DOI: 10.1002/9780470514986.ch9
- CHAFETZ, H. S., P. F. RUSH & N. M. UTECH. 1991. Microenvironmental controls on mineralogy and habit of CaCO<sub>3</sub> precipitates an example from an active travertine system. *Sedimentology* 38: 107-126. DOI: 10.1111/j.1365-3091.1991.tb01857.x
- CHEN, J., D. D. ZHANG, S. WANG, T. XIAO & R. HUANG. 2004. Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites. *Sedimentary Geology* 166: 353-366. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2004.02.003



- CORRAL-LAFUENTE, J. L. 2000. La génesis de la comunidad de aldeas de Calatayud, Aragón, en la Edad Media. XVI. *Homenaje al Profesor Emérito Ángel San Vicente Pino*, vol. 16, Departamento de Historia Medieval, Universidad de Zaragoza, Zaragoza. pp. 197-213. ISSN: 0213-2486
- COUSIN, S. & E. STACKEBRANDT. 2010. Spatial Bacterial Diversity in a Recent Freshwater Tufa Deposit. *Geomicrobiology Journal* 27: 275-291. DOI: 10.1080/01490450903410449
- DANDURAND, J. L., R. GOUT, J. HOEFS, G. MENSCHÉL, J. SCHOTT, & E. USDOWSKI. 1982. Kinetically controlled variations of major components and carbon and oxygen isotopes in a calcite-precipitating spring. *Chemical Geology* 36: 299-315. DOI: 10.1016/0009-2541(82)90053-5
- DESIKACHARY, T. V. 1987. *Atlas of Diatoms*. 1st Ed, *Madras Science Foundation*. Madras, India. 221 p.
- DITTRICH, M. & S. SIBLER. 2010. Calcium Carbonate Precipitation by Cyanobacterial Polysaccharides, In: Pedley, H.M. & M. Rogerson (Eds.) *Tufas and Speleothems: Unravelling the Microbial and Physical Controls*. *Geological Society of London, Special Publication* 336, pp. 51-63. DOI: 10.1144/sp336.4
- DRYSDALE, R., M. P. TAYLOR & C. IHLENFELD. 2002. Factors controlling the chemical evolution of travertine-depositing rivers of the Barkly karst, northern Australia. *Hydrological Processes* 16: 2941-2962. DOI: 10.1002/hyp.1078
- FISCHER, H. 1979. Osmotic behavior of diatoms of a hypersaline lake in comparison with tidal diatoms. *Nova Hedwigia* 64: 251-264.
- FLOR-ARNAU, N., E. VEGAS, A. GALAN & J. CAMBRA. 2008. *Red de intercalibración, red de referencia y red básica de diatomeas en la Cuenca del Ebro. Resultados verano 2008. Informe final 2007-2008*. *Universitat de Barcelona- Confederación Hidrográfica del Ebro*. Barcelona, Catalunya. 146 p.
- GUIRY, M. D. & G. M. GUIRY. 2015. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algae-base.org>
- GRADZINSKI, M. 2010. Factors controlling growth of modern tufa: results of a field experiment. In: Pedley H. M. & M. Rogerson (Eds.) *Tufas and Speleothems: Unravelling the Microbial and Physical Controls*. *Geological Society Special Publications* 336: 143-191. DOI: 10.1144/sp336.8
- HEIN, J. R., D. W. SCHOLL, J. A. BARRON, M. G. JONES & J. MILLER. 1978. Diagenesis of late Cenozoic diatomaceous deposits and formation of the bottom simulating reflector in the southern Bering Sea. *Sedimentology* 25:155-181. DOI: 10.1111/j.1365-3091.1978.tb00307.x
- HUDON, C. & P. LEGENDRE. 1987. The ecological implications of growth forms in epibenthic diatoms. *Journal of Phycology* 23: 434-441. DOI: 10.1111/j.1529-8817.1987.tb02529.x
- HUSTEDT, F. 1930. Bacillariophyta (Diatomeae). In: A. Pascher (Ed.), *Die Stisswasser-Flora Mitteleuropas*. Gustav Fischer, Jena. *Zweite Auflage*. Heft 10. 466 p., 875 Figs.
- JACOBSON, R. L. & E. USDOWSKI. 1975. Geochemical controls on a calcite precipitating spring. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 51 (1): 65-74. DOI: 10.1007/bf00403513
- JONES, B. & R. W. RENAULT. 1996. Morphology and growth of aragonite crystals in hot-spring travertines at Lake Bogoria, Kenya rift valley. *Sedimentology* 43: 323-340. DOI: 10.1046/j.1365-3091.1996.d01-7.x
- JONES, B., R. W. RENAULT & M. R. ROSEN. 1998. Microbial biofacies in hot-spring sinters: A model based on Ohaaki Pool, North Island, New Zealand. *Journal of Sedimentary Research* 68: 413-434. DOI: 10.2110/jsr.68.413
- JONES, B., C. E. J. DE RONDE, R. W. RENAULT & R. B. OWEN. 2007. Siliceous sublacustrine spring deposits around hydrothermal vents in Lake Taupo, New Zealand. *Journal of the Geological Society of London* 164: 227-242. DOI:10.1144/0016-76492005-102
- JONES, B., C. E. J. DE RONDE & R. W. RENAULT. 2008. Mineralized microbes from Giggenbach submarine volcano. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 113, B08S05: 1-13. DOI: 10.1029/2007jb005482
- KASTNER, M., J. B. KEENE, & J. M. GIESKES. 1977. Diagenesis of siliceous oozes. I. Chemical controls on the rate of opal-A to opal-CT transformation- an experimental study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 41:1041-1059. DOI: 10.1016/0016-7037(77)90099-0
- KONHAUSER, K. O., V. R. PHOENIX, S. H. BOTTRELL, D. G. ADAMS & I. M. HEAD. 2001. Microbial-silica interactions in Icelandic hot spring sinter: Possible analogues for Precambrian siliceous stromatolites. *Sedimentology* 48: 415-433. DOI: 10.1046/j.1365-3091.2001.00372.x
- KRUMBEIN, W. E., D. M. PATERSON & G. ZAVAZIN (Eds.) 2003. *Fossil and Recent biofilms: a natural history of life on Earth*. *Kluwer Academic*. Dordrecht. 504 p. DOI: 10.1017/s0016756805260776
- LEBRON, I. & D. L. SUAREZ. 1996. Calcite nucleation and precipitation kinetics as affected by dissolved organic matter at 25 C and pH>7.5. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60: 2767-2776. DOI: 10.1016/0016-7037(96)00137-8
- LOJEN, S., T. DOLENEC, B. VOKAL, N. CUKROV, G. MIHELICIC & W. PAPESCH. 2004. C and O stable isotope variability in recent freshwater carbonates (River Krka, Croatia). *Sedimentology* 51: 361-375. DOI: 10.1111/j.1365-3091.2004.00630.x
- MALUSA, J., S. T. OVERBY & R. A. PARNELL. 2003. Potential for travertine formation: Fossil Creek, Arizona. *Applied Geochemistry* 18: 1081-1093. DOI: 10.1007/s10750-009-9791-z
- MERZ-PREIß, M. & R. RIDING. 1999. Cyanobacterial tufa calcification in two freshwater streams: ambient environment, chemical thresholds and biological processes. *Sedimentary Geology* 126: 103-124. DOI: 10.1016/s0037-0738(99)00035-4
- MICHALOPOULOS, P., R. C. ALLER & R. J. REEDER. 2000. Conversion of diatoms to clays during early diagenesis in tropical, continental shelf muds. *Geology* 28: 1095-1098. DOI: 10.1130/0091-7613(2000)28<1095:codtcd>2.0.co;2
- PEDLEY, M. 2009. Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology* 56: 221-246. DOI: 10.1111/j.1365-3091.2008.01012.x



- PEDLEY, M., M. ROGERSON & R. MIDDLETON. 2009. Freshwater calcite precipitates from in vitro mesocosm flume experiments: a case for biomediation of tufas. *Sedimentology* 56: 511-527. DOI: 10.1111/j.1365-3091.2008.00983.x
- PEDLEY, M. & M. ROGERSON. 2010. *Tufas and Speleothems. Unravelling the Microbial and Physical Controls. Geological Society Special Publication* No. 336-1. The Geological Society of London, Bath UK. 368 p. DOI: 10.1144/sp336.0
- PENTECOST, A. 2005. *Travertine. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg*. 445 p. DOI: 10.1007/1-4020-3606-X
- PINUAGA, J. I., E. GARRIDO & A. RAMIREZ. 2004. Geología, Hidrogeología y protección de los Balnearios de Jaraba (Zaragoza). *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* 79: 597-610. ISSN 0034-0618, ISSN-e 1697-4271
- RIDING, R. 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology* 47 (Supplement 1): 179-214. DOI: 10.1046/j.1365-3091.2000.00003.x
- ROGERSON, M., M. PEDLEY, J.D. WADHAWAN & R. MIDDLETON. 2008. New insight into biological influence on the geochemistry of freshwater carbonate deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72: 4976-4987. DOI: 10.1016/j.gca.2008.06.030
- ROUND, F. E., R. M. CRAWFORD & D. G. MANN. 1990. *The diatoms. Biology and morphology of the Genera. Cambridge University Press, Cambridge*. 758 p. DOI: 10.1016/s0031-9422(00)95245-2
- SÁNCHEZ-CASTILLO, P. M. 1993. *Amphora margalefii* Tomas var. *lacustris* P. Sánchez var. *nova*, a new brackish water diatom. *Hydrobiologia* 200/201: 475-486. DOI: 10.1007/978-94-017-3622-0\_10
- SÁNCHEZ-NAVARRO, J. A., P. COLOMA & A. PÉREZ-GARCIA. 2004. Evaluation of geothermal flow at the springs in Aragon (Spain), and its relation to geologic structure. *Hydrogeology Journal* 12: 601-609. DOI: 10.1007/s10040-004-0330-8
- SANCHO, C., C. ARENAS, G. PARDO, M. VÁZQUEZ, J. HELLSTROM, J.E. ORTIZ, T. TORRES, E. RHODES, M. C. OSÁCAR & L. AUQUÉ. 2010. Preliminary chronology of the Quaternary tufas from the Piedra River (Iberian Range). *Geogaceta* 48: 31-34.
- SHIRAIISHI, F., A. REIMER, A. BISSETT, D. DE BEER & G. ARP. 2008. Microbial effects on biofilm calcification, ambient water chemistry and stable isotope records (Westerhofer Bach, Germany). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 262: 84-99. DOI: 10.1016/j.palaeo.2008.02.011
- SHIRAIISHI, F., T. OKUMURA, Y. TAKAHASHI & A. KANO. 2010. Influence of microbial photosynthesis on tufa stromatolite formation and ambient water chemistry, SW Japan. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74: 5289-5304. DOI: 10.1016/j.gca.2010.06.025
- SMITH, G. M. 1950. *Fresh-water algae of the United States*. 2nd ed. *McGraw-Hill*, New York, 719 p. DOI: 10.2307/2421748
- SMOL, J. P. & E. F. STOERMER (Eds.). 2010. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. 2nd edition, *Cambridge University Press, Cambridge*. 686 p. ISBN: 9781107564961
- STEVENSON, R. J., M. L. BOTHWELL & R. L. LOWE (Eds.). 1996. *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. Academic Press, San Diego CA*. 753 p. DOI: 10.2307/1313044
- SUAREZ, D. L. 1983. Calcite supersaturation and precipitation kinetics in lower Colorado River, All American canal and east highland canal. *Water Resources Research* 19: 653-661. DOI: 10.1029/wr019i003p00653
- VÁZQUEZ-URBEZ, M., C. ARENAS, C. SANCHO, C. OSCAR, L. AUQUE & G. PARDO. 2010. Factors controlling present-day tufa dynamics in the Monasterio de Piedra Natural Park (Iberian Range, Spain): depositional environmental settings, sedimentation rates and hydrochemistry. *International Journal of Earth Sciences* 99 (5): 1027-1049. DOI: 10.1007/s00531-009-0444-2
- VÁZQUEZ-URBEZ, M., C. ARENAS & G. PARDO. 2012. A sedimentary facies model for stepped, fluvial tufa systems in the Iberian Range (Spain): the Quaternary Piedra and Mesa valleys. *Sedimentology* 59 (2): 502-526. DOI: 10.1111/j.1365-3091.2011.01262.x

**Recibido:** 23 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 15 de abril de 2016.

## Macroalgas bénticas de la Bahía de Tumaco, Pacífico colombiano

## Seaweed checklist of Tumaco's bay, Colombian Pacific

Hernel Marín Salgado y Enrique Javier Peña Salamanca

Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad del Valle. A. A. 25360. Ciudad Universitaria Meléndez. Calle 13 # 100-00. Cali. Colombia  
e-mail: hernel.marin@correounivalle.edu.co

Marín Salgado H y E. J. Peña Salamanca. 2016. Macroalgas bénticas de la Bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Hidrobiológica* 26 (2): 299-309.

## RESUMEN

**Antecedentes.** La flora de algas marinas bénticas del Pacífico colombiano pertenece a las áreas menos conocidas del Pacífico Tropical Oriental, reportándose en total 133 especies. Esta diversidad algal es relativamente baja, comparada con la registrada en el Caribe Colombiano, que suma 549 especies. **Objetivos.** El presente trabajo evaluó la diversidad de la flora algal de la bahía de Tumaco, Colombia, haciendo la identificación y descripción de los ejemplares colectados en distintos tipos de ambientes, así como la actualización de los registros ficológicos, para tener un inventario más completo de las algas bénticas de esta región. El estudio describe los hábitats costeros de la bahía y las relaciones entre las características ecológicas y de distribución de las especies. **Métodos.** El material algal procedente de los esteros y zonas rocosas de la ensenada de la Bahía Tumaco fue recolectado entre mayo a diciembre de 2009 y marzo a octubre de 2010. En la zona submareal el material fue recolectado mediante buceo autónomo. Adicionalmente, se hizo una revisión de literatura de registros ficológicos en la región. **Resultados.** En total se registraron 26 especies de macroalgas bénticas para la bahía de Tumaco, de las cuales, ocho son Chlorophyta, dos Ochrophyta (clase Phaeophyceae) y 16 Rhodophyta; distribuidas en nueve órdenes, 14 familias y 19 géneros. De cada especie se incluye una descripción con datos morfológicos y morfométricos y tablas que resumen la información del hábitat y distribución geográfica de cada una de ellas. **Conclusiones.** La bahía de Tumaco presenta baja diversidad de macroalgas bénticas (26 especies) en comparación con estudios en otros ambientes costeros del Pacífico oriental tropical, como la isla Gorgona (Colombia) y costas de Costa Rica, Panamá y El Salvador, con 42, 216, 174 y 146 especies, respectivamente. Resultados similares se presentan en las costas de Nicaragua y Guatemala donde también se han reportado pocas especies de macroalgas bentónicas, 24 y 16, respectivamente.

**Palabras clave:** Chlorophyta, Estuarios, Pacífico colombiano, Phaeophyceae, Rhodophyta.

## ABSTRACT

**Background.** The benthic phycological flora of the Colombian Pacific is found in one of the less known areas of the eastern tropical Pacific, with a total registry of 133 species. Algal biodiversity on the Pacific Coast is relatively low, compared to the Colombian Caribbean, where previous research has registered about 549 species. **Goals.** This study evaluated the marine macroalgal flora of Tumaco Bay, southern Colombian Pacific, including inventory, species description, and new records in this coastal region. **Methods.** Algal material was collected from rocky shores and estuarine creeks within the bay between May and December 2009, and March to October 2010. Subtidal algal specimens were collected with scuba. Further, the study recorded additional species and new species locations in the region. **Results.** The study registered a total of 26 species, of which eight are Chlorophyta, two are Ochrophyta-Phaeophyceae, and 16 are Rhodophyta. These records were distributed in nine orders, 14 families, and 19 genera. The study described the coastal habitats within the bay and the relationships between ecological features and species distribution. Descriptions of each species included morphological data, habitat, and species distribution. **Conclusions.** Tumaco Bay exhibited low algal diversity (26 species) when compared to studies on Gorgona Island, and along the shores of Costa Rica, Panama, El Salvador, Nicaragua, and Guatemala, with 42, 216, 174, 146, 24, and 16 species, respectively. Similar results have been recorded on the Pacific coasts of Nicaragua and Guatemala, with registries of 24 and 16 algal species, respectively.

**Key words:** Chlorophyta, Colombia eastern tropical Pacific, estuary, Phaeophyceae, Rhodophyta.

## INTRODUCCIÓN

La flora de algas marinas bénticas del Pacífico colombiano pertenece a las áreas menos conocidas del Pacífico Tropical Oriental. En comparación con el litoral Caribe colombiano, la flora de algas del Pacífico es menos rica en especies. Díaz y Díaz (2003) registraron un total de 549 especies para la región Caribe. En contraste, Peña y Palacios (1988) reconocieron en total 133 especies para la zona continental del litoral Pacífico. La baja diversidad de algas está relacionada con factores como la pluviosidad, la salinidad, la turbidez en la columna de agua y las condiciones desfavorables del sustrato (Schnetter & Bula, 1982; Marín & Peña, 2014).

Varios autores aseguran que la baja diversidad de flora marina en el Pacífico está vinculada con: los talos relativamente poco desarrollados, el difícil acceso a las localidades costeras y clima desfavorable, lo que explica que en tiempos pasados se recolectaran pocas algas en la costa del Pacífico de Colombia (Schnetter & Bula, 1982; Peña, 1998). Particularmente se ha estudiado con mayor énfasis las algas asociadas a manglar, y se ha demostrado que representan un valor ecológico significativo, especialmente por su aporte de carbono y materia orgánica en la columna de agua y su contribución a la remoción de nitrógeno, fósforo, metano y metales pesados que afectan la calidad de las aguas costeras (Robledo, 1996; Susarla *et al.*, 2002; Peña *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2006; Peña *et al.*, 2011).

Los bosques de manglar conforman uno de los ecosistemas más importantes del Pacífico colombiano, y dominan en las zonas costeras (Cantera, 1991; Peña, 1998; Cantera y Blanco, 2001; Peña, 1998), además, constituyen uno de los principales sustratos para la fijación de talos de la flora algal, especialmente en las áreas fangosas de la línea costera (Peña, 2008; Marín & Peña, 2014). La comunidad de algas epífitas está dominada principalmente por algas rojas, de los géneros *Bostrychia* (Rhodomelaceae, Ceramiales), *Caloglossa* (Delesseriaceae, Ceramiales) y *Catenella* (Caulacanthaceae, Gigartinales) (Schnetter & Bula 1982; Peña *et al.*, 1987; Peña & Palacios 1988; Peña, 1998; Karsten *et al.*, 2000). Esta asociación de algas conocida como el complejo "*Bostrychium*", se refiere principalmente a la relación característica global de estos géneros (Cantera, 1991; Peña, 1998; Cantera y Blanco, 2001; Peña, 2008).

La bahía de Tumaco se comporta como un sistema estuarino pues existe un intercambio continuo de aguas oceánicas con aguas continentales provenientes de la cuenca de los ríos Rosario, Mejicano y Curay, entre otros. El régimen mareal semidiurno de la bahía determina las condiciones de calidad del agua y provoca la dilución o concentración de los nutrientes, la variación de otros parámetros fisicoquímicos y la determinación de los procesos propios del ecosistema (Garay-Tinoco *et al.*, 2006). Las condiciones oceanográficas del cuerpo costero están relacionadas con la composición florística de algas en la bahía, por cuanto la presencia de ciertas especies está influenciada por la salinidad y el tipo de sustrato. De igual manera, el resultado de la confluencia entre aportes naturales y antrópicos (estos últimos representados por contribuciones provenientes de poblaciones ribereñas, aguas residuales domésticas e industriales, actividades marítimas y portuarias), pueden influenciar el registro de ciertas especies de algas con importancia bioindicadora (Peña *et al.*, 2005; Celis, 2008).

El presente trabajo evaluó el recurso algal de la bahía de Tumaco, mediante la descripción y actualización de los registros y del inventario de especies en esta región costera de la costa Pacífica colombiana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El área de estudio se encuentra ubicada en el sur de la costa Pacífica de Colombia, en el departamento de Nariño, en la bahía de Tumaco y algunos esteros que actúan como brazos del río Mira (Fig. 1). La bahía de Tumaco se encuentra entre las latitudes 1°45' y 2°00' N y las longitudes 78°30' y 78°45' O; comprende un área de aproximadamente 350 km<sup>2</sup> con profundidades que varían entre 0 y 50 m (Garay-Tinoco *et al.*, 2006), y está conformada por una red hidrográfica de importantes tributarios de la cuenca del Pacífico, además de una extensa zona de esteros, de los cuales los más reconocidos son: Guandarajo, Chontal, Natal, Aguaclara, Pajal, Palmichal, Curay y Llanaje.

La zona de muestreo está influenciada por el aporte de agua del río Mira, principal colector de los tributarios de la región, que aporta gran cantidad de sedimentos en la zona costera aledaña (234.000 t. año<sup>-1</sup>), con una menor penetración de la luz en la columna de agua, especialmente en la época lluviosa a causa del lavado de suelos (Garay-Tinoco *et al.*, 2006).

Las zonas de muestreo se dividen en dos grupos: el primero está conformado por zonas estuarinas caracterizadas por su alta productividad biológica y representadas en bosques de manglar dominados por *Rhizophora mangle* Linnaeo, *Avicennia germinans* Linnaeo y *Laguncularia racemosa* Karl Friedrich von Gärtner, con pocos sustratos duros y dominancia de planos lodosos; el segundo grupo corresponde a la ensenada, dominada principalmente por zonas rocosas y fondos arenosos.

**Listado taxonómico.** Para el desarrollo del listado se revisaron publicaciones, reportes bibliográficos y recolectas recientes, en los que se incluyen registros de algas del Pacífico colombiano, así como datos ecológicos y hábitat de las diferentes especies. El material se recolectó en los esteros referenciados y en la bahía entre mayo y diciembre de 2009 y entre marzo y octubre de 2010, (Fig. 1). Las macroalgas se recolectaron a nivel submareal, por medio de buceo autónomo y a nivel intermareal, y fueron removidas del sustrato manualmente y puestas en bolsas de plástico. La ubicación específica de la muestra dentro del hábitat fue tomada en el momento del muestreo. El material recolectado fue preservado en una solución de formalina al 4% en agua de mar, y se realizaron réplicas secas, las cuales fueron depositadas en el herbario CUVC de la Universidad del Valle, en Cali, Colombia. La identificación del material se llevó a cabo con base en la literatura existente para el Pacífico y el Atlántico Tropical (Schnetter & Bula, 1982; Díaz & Díaz, 2003; Wysor, 2004; Fernández, 2008; Fernández & Alvarado, 2008; Guiry & Guiry, 2014). Para comparar la flora marina de la zona de estudio con otras áreas, se revisaron los trabajos de Kamiya *et al.* (1997), West *et al.* (2001), Zuccarello *et al.* (2006), Zuccarello y West (2002, 2003, 2006) y Zuccarello *et al.* (2011). Se presenta la descripción de las especies registradas en la ensenada y la zona estuarina, con datos ecológicos, hábito, distribución geográfica y datos morfológicos en algunas especies. A su vez, la información taxonómica, y los datos de la distribución en el Pacífico colombiano y otras regiones del mundo se obtuvieron de la base de datos AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2014).

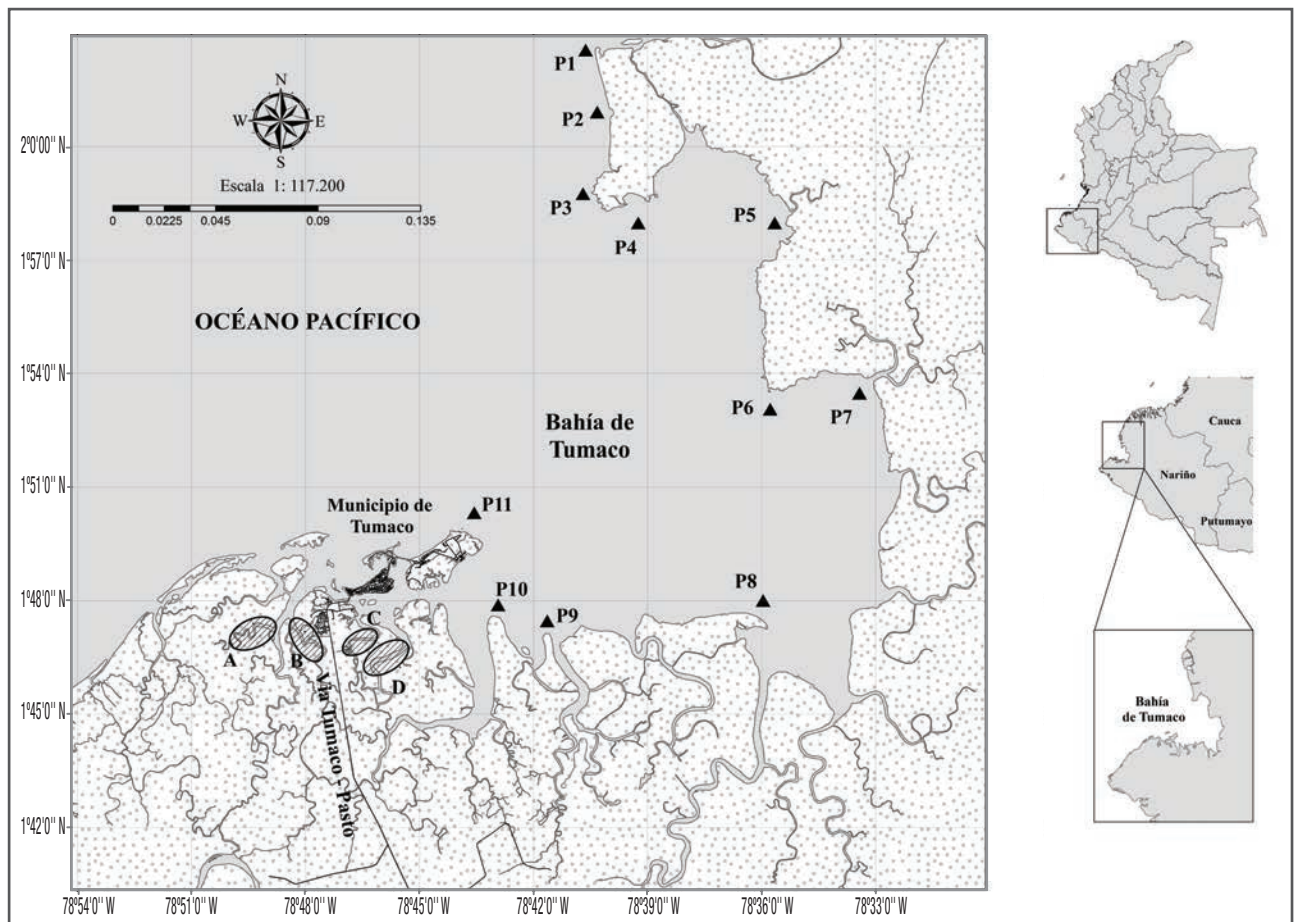


Figura 1. Bahía de Tumaco, Nariño, Colombia, indicando los puntos de muestreo en la bahía. P1- P2 = Salahonda. P3 = Pta. Cascajal. P4 = Pta. Isla del Gallo. P5 = Llanaje. P6 = Pta. Laura. P7 = Bocas de Curay. P8 = Trujillo. P9 = Resurrección. P10 = Playa El Bajo. P11= Isla del Morro y zona estuarina (A: Estero Chontal, B: Estero Palmichal, C: Estero Pajal, D: Estero Natal).

## RESULTADOS

En total se registraron 26 especies de algas, de las cuales ocho pertenecen al filo Chlorophyta; dos a Ochrophyta, clase Phaeophyceae y 14 a Rhodophyta, distribuidas en nueve órdenes, 14 familias y 18 géneros (Tabla 1). Los números de inclusión en el herbario CUVC de la Universidad del Valle se presentan en la Tabla 2. De la flora algal asociada al manglar, las especies del género *Bostrychia* son las más abundantes a lo largo de la línea costera.

### CHLOROPHYTA BRIOPSIDALES CAULERPACEAE

#### *Caulerpa sertularioides* (S.G. Gmelin) M. Howe

Localidad tipo: "in coralliis americanis"

Descripción: frondas rastreras, adheridas por medio de rizoides. Eje principal rastrero, entre 5-19 cm de longitud y 1.5-2 mm de diámetro. Ramificaciones de 8-15 cm de longitud y 1.0 mm de diámetro; con la porción proximal de los ejes libre de pínulas; ápices agudos. Pínulas opuestas, bilaterales, de 5-10 mm de longitud y 0.5 mm de diámetro.

Hábitat: creciendo sobre sustrato arenoso, en la zona intermareal, desde 2 m por debajo de línea de pleamar hasta 4 m de profundidad.

### BRIOPSIDALES UDOTEACEAE

#### *Boodleopsis verticillata* E.Y. Dawson

Localidad tipo: Interior de bahía San Telmo en Isla del Rey, Panamá.

Descripción: talos con estructura sifonal, formando cojines esponjosos, fijos al sustrato por medio de rizoides. Ramas erectas ramificadas de entre 100-50  $\mu\text{m}$  de diámetro, que nacen generalmente en verticilos de 3 a 5 en las partes terminales de los segmentos.

Hábitat: sobre sustratos fangosos, en áreas de pleamar

### CLADOPHORALES BOODLEACEAE *Cladophora herpestica* (Montagne) Kützing

Localidad tipo: bahía de islas Bay, Nueva Zelanda.



Tabla 1. Lista comparativa del número de especies de a nivel genérico, de las algas bentónicas marinas del Pacífico colombiano y de la Bahía de Tumaco. El arreglo orden taxonómico se basa principalmente en Guiry y Guiry (2014).

DIVISIÓN	Pacífico colombiano	Bahía de	DIVISIÓN	Pacífico colombiano	Bahía de
CLASE	(Schnetter &	Tumaco	CLASE	(Schnetter &	Tumaco
ORDEN	Bula-Meyer, 1982)	(este estudio)	ORDEN	Bula-Meyer, 1982)	(este estudio)
Familia			Familia		
Género			Género		
CHLOROPHYTA			CERAMIALES	42	11
ULVOPHYCEAE	27	7	Callithamnaceae	3	1
BRIOPSISDALES	6	2	<i>Callithamnion</i>	3	1
Caulerpaceae	5	1	Ceramiaceae	42	2
<i>Caulerpa</i>	5	1	<i>Ceramium</i>	7	2
Udoteaceae	1	1	Delesseriaceae	5	2
<i>Boodleopsis</i>	5	1	<i>Caloglossa</i>	4	2
CLADOPHORALES	5	4	Rhodomelaceae	17	6
Boodleaceae	1	2	<i>Bostrychia</i>	5	3
<i>Cladophora</i>	3	1	<i>Murrayella</i>	1	1
<i>Cladophoropsis</i>	2	1	<i>Polysiphonia</i>	4	2
Cladophoraceae	5	2	GELIDIALES	5	2
<i>Chaetomorpha</i>	1	1	Gelidiaceae	4	2
<i>Rhizoclonium</i>	1	1	<i>Gelidium</i>	4	2
ULOTRICHIALES	0	1	GIGARTINALES	8	2
Gayraliaceae	0	1	Caulacanthaceae	2	2
<i>Gayralia</i>	0	1	<i>Catenella</i>	2	2
ULVALES	3	1	GRACILARIALES	3	1
Ulvaceae	3	1	Gracilariceae	3	1
<i>Ulva</i>	0	1	<i>Gracilaria</i>	2	1
OCHROPHYTA-PHAEOPHYCEAE	20	2	TOTAL DIVISIONES	3	3
DICTYOTALES	8	2	TOTAL CLASES	3	3
Dictyoyaceae	8	2	TOTAL ORDENES	7	7
<i>Dictyota</i>	2	1	TOTAL FAMILIAS	13	14
<i>Padina</i>	3	1	TOTAL GÉNEROS	17	19
RHODOPHYTA	79	16	TOTAL TAXA	59	26
FLORIDEOPHYCEAE	76	16			

Descripción: talos erectos de hasta 2 cm de alto. Filamentos cilíndricos de 130-160 µm de diámetro, ápices redondeados. Rizoides en la base, con mayor presencia en zona proximal del talo.

Hábitat: sobre sustrato rocoso.

***Cladophoropsis membranacea* (Hofman Bang ex C. Agardh) Børgesen**

Localidad tipo: Santa Cruz, Islas Vírgenes.

Descripción: talo filamentosos con ramificación lateral, formando cojinetes de gran extensión. Filamentos de 170-270 µm de diámetro.

Hábitat: crecimiento epífita, sobre hojas de mangle de arribazón.

CLADOPHORALES  
CLADOPHORACEAE

***Chaetomorpha antennina* (Bory de Saint-Vincent) Kützting**

Localidad tipo: Isla Reunión (océano Índico).

Descripción: talos gregarios, formando grupos de filamentos rígidos, uniseriados, de 2-10 cm de altura, de crecimiento difuso, adheridos por medio de rizoides ramificados. Células basales aproximadamente 10 veces más largas que anchas, de hasta 9 mm de longitud y más de 500 µm de diámetro en la parte distal; paredes celulares gruesas y estratificadas, con constricciones en las áreas basales del talo.

Hábitat: epífita sobre *Bostrychia*.

***Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey**

Localidad tipo: Norderney, islas Frisias orientales, Alemania.

Descripción: talo filamentosos, formando mechones de 7-15 cm de longitud. Filamentos simples, cilíndricos o con ligeras constricciones, de 20-55 µm de diámetro. La presencia de pequeñas ramas rizoidales simples es poco frecuente, y cuando las presentan, éstas están constituidas por más de una célula.

Tabla 2. Listado de algas bálticas marinas por División algal y orden alfabético, de la Ensenada de Tumaco, incluyendo distribución mundial y local.

TAXÓN	Distribución Pacífico Tropical Oriental	Distribución Pacífico colombiano	Distribución en la Bahía de Tumaco	Colección de Número Herbario CUV	Referencias
<b>CHLOROPHYTA</b>					
<i>Boodleopsis verticillata</i>	(USA), (Sal), (CR), (Pan)	(Nar)	(IGa), (ENa), (EPa), (Pal), (VRe)	46407, 46436, 46440	1, 6, 10, 11, 13, 12
<i>Caulerpa sertularioides</i>	(USA), (Mex), (Nic), (CR), (Pan), (Col)	(VC)	(ENa), (Mor), (EPa)	46409, 46410, 46414	1, 5, 6, 9, 11, 12.
<i>Chaetomorpha antennina</i>	(Mex), (Gua), (Sal), (Nic), (CR), (Pan), (Ecu)	(Nar)	(IGa)	46441	1, 11, 12
<i>Cladophora herpestica</i>	(Mex), (Pan)	(VC)	(IGa)	46443	1, 11, 12
<i>Cladophoropsis membranacea</i>	(Mex), (Sal), (Pan), (Ecu)	(Cho), (Nar), (VC)	(IGa), (ENa)	46442	1, 5, 10, 11, 12
<i>Ulva flexuosa</i>	(Can), (Gua), (Sal), (CR), (Pan), (Chl)	(Nar), (VC)	(IGa), (Mor)	46444	1, 11, 12
<i>Gayralia oxisperma</i>	(Can)	(Nar), (VC)	(VRe)	46411, 46412, 46417	1, 12.
<i>Rhizoclonium riparium</i>	(USA), (Mex), (Gua), (Sal)	(Cho), (Nar), (VC)	(Ech), (IGa), (Mor), (ENa), (EPa), (Pal)	46420, 46426, 46433	1, 6, 10, 11, 12, 13
<b>OCHROPHYTA-PHAEOPHYCEAE</b>					
<i>Dictyota divaricata</i> (= <i>D. implexa</i> )	(Mex), (Col), (Ecu)	(VC)	(IGa)	46445	1, 12
<i>Padina crispata</i>	(Mex), (Sal), (CR), (Pan)	(Cho)	(IGa)	46446	1, 11, 12
<b>RHODOPHYTA</b>					
<i>Bostrychia calliptera</i>	(Mex), (Sal), (Pan), (CR), (Col), (Ecu)	(Cho), (Nar), (VC)	(IGa), (Ech), (Mor), (ENa), (EPa), (Pal)	46405, 46413, 46427	1, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12
<i>Bostrychia radicans</i>	(CR), (Pan), (Col), (Per), (Chl)	(Cho), (VC)	(IGa), (ENa)	46439, 46449	1, 11, 12
<i>Bostrychia tenella</i>	(USA), (Sal), (CR), (Pan)	(Cho)	(IGa)	46450	1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12
<i>Callithamnion rupicola</i>	(USA)	(VC)	(IGa)	46451	1, 12
<i>Caloglossa lepreurii</i>	(USA), (Mex), (Gua), (CR), (Pan), (Col), (Ecu), (Per)	(Nar), (VC)	(IGa), (Ech), (ENa), (Pal)	46421, 46429, 46434	1, 3, 7, 8, 11, 12
<i>Caloglossa ogasawaraensis</i>	(Gua)	VC	(ENa), (Pal)	46422, 46430	1, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12
<i>Catenella caespitosa</i>	(Gua), (Sal), (CR), (Pan), (Col)	(Cho), (Nar)	(ECh), (IGa), (ENa), (Pal), (EPa)	46419, 46425, 46435	1, 5, 7, 8, 10, 11, 12
<i>Catenella impúdica</i>	(Gua), (Sal), (CR), (Col)	(VC)	(ECh), (ENa), (Pal), (EPa)	46406, 46418, 46424	1, 10, 11, 12
<i>Ceramium procumbens</i>	(Mex), (Sal), (CR)	(Cho), (VC)	(IGa)	46452	1, 11, 12
<i>Ceramium sinicola</i>	(USA)	(Nar), (VC)	(IGa)	46453	1, 12
<i>Gelidium isabelae</i>	(Col)	(Cho)	(IGa), (ENa)	46423	1, 12
<i>Gelidium pusillum</i> var. <i>Pulvinatum</i>	(Sal), (CR), (Pan), (Col), (Chl)	(Cho), (Nar), (VC)	(IGa), (Mor)	46454	1, 6, 7, 12
<i>Gracilaria sjoestedtii</i> (= <i>Gracilariopsis andersonii</i> )	(Mex), (Sal), (CR)	(Nar), (MP)	(Mor)	46455	1
<i>Murrayella pericladus</i>	(Pan)	(Nar)	(Mor)	46456	1, 12
<i>Polysiphonia howei</i>	(USA), (CR), (Pan), (Col)	(Cho), (VC), (Nar)	(IGa)	46457	1, 11, 12
<i>Polysiphonia scopulorum</i> var. <i>villum</i>	(USA), (CR)	(Nar)	(Mor)	46458	1, 11, 12

Los números frente a cada sector geográfico corresponden a las siguientes referencias: 1=Schnetter y Bula-Meyer (1982). 2=Kamiya *et al.* (1997). 3=West *et al.* (2001). 4=Zuccarello y West (2002); 5=Díaz y Díaz (2003); 6=Wysor (2004); 7=Serviere *et al.* (2007); 8=Tejada-Rivas (2002); 9=Fernández y Alvarado (2008); 10=Peña (2008); 11=Fernández *et al.* (2011); 12=Guiry y Guiry (2014).

Distribución Pacífico Tropical Oriental: (Can)=Canadá. (USA)=Estados Unidos. (Mex)=México. (Gua)=Guatemala. (Sal)=El Salvador. (Nic)=Nicaragua. (CR)=Costa Rica. (Pan)=Panamá. (Col)=Colombia. (Ecu)=Ecuador. (Per)=Perú. (Chl)=Chile.

Distribución Pacífico colombiano: (Cho)=Choco. (MP)=Mal Pelo. (Nar)=Nariño. (VC)=Valle del Cauca.

Distribución Bahía de Tumaco: (IGa)=Isla del Gallo. (ECh)=Estero Chontal. (ENa)=Estero Natal. (Mor)=El Morro. (EPa)=Estero Pajal. (Pal)=Estero Palmichal. (VRe)=Vda. Resurrección.

Hábitat: epífita del complejo Bostrychetum, ubicada en las raíces de mangle rojo (*R. mangle*), desde el suelo hasta aproximadamente 1.20 m de altura.

ULOTRICHALES  
GAYRALIACEAE

***Gayralia oxysperma* f. *wittrockii* (Bornet) P.C.Silva**

Localidad tipo: Cherbourg, Manche, Francia.

Descripción: talo sacciforme en la base, después foliáceo; lámina monostromática de hasta 2.5 cm de largo y 1 mm de ancho. Células en vista superficial agrupadas de forma irregular, de 1.3-1.7 y de 2-4 µm de diámetro. Cloroplasto parietal con un pirenoide.

Hábitat: sobre sustratos lodosos y neumatóforos de *Avicennia germinans*.

ULVALES  
ULVACEAE

***Ulva flexuosa* Wulfen**

Localidad tipo: Duino, Trieste, mar Adriático.

Descripción: talo con ramificaciones basales de hasta 5 cm de longitud, eje y ramas más anchas en la zona apical, entre 1-3 mm de ancho. Organización celular en hileras longitudinales en la zona basal y media del talo y de forma irregular en la zona apical.

Hábitat: Sobre sustrato areno-fangoso.

OCHROPHYTA - PHAEOPHYCEAE  
DICTYOTALES  
DICTYOTACEAE

***Dictyota implexa* (Desfontaines) J.V. Lamouroux**

Localidad tipo: mar Mediterráneo.

Descripción: talo de entre 5-7 cm de alto, ejes hasta 3 mm de ancho, regiones apicales con división dicotómica; bifurcación entre 90 y 120°.

Hábitat: creciendo en zonas rocosas.

***Padina crispata* Thivy**

Localidad tipo: golfo Dulce, Costa Rica.

Descripción: talo postrado, aproximadamente de 10 cm de alto, con múltiples ramificaciones y estípites cubiertos por rizoides. Lámina de 2-4 cm de ancho, haz calcificado. Tetrasporangios de 80-100 µm de diámetro, formando soros en ambas caras del talo, algunos dispersos en la zona apical de la lámina.

Hábitat: creciendo en sitios expuestos al oleaje directo.

RHODOPHYTA  
CERAMIALES  
CALLITHAMNIACEAE

***Callithamnion rupicola* C.L. Anderson**

Localidad tipo: bahía de Monterrey, EE.UU.

Descripción: talos pulviniformes de aproximadamente 2 cm de alto. Ramificaciones alternas o unilaterales, pinnadas o bipinnadas. Tetrasporangios sésiles, sobre la cara superior de las pínulas. Espermatangióforos en soros longitudinales, adaxiales, sobre pínulas de segundo orden.

Hábitat: creciendo sobre sustrato rocoso.

CERAMIALES  
CERAMIACEAE

***Ceramium procumbens* Setchell et N. L. Gardner**

Localidad tipo: Isla Partida, Baja California, México.

Descripción: talo de 1 cm, incompletamente corticado, eje principal rastrero, epífita, adherido por medio de rizoides, de aproximadamente 1-3 mm de longitud. Ramificación lateral, ápices rectos y agudos, ramas laterales erectas, simples. Tetrasporangios verticilados, irregularmente cruciados, de 40 µm de ancho por 50 µm de alto, inmersos en estiquídios. Espermatangios en partes abultadas de las ramas erectas.

Hábitat: epífita, sobre hojas de manglar de arribazón.

***Ceramium sinicola* Setchell et N. L. Gardner**

Localidad tipo: Bahía de Ensenada, Baja California, México.

Descripción: talo de 1-3 cm de alto, con ejes rastreros y erectos; rizoides numerosos, simples y ramificados. Ramificación desde alterna hasta dicótoma, bifurcaciones obtusas. Ápices rectos o acuminados. Tetrasporangios inmersos, dispuestos en verticilos o de manera irregular, de 50 µm de diámetro y 75 µm de largo aproximadamente.

Hábitat: epífita sobre hojas de mangle de arribazón.

CERAMIALES  
DELESSERIACEAE

***Caloglossa leprairiei* (Montagne) G. Martens**

Localidad tipo: Sinnamary, NO de Cayena, Guayana Francesa

Descripción: talo rastrero, de hasta 5 mm de diámetro, bifurcado y atenuado en los nudos y en otras partes, pero también alado en las ramificaciones. Rizoides en nudos ventrales, adheridos a raíces de *R. mangle*, asociado a *Catenella impudica*, *C. caespitosa* y *Bostrychia* sp.

Hábitat: creciendo en raíces de *R. mangle*, asociado a *Catenella impudica*, *C. caespitosa* y *Bostrychia* sp.

***Caloglossa ogasawaraensis* Okamura**

Localidad tipo: islas Ogasawara (Islas Bonin), Japón.

Descripción: talo rastrero de entre 1-2 mm de diámetro, con ejes principales conspicuos; ramas laterales en los nudos, a ambos lados; rizoides en el costado ventral y ramas adventicias dispersas. Segmentos lineales, lanceolados, de 250-600 µm aproximadamente y entre 2-5 cm de largo.

Hábitat: adherida a raíces de *R. mangle*. Crecimiento asociados a *Catenella impudica*, *C. caespitosa* y *Bostrychia* sp.

## GELIDIALES

## GELIDIACEAE

***Gelidium isabelae* W.R Taylor**

Localidad tipo: Punta Albemarle (Isla Isabela), Isla Galápagos, Ecuador.

Descripción: talos de 0.2-1 cm de alto, formando ejes rastreros, cilíndricos o comprimidos, con hápteros. Ramas erectas pediceladas, liguladas o lanceoladas, con ápices obtusos; simples, algunas veces pinnadas.

Hábitat: sobre sustrato rocoso.

***Gelidium pusillum* var. *pulvinatum* (C. Agardh) J. Feldmann**

Localidad tipo: Cádiz, España.

Descripción: Talos de 0.5-2 (-10) cm de altura, pulviniformes o cespitosos, formados por ejes cilíndricos, rastreros, fijos al sustrato por medio de hápteros. Ramas erectas, cilíndricas entre 0.3 y 1 mm de diámetro, hasta complanadas; Hábitat: creciendo sobre rocas en zona intermareal, o en el sublitoral superior, entre 0.5 y 1 m por debajo de la línea de pleamar.

## GELIDIALES

## RHODOMELACEAE

***Bostrychia calliptera* (Montagne) Montagne**

Localidad tipo: Cayena, Guayana Francesa.

Descripción: talo muy ramificado, formando cojinetes de 5-7 cm de longitud, diámetro del talo principal entre 690-700 µm, 698 µm en promedio. Ejes principales, ramificados de forma dicotómica o policótoma, presentando hápteros en la cara inferior de las ramificaciones en los ejes rastreros. Ramitas simples, de crecimiento limitado, de inserción dística, corticadas en las partes basales y medias, polisifónicas hasta los ápices. Células pericentrales entre 200-315 µm de diámetro. Cistocarpos de 800-834 µm y estiquídios entre 900- 988 µm de longitud y 980 µm de promedio.

Hábitat: en raíces de mangle rojo (*R. mangle*) y mangle negro (*Avicennia* sp.) asociada a *Catenella impudica* (Montagne) J. Agardh, *C. caespitosa* (Withering) L. M. Irvine y *Caloglossa* spp.

***Bostrychia radicans* (Montagne) Montagne**

Localidad tipo: Cayena, Guyana Francesa.

Descripción: talo sin corteza, pulviniforme, de hasta 1.5 cm de alto; ejes rastreros de 150-200 µm de diámetro, fijos al sustrato por medio de hápteros; ramas erectas de 45-125 µm de diámetro, ramificación dística y ápices incurvados.

Hábitat: en raíces de mangle rojo (*R. mangle*) y mangle negro (*Avicennia* sp.) asociada a *Catenella impudica* (Montagne) J. Agardh, *C. caespitosa* (Withering) L. M. Irvine y *Caloglossa* spp.

***Bostrychia tenella* (J.V. Lamouroux) J. Agardh**

Localidad tipo: Santa Cruz, Islas Vírgenes.

Descripción: talo formando cojinetes de 2-5 cm de alto. Ejes rastreros de alrededor de 280 µm de diámetro, fijos al sustrato por medio de hápteros parecidos a procesos, que nacen en la cara inferior de las ramificaciones y ápices incurvados. Células corticales en vista superficial, más o menos isodiamétricas, de 20 µm de ancho. Ramitas laterales insertadas disticamente, pinnadas, frecuentemente incurvadas y parcialmente corticadas; las pínulas de último orden monosifónicas.

Hábitat: en raíces de mangle rojo (*R. mangle*) y mangle negro (*Avicennia* sp.) asociada a *Catenella impudica* (Montagne) J. Agardh, *C. caespitosa* (Withering) L. M. Irvine y *Caloglossa* spp.

***Murrayella pericladus* (C. Agardh) F. Schmitz**

Localidad tipo: Santa Cruz, Virgin Islands.

Descripción: talos rastreros fijos por medio de rizoides. Ejes erectos de hasta 4.5 cm de alto, ramificaciones dicotómicas en la zona proximal y alternas en la apical. Ejes con ramitas helicoidales, pigmentadas y monosifónicas, simples o con ramificación alterna. Estiquídios de tetrasporangios con pedicelo polisifónico y cuatro esporangios por segmento. Cistocarpos esféricos, de aproximadamente 350 µm de diámetro, en posición terminal sobre ramas laterales.

Hábitat: epífita de raíces de mangle.

***Polysiphonia howei* Hollenberg**

Localidad tipo: Cayo Whale, Isla Berry, Bahamas.

Descripción: ejes rastreros, adheridos por medio de rizoides. Ramas erectas, generalmente ramificadas, de aproximadamente 1.5 cm de alto. Talos juveniles curvados. Segmentos de 100- 170 µm de diámetro, más cortos que anchos. Tetrasporangios de 45-55 µm de diámetro, unidos en hileras helicoidales en zonas distales de ramas erectas. Cistocarpos ovoides, aproximadamente de 175-200 µm de ancho. Espermatangióforos de 120-170 µm de largo y 35-59 µm de diámetro.

Hábitat: epífita, sobre hojas de mangle de arribazón.

***Polysiphonia scopulorum* var. *villum* (J. Agardh) Hollenberg**

Localidad tipo: "ad littus Americae tropicae" (México).

Descripción: ejes rastreros, fijos al sustrato mediante rizoides unicelulares con hápteros lobados. Ejes erectos de 5-8 mm de alto, ramificaciones no continuas. Tetrasporangios de aproximadamente 50-60 µm de diámetro, dispuestos en hileras erectas. Cistocarpos ovoides, de 150-180 µm de ancho. Espermatangióforos cilíndricos.

Hábitat: creciendo en la zona intermareal rocosa.

## GIGARTINALES

## CAULACANTHACEAE

***Catenella caespitosa* (Withering) L.M. Irvine**

Localidad Tipo: Anglesey, Gales.

Descripción: Hábito: frondas fijas al sustrato por medio de hápteros cortos, predominantemente en los sitios donde el talo se ramifica. Talo



de color pardo claro, 5 a 10 mm de longitud, ramificación dicotómica, formando segmentos fusiformes, teretes, comprimidos, de 2 a 3 mm de longitud por 0.8-1 mm de ancho. Hápteros delgados, de 1-1.5 mm de largo. Esporangios ovalados, en zonas apicales, de 1 mm de longitud por 0.5 mm de ancho.

Hábitat: creciendo sobre raíces de *R. mangle*, en la zona intermareal, entre 2 y 3 m por debajo de línea de pleamar.

***Catenella impudica* (Montagne) J. Agardh**

Localidad tipo: Cayena, Guayana Francesa.

Descripción: Hábito: frondas rastreras y/o erectas, fijándose al sustrato por medio de hápteros cortos, predominantemente en los sitios de ramificación del talo. Talo de color pardo claro hasta púrpura, (2)-3 - 5-(7) cm de longitud. Fronda con ramificación dicotómica formando segmentos fusiformes, teretes, comprimidos, de 6-10 mm de longitud por 3-5 mm de ancho. Hápteros delgados, de 1-3 mm de largo. Cistocarpos sub-esféricos, entre las bifurcaciones, de 8-10 mm de longitud por 4 mm de ancho. Esporangios ovalados, en zonas apicales, de 3-5 mm de longitud por 1-2 mm de ancho.

Hábitat: creciendo sobre raíces de *R. mangle*, en la zona intermareal entre 0.5 y 1 m por debajo de línea de pleamar.

GRACILARIALES  
GRACILARIACEAE

***Gracilariopsis andersonii* (Grunow) E. Y. Dawson**

Localidad tipo: Santa Cruz, California. EE. UU.

Descripción: talos de hasta 18 cm de alto, con bifurcaciones irregulares; ramas de 2-4 cm de ancho, disminuyendo hacia los ápices. Células medulares de 100 µm de diámetro, células de la corteza, entre 25-80 µm de ancho. Cistocarpos dispersos, esféricos, de aproximadamente 800 µm de diámetro. Espermatangios en soros superficiales, redondeados; tetrasporangios esféricos, dispersos, de alrededor de 30 µm de ancho.

Hábitat: sobre sustratos arenosos.

## DISCUSIÓN

La costa del Pacífico Tropical del continente americano cuenta con limitados estudios sobre diversidad algal, además existe una falta de consenso taxonómico de algunas especies. En la región, Fernández *et al.* (2011) registraron en total 576 especies, mientras que en el Pacífico colombiano, Peña y Palacios (1988) listaron sólo 133 especies.

Las hipótesis relacionadas con la baja diversidad de algas en el Pacífico colombiano mencionan que esto se podrían atribuir a la alta pluviosidad, que ocasiona una disminución de la salinidad de las aguas superficiales; este factor tiene mayor relevancia dado el número de desembocaduras de los ríos, la turbidez del agua y las condiciones desfavorables del sustrato (Schnetter & Bula, 1982; Marín & Peña, 2014).

El litoral Caribe colombiano cuenta con aproximadamente con 472 (120 Chlorophyta, 62 Ochrophyta y 290 Rhodophyta). En contraste, el

número de especies de algas en la zona continental del litoral Pacífico colombiano, que como se dijo anteriormente asciende a 133 especies (27 Chlorophyta, 22 Ochrophyta y 84 Rhodophyta) (Peña *et al.*, 1987; Peña & Palacios, 1988; Peña, 1998; Díaz & Díaz, 2003; Álvarez *et al.*, 2007), de las cuales 42 especies se encuentran en la isla Gorgona (Murrillo & Peña, 2014). Comparativamente, la alta diversidad de especies de la isla está asociada a la poca influencia de los aportes de agua dulce continental (Bula, 1988; Peña *et al.*, 2005), siendo este un factor a destacar al comparar el reducido número de especies en la bahía de Tumaco, teniendo en cuenta la influencia del río Mira y otros tributarios de la región que aporta gran cantidad de sedimentos en la zona costera (Garay-Tinoco *et al.*, 2006).

En cuanto al litoral del departamento de Nariño, dominado por trechos muy extensos de manglares y las pocas zonas rocosas presentes en la costa, el sustrato es demasiado blando para la fijación de talos mayores (Schnetter & Bula, 1982; Peña, 2008; Marín & Peña, 2014). Adicionalmente, las comunidades intermareales en su conjunto están afectadas por el fenómeno de las mareas; la alternancia de la inmersión y emersión influyen en otros factores ecológicos, como la temperatura, salinidad, iluminación y pH (Marín & Peña, 2014). Para la ensenada de Tumaco, se cuenta sólo con los registros de Schnetter y Bula (1982) en los sectores de El Morro y la Isla del Gallo, donde se registran 14 especies de Rhodophyta y seis de Chlorophyta, correspondientes al 14% de las especies del litoral Pacífico encontradas.

De acuerdo con este estudio, se mencionan nuevas localidades para las especies encontradas en la zona estuarina (Tabla 3), lo que permite comparar la flora marina que se presenta en la zona rocosa de la bahía, considerado uno de los ambientes poco estudiados y más representativos de la zona costera de la región de estudio.

Rhodophyta constituye el grupo más diverso de macroalgas en la zona de estudio, y destaca la presencia del género *Bostrychia*, tanto en la zona estuarina como en la ensenada. Zuccarello *et al.* (2011) encontraron una divergencia genética entre *B. radicans* y *B. moritziana*, que tuvo lugar después del cierre del istmo de Panamá. Peña (2008) encontró especies de *Bostrychia* representativas del grupo citado por Zuccarello *et al.* (2011) en el Pacífico colombiano.

Las especies registradas en este estudio presentan distribución pantropical y coinciden con las descripciones presentadas por otros autores (Schnetter & Bula, 1982; Ospina-Álvarez *et al.* 2006; Peña, 1998; Peña, 2008; Zuccarello *et al.*, 2006; Zuccarello & West, 2002, 2006; Zuccarello & West, 2011; Zuccarello *et al.*, 2011). El hábitat de preferencia de las especies recolectadas se encuentra asociado a bosque de manglar. Esto fue mencionado por otros investigadores en varios sitios del Pacífico Oriental Tropical, como Nicaragua (Dawson, 1962), Colombia (Schnetter & Bula, 1982; Marín & Peña, 2014), Panamá (Wysor, 2004) y Costa Rica (Tejada-Rivas, 2002; Fernández, 2008).

Las especies registradas en estos ambientes presentan una serie de adaptaciones fisiológicas relacionadas con limitaciones ambientales de luz y nutrientes (Peña *et al.*, 1999; Karsten *et al.*, 2000; Delgadillo & Newmark, 2008; Peña *et al.*, 2011). En general, las especies de este trabajo presentan una distribución batimétrica amplia y adaptabilidad morfológica y fisiológica que son determinantes para favorecer su distribución en diferentes ambientes (Collado & Robledo, 1999; Marín & Peña, 2014).

Tabla 3. Distribución de macroalgas bénticas en las localidades estudiadas de bahía Tumaco, Colombia, de acuerdo a diferentes hábitats reconocidos.

TAXÓN	Localidad		
	Bahía	Ensenada	Estuarios
<b>CHLOROPHYTA</b>			
<i>Boodleopsis verticillata</i>			(EPa), (Pal)
<i>Caulerpa sertularioides</i>		(Mor)	(ENa), (EPa)
<i>Cladophora herpestica</i>	(IGa)		
<i>Cladophoropsis membranácea</i>			(ENa)
<i>Ulva flexouosa</i>	(IGa)		
<i>Gayralia oxisperma</i>		(VRe)	(ENa), (EPa)
<i>Rhizoclonium riparium</i>			(ECh), (ENa), (EPa), (Pal)
<b>OCHROPHYTA-PHAEOPHYCEAE</b>			
<i>Dictyota divaricata (= D. implexa)</i>	(IGa)		
<i>Padina crispata</i>	(IGa)		
<b>RHODOPHYTA</b>			
<i>Bostrychia calliptera</i>	(IGa)		(ECh), (ENa), (EPa), (Pal)
<i>Bostrychia radicans</i>	(IGa)		(ENa)
<i>Bostrychia tenella</i>	(IGa)		
<i>Callithamnion rupícola</i>	(IGa)		
<i>Caloglossa lepreurii</i>			(ECh), (ENa), (Pal)
<i>Caloglossa ogasawaraensis</i>			(ENa), (Pal)
<i>Catenella impúdica</i>			(ECh), (ENa), (EPa), (Pal)
<i>Catenella caespitosa</i>			(ECh), (ENa), (EPa), (Pal)
<i>Ceramium procumbens</i>	(IGa)		
<i>Gelidium isabelae</i>			(ENa), (EPa)
<i>Gelidium pusillum</i> var. <i>pulvinatum</i>		(Mor)	

Distribución Bahía de Tumaco: (IGa) = Isla del Gallo. (ECh) = Estero Chontal. (ENa) = Estero Natal. (Mor) = El Morro. (EPa) = Estero Pajal. (Pal) = Estero Palmichal. (VRe) = Vda. Resurrección. (Para conocer la localización geográfica de las localidades, consultar la figura 1).

De acuerdo con los resultados, se concluye que la bahía de Tumaco presenta una baja diversidad de algas (26 especies), al ser comparada con los estudios en la isla Gorgona (Colombia) con 42 especies (Murillo & Peña, 2011) y en la isla de Coco (Costa Rica) con 170 (Fernández, 2008). Los datos aquí obtenidos también contrastan con los de Fernández *et al.* (2011), quienes registraron 216 especies en las costas del Pacífico de Costa Rica, 174 en las de Panamá y 146 en las de El Salvador. Aunque coinciden con los reportes para Nicaragua (24 especies) y Guatemala (16 especies) (Fernández *et al.*, 2011). A la fecha, debido a los pocos estudios ficológicos para el Pacífico colombiano, no hay consenso en el número total de especies para la zona, especialmente aquellas presentes en la zona submareal somera o de profundidad, por lo que es necesario continuar con exploraciones en estas localidades poco estudiadas y, de esta manera, realizar comparaciones con los registros de otras localidades.

## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se desarrolló en el marco del proyecto “Adaptación, crecimiento y reproducción de especies promisorias para el desarrollo del Pacífico colombiano: caso algas marinas”, código 1106-403-20653, con apoyo de COLCIENCIAS en la modalidad de cofinanciación. Los autores agradecen especialmente al personal operativo de la Finca San Luis, de la empresa AMT-Tumaco, Alexander Rodríguez y Max Meza, por su valioso apoyo en la recolecta del material algal. Igualmente, a las biólogas Zuleyma Mosquera y Lorey López, de la Universidad del Valle, por su colaboración en la limpieza y preparación del material para su respectivo montaje e inclusión en el herbario CUVV de la Universidad del Valle.

## REFERENCIAS

- ÁLVAREZ, R.; C. PARDO & A. TRESPALACIOS. 2007. Evaluación y utilización potencial de las macroalgas marinas del Caribe y el Pacífico de Colombia: estado actual de su conocimiento. *Biosalud* 6: 113-129.
- BULA, G. 1988. Cultivos y utilización comerciales de las microalgas marinas. *Revista Ingeniería Pesquera* (Santa Marta) 6: 1-57.
- CANTERA, J. R. 1991. Etude structurale des mangroves et des peuplements littoraux des deux baies du pacifique colombien (Málaga et Buenaventura). Rapport avec les conditions du milieu et les perturbations anthropiques. These d'Etat Sciences. Université d'Áix-Marseille II, Marseille, France. 429 p.
- CANTERA, J. R. & J. F. BLANCO. 2001. The estuary ecosystem of Buenaventura bay, Colombia. 265-280. In: Seeliger, U. y B. Kjerfve (Eds.). *Coastal marine ecosystems of Latin America, ecological studies*. Springer-Verlag, Nueva York.
- CELIS, C. N. 2008. Evaluación espacio-temporal de la calidad fisicoquímica del agua en las bahías de Buenaventura y Málaga. Dirección General Marítima, Centro Control Contaminación del Pacífico CCCP. Disponible en línea en: <http://www.cccp.org.co/modules.php?name=Newsyfile=articleysid=503>. (Consultada en septiembre de 2009).
- COLLADO, L. & D. ROBLEDO. 1999. Morphology and photosynthesis of *Caulerpa* (Chlorophyta) in relation to their growth form. *Journal of Phycology*, A.S.P. 35 (2): 325-330. DOI:10.1046/j.1529-8817.1999.3520325.x
- DAWSON, E. 1962. Additions to the marine flora of Costa Rica and Nicaragua. *Pacific Naturalist* 13: 375-395.
- DELGADILLO, O. & F. NEWMARK. 2008. Cultivo piloto de macroalgas rojas (Rhodophyta) en Bahía Portete, La Guajira, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 37 (2): 7-26.
- DÍAZ, G. & M. DÍAZ. 2003. Diversity of benthic marine algae of the Colombian Atlantic. *Biota Colombiana*. 4(2): 203 - 246. <http://www.redalyc.org/articulo.oa>
- FERNÁNDEZ, C. 2008. Flora marina del Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica, Pacífico Tropical Oriental. *Revista Biología Tropical* 56 (2): 57-69.
- FERNÁNDEZ, C. & J. ALVARADO. 2008. Chlorophyta de la costa pacífica de Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 56 (4): 149-162.
- FERNÁNDEZ, C., R. RIOSMENA, B. WYSOR, O.L. TEJADA & J. CORTÉS. 2011. Checklist of the Pacific marine macroalgae of Central America. *Botanica Marina* 54: 53-73. DOI:10.1515/bot.2011.001
- GARAY-TINOCO, J., D. GÓMEZ-LÓPEZ & J. ORTIZ-GALVIS (Eds.) 2006. *Diagnóstico integral del impacto biofísico y socioeconómico relativo a las fuentes de contaminación terrestre en la Bahía de Tumaco, (Colombia), y lineamientos básicos para un Plan de Manejo*. Proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) - Programa de Acción Mundial (PAM) y Comisión Permanente del Pacífico Sur CPPS. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR - Centro de Control Contaminación del Pacífico CCCP - Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO. Santa Marta, 290 p.
- GUIRY, M. D. & G. M. GUIRY. 2014. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication. National University of Ireland. Available online at: (downloaded July 18, 2014). <http://www.algaebase.org>
- KAMIYA, M., J. TANAKA & Y. HARA. 1997. Comparative morphology, crossability, and taxonomy within the *Caloglossa continua* (Delesseriaceae, Rhodophyta) complex from the western pacific. *Journal of Phycology* 33: 99-105. DOI: 10.1111/j.0022-3646.1997.00097.x
- KARSTEN, U., T. SAWALL, J. WEST & C. WIENCKE. 2000. Ultraviolet sunscreen compounds in epiphytic red algae from mangroves. *Hydrobiologia* 432: 159-171. DOI:10.1023/A:1004046909810
- KIM, M. S., E. C. YAN & S. M. BOO. 2006. Taxonomy and phylogeny of flattened species of *Gracilaria* (Gracilariales, Rhodophyta) from Korea based on morphology and protein-coding plastid *rbcL* and *psbA* sequences. *Phycologia* 45 (5): 520-528. DOI:10.2216/05-38.1
- MARÍN, H., & E. PEÑA. 2014. Variación espacio-temporal de la biomasa del alga *Caulerpa sertularioides* en poblaciones naturales y en condiciones de cultivo en estanques de camarón en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 43 (1): 121-135.
- MURILLO, M., & E. PEÑA. 2014. Algas marinas bentónicas de la Isla Gorgona, costa pacífica colombiana. *International Journal of Tropical Biology* 62 (1): 27-41. DOI: 10.15517/rbt.v62i0.15977
- OSPINA-ÁLVAREZ, N., E. J. PEÑA, & R. BENÍTEZ. 2006. Efecto de la salinidad en la capacidad de bioacumulación de plomo en el alga verde *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey (Chlorophyceae, Cladophorales). *Actualidades Biológicas* 28 (84): 17-25.
- PEÑA, E. J. 1998. Physiological ecology of mangrove associated macroalgae in a tropical estuary. Ph. D. Thesis dissertation. University of South Carolina, USA. 259 p.
- PEÑA, E. J., M. L. PALACIOS & A. MEJÍA. 1987. Estudio fitosociológico de una zona intermareal en la Bahía de Málaga, costa pacífica colombiana. *Revista Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 4 (1): 12-21.
- PEÑA, E. J. & M. L. PALACIOS. 1988. Macroalgas marinas bénticas asociadas al manglar de la costa pacífica colombiana. Pp. 500-505. In: Memorias VI Seminario Nacional y Tecnologías del Mar. CCO - Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- PEÑA, E. J., R. ZINGMARK & C. NIETCH. 1999. Comparative photosynthesis of two species of epiphytic macroalgae on mangrove roots during submersion and emersion. *Journal of Phycology* 35: 1206-1214. DOI: 10.1046/j.1529-8817.1999.3561206.x
- PEÑA, E. J., M. L. PALACIOS & N. OSPINA-ÁLVAREZ. 2005. *Algas como indicadores de contaminación*. Programa editorial Universidad del Valle. Cali, Colombia. 164 p.
- PEÑA, E. J. 2008. Dinámica espacial y temporal de la biomasa algas asociada a las raíces de mangle en la bahía de Buenaventura, costa pacífica de Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 37 (2): 55-70.
- PEÑA, E. J., A. RENGIFO & N. BENÍTEZ. 2011. Detoxification mechanisms of heavy metals by algal-bacteria consortia. In: Kim, S. (Ed). *Handbook*

- of marine macroalgae: biotechnology and applied phycology*. John Wiley & Sons, Ltd. DOI: 10.1002/9781119977087.ch28
- ROBLEDO, D. 1996. *Conocimiento de la macroflora marina de interés económico de las Costas de Yucatán*. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados - Mérida, Departamento de Recursos del Mar, Laboratorio de Ficología. México. DOI: 10.15468/lfakr3
- SCHNETTER, R. & G. BULA. 1982. Algas marinas del litoral pacífico de Colombia. Chlorophyceae, Phaeophyceae, Rhodophyceae. *Bibliotheca Phycologica* 60: 1-287.
- SERVIERE, E., R. RIOSMENA & H. LEÓN, J. GONZÁLEZ. 2007. Distribución espacial de macroalgas marinas en las islas Revillagigedo, México. *Ciencias y Mar* XI (31): 3-13.
- SUSARLA, S., V. F. MEDINA & M. McCUTCHEON. 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering* 18: 647-658. DOI: 10.1016/S0925-8574(02)00026-5
- TEJADA-RIVAS, O. L. 2002. Macroalgas asociadas a raíces de mangle: Costa Pacífica de Costa Rica. Tesis Maestría, Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica. 62 p.
- TEJADA, O. L. 2007. Ecofisiología de macroalgas asociadas a bosques de manglar y su distribución en Centro América. *Revista Quehacer Científico*. 6:1-8.
- WEST, J., G. ZUCCARELLO & M. KAMIYA. 2001. Reproductive patterns of *Caloglossa* species (Delesseriaceae, Rhodophyta) from Australia and New Zealand: multiple origins of asexuality in *C. leprieurii*. Literature review on apomixes, mixed-phase, bisexuality and sexual compatibility. *Phycological Research* 49: 183-200. DOI: 10.1046/j.1440-1835.2001.00239.x
- WYSOR, B. 2004. An annotated list of marine Chlorophyta from Pacific coast of the Republic of Panama with a comparison to Caribbean Panama species. *Nova Hedwigia* 78: 209-241. DOI: 10.1127/0029-5035/2004/0078-0209
- ZUCCARELLO, G. & J. WEST. 2002. Phylogeography of the *Bostrychia calliptera*-*B. pinnata* complex (Rhodomelaceae, Rhodophyta) and divergence rates based on nuclear, mitochondrial and plastid DNA markers. *Phycologia* 41(1): 49-60. DOI: 10.2216/10031-8884-41-1-49.1
- ZUCCARELLO, G. & J. WEST. 2003. Multiple cryptic species: molecular diversity and reproductive isolation in the *B. radicans*/*B. moritziana* complex (Rhodomelaceae, Rhodophyta) with focus on North American isolates. *Journal of Phycology* 39: 948-959. DOI: 10.1046/j.1529-8817.2003.02171.x
- ZUCCARELLO, G. & J. WEST. 2006. Molecular phylogeny of the subfamily Bostrychioideae (Ceramiales, Rhodophyta): subsuming *Stictosiphonia* and highlighting polyphyly in species of *Bostrychia*. *Phycologia* 45 (1): 24-36. DOI: 10.2216/05-07.1
- ZUCCARELLO, G. & J. WEST. 2011. Insights into evolution and speciation in the red alga *Bostrychia*: 15 years of research. *Algae* 26 (1): 3-14. DOI: 10.4490/algae.2011.26.1.021
- ZUCCARELLO, G., J. BUCHANAN & J. WEST. 2006. Increased sampling for inferring phylogeographic patterns in *Bostrychia radicans*/*B. moritziana* (Rhodomelaceae, Rhodophyta) in the eastern USA. *Journal of Phycology* 42: 1349-1352. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2006.00292.x
- ZUCCARELLO, G., J. BUCHANAN, J. WEST & F. PEDROCHE. 2011. Genetic diversity of the mangrove-associated alga *Bostrychia radicans*/*Bostrychia moritziana* (Ceramiales, Rhodophyta) from southern Central America. *Phycological Research* 59: 98-104. DOI: 10.1111/j.1440-1835.2010.00605.x

**Recibido:** 22 de octubre de 2014.

**Aceptado:** 27 de julio de 2015.



## Identificación morfológica y filogenética de un consorcio microbiano fotosintético de posible interés biotecnológico

### Phylogenetic and morphological identification of a photosynthetic microbial consortium of potential biotechnological interest

Dulce Jazmín Hernández Melchor<sup>1</sup>, Javier Carmona Jiménez<sup>2</sup>, María Eugenia Hidalgo Lara<sup>1</sup>, Luc Dendooven<sup>1</sup>, Rodolfo Marsch Moreno<sup>1</sup> y Rosa Olivia Cañizares Villanueva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508 San Pedro Zacatenco, CDMX, 07360. México

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, A. P. 70-620, C. U. Coyoacán, CDMX, 04510. México  
e-mail: rcanizar@cinvestav.mx

Hernández Melchor D. J., J. Carmona Jiménez, M. E. Hidalgo Lara, L. Dendooven, R. Marsch Moreno y R. O. Cañizares Villanueva. 2016. Identificación morfológica y filogenética de un consorcio microbiano fotosintético de posible interés biotecnológico. *Hidrobiológica* 26 (2): 311-321.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** Los consorcios microbianos son de importancia ecológica y biotecnológica por que contribuyen a los ciclos biogeoquímicos y producen compuestos de alto valor añadido. **Objetivos.** Realizar el estudio polifásico de un consorcio microbiano (CM) fotosintético, con el fin de identificar los microorganismos que lo integran, además del aporte teórico del potencial biotecnológico de cada uno de ellos como parte del consorcio. **Métodos.** Se empleó un estudio de la diversidad morfológica y filogenética. **Resultados.** En el CM se identificaron 21 microorganismos diferentes pertenecientes a los *phyla* Proteobacteria (*Rhodobacter* sp., *Devosia insulae*, *Pedomicrobium americanum*, *Alpha proteobacteria*, *Aquaspirillum delicatum*, *Methylibium petroleiphilum* y *Nannocystis* sp.), Bacteroidetes (*Flavobacterium* sp. y *Flavobacterium aquatile*), Cyanobacteria (*Aphanizomenon aphanizomenoides*, *Leptolyngbya* sp. y *Anabaena oscillarioides*), Chlorophyta (*Monoraphidium* sp., *Chlorella* sp.), Heterokontophyta (*Cyclotella meneghiniana*, *Melosira varians*, *Cocconeis placentula*, *Achnanthydium chlidanos*, *Navicula radiosa*, *Fragilaria ulna* y *Nitzschia* sp.). Este consorcio microbiano ha mostrado tener una elevada capacidad de fijación de nitrógeno (10,294 nmoles etileno g<sup>-1</sup> peso seco h<sup>-1</sup>). **Conclusiones.** La identificación de los microorganismos que conforman el CM, su capacidad de crecimiento y la fijación de nitrógeno en un fotobiorreactor, permiten vislumbrar su posible aplicación biotecnológica como biofertilizante.

**Palabras clave:** Consorcio, estudio polifásico, fotobiorreactor, biofertilizante.

#### ABSTRACT

**Background.** Microbial consortia have ecological and biotechnological importance since they contribute to the biogeochemical cycles in nature and produce compounds of high economical value. **Goals.** Research for this paper involved the polyphasic study of a photosynthetic microbial consortium (MC) in order to identify the microorganisms that comprise it, in addition to exploring the theory of the biotechnological potential of each partner within the consortium. **Methods.** Study of morphological and phylogenetic diversity. **Results.** Twenty-one different microorganisms were identified that make up the MC belonging to the *phyla* Proteobacteria (*Rhodobacter* sp., *Devosia insulae*, *Pedomicrobium americanum*, *Alpha proteobacteria*, *Aquaspirillum delicatum*, *Methylibium petroleiphilum* and *Nannocystis* sp.), Bacteroidetes (*Flavobacterium* sp. and *Flavobacterium aquatile*), Cyanobacteria (*Aphanizomenon aphanizomenoides*, *Leptolyngbya* sp. and *Anabaena oscillarioides*), Chlorophyta (*Monoraphidium* sp. and *Chlorella* sp.), Heterokontophyta (*Cyclotella meneghiniana*, *Melosira varians*, *Cocconeis placentula*, *Achnanthydium chlidanos*, *Navicula radiosa*, *Fragilaria ulna* and *Nitzschia* sp.). This microbial consortium was shown to have a high capacity for nitrogen fixation (10,294 nmol ethylene g<sup>-1</sup> dry weight h<sup>-1</sup>). **Conclusions.** The identification of microorganisms that form the MC and their capacity for growth and nitrogen fixation in a photobioreactor, give us a glimpse of their possible biotechnological application as a biofertilizer.

**Key words:** Biofertilizer, consortium, photobioreactor, polyphasic study.

## INTRODUCCIÓN

Los consorcios microbianos (CM) fotosintéticos constituidos por cianobacterias (Cyanophyta) tienen una distribución muy amplia en la naturaleza, tanto en ambientes acuáticos como terrestres. Los CM resultan clave en los ciclos biogeoquímicos, lo que les confiere importancia ecológica dada la gran cantidad de estrategias metabólicas que pueden desarrollar (Grewe & Pulz, 2012). Desde el punto de vista tecnológico, los CM se han utilizado para la remoción de metales pesados y de contaminantes orgánicos (Muñoz *et al.*, 2006) presentes en aguas residuales, para la obtención de biodiésel (Hena *et al.*, 2015) y de energía eléctrica (Gajda *et al.*, 2015), y para la conversión de carbono y generación de biogás (Vasseur *et al.*, 2012), han demostrado mayor eficiencia de síntesis de productos y conversión de nutrientes a menor costo, comparado con la utilización de cultivos puros (Muñoz *et al.*, 2006; Vasseur *et al.*, 2012; Hena *et al.*, 2015). Otras ventajas del empleo de consorcios microbianos es su producción a gran escala, dado que los cultivos puros no son con frecuencia, económicamente factibles debido a los altos costos de mantenimiento, sustratos, esterilización, y recuperación de biomasa, entre otros factores (Höffner & Barton, 2014). Muchos microorganismos en ambientes naturales no viven aislados, sino que forman parte de consorcios que tienen una dinámica poblacional interna. La competencia por los recursos y la cooperación entre los microorganismos que integran un CM pueden determinar el éxito de su desempeño biotecnológico (Subashchandrabose *et al.*, 2011).

Debido a la importancia de los consorcios microbianos resulta de interés identificar los miembros que los conforman, así como su aportación para el funcionamiento global de éstos (Gupta *et al.*, 2013). Para la identificación de los organismos que componen un CM, se han utilizado métodos polifásicos, que combinan la caracterización de genotipos y su expresión fenotípica, porque, en ocasiones, la identificación basada sólo en métodos de taxonomía tradicional, resulta complicada debido a la alta variabilidad fenotípica entre morfotipos similares, observados en diferentes condiciones ambientales (Loza *et al.*, 2013). La complementariedad de ambos procedimientos es de suma importancia, ya que permite realizar un análisis exhaustivo de los microorganismos que integran un CM.

En las últimas dos décadas se han empleado métodos polifásicos para identificar la diversidad de consorcios microbianos, aprovechando las ventajas que ofrecen tanto este método como el de taxonomía tradicional (Thacker & Paul, 2004; Loza *et al.*, 2013; Muñoz-Martin *et al.*, 2014; Krohn-Molt *et al.*, 2013).

En estudios previos de nuestro grupo de trabajo, se aisló un CM fotosintético a partir de muestras tomadas de suelo, tallo y agua de anegamiento de un campo arrocero de Alpuyecá, Morelos, México. Posteriormente, el CM se propagó en diferentes volúmenes empleando un medio mineral sin fuente de nitrógeno, hasta establecer el cultivo en un fotobiorreactor tipo columna de burbuja de 11 L; se evaluó su producción de biomasa y capacidad de fijación de nitrógeno durante 8 resiembras en cultivo por lote, cada una de ellas a los 14 días, utilizando una intensidad de luz de 80  $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y una aireación de 11 L  $\text{min}^{-1}$  (1 vvm). La cantidad promedio de biomasa en base seca fue de  $248 \pm 54 \text{ mg L}^{-1}$ , y la actividad de nitrogenasa, de  $5,188.5 \pm 33.7 \text{ nmol etileno g}^{-1} \text{ peso seco h}^{-1}$  (Hernández-Melchor, 2009). Con base en los resultados mencionados, el objetivo del presente estudio fue llevar a cabo la identificación morfológica y filogenética de los microorganismos que integran dicho CM, con el propósito de establecer, de manera teórica, la probable interacción entre sus componentes y de explorar su posible aplicación biotecnológica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Recolección de la muestra.** El material biológico utilizado provino de una cinética de cultivo por lote en un fotobiorreactor (FBR) tipo columna de burbuja con un volumen de operación de 11 L, diámetro de 0.23 m y altura de 0.34 m, empleando el medio BG11<sub>0</sub> (Rippka *et al.*, 1979). El experimento duró 14 días bajo condiciones controladas de luz (80  $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), con un fotoperiodo 12/12 (luz/oscuridad), temperatura de 21 °C y aireación de 11 L  $\text{min}^{-1}$ . Al final del cultivo, se tomó una muestra homogénea de 50 mL para llevar a cabo los análisis morfológico y filogenético del consorcio.

**Peso seco de biomasa.** Los días 0, 2, 5, 7, 9, 12 y 14 se tomaron alícuotas de 10 mL de cultivo y se filtraron por medio de membranas de celulosa de 5  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro (marca Millipore®), las cuales posteriormente, se secaron en horno a 70 °C por 24 h (Tredici *et al.*, 1991).

**Actividad de nitrogenasa (ensayo de reducción de acetileno).** Se determinó por el método propuesto por Venkataraman (1981), modificando el tiempo de incubación, de 48 a 120 h. Se colocaron 10 mL de cultivo en botellas serológicas de 25 mL, que después fueron selladas herméticamente con una engargoladora; posteriormente, se les reemplazó 1 mL de aire del espacio vacío por 1 mL de acetileno (1 % helio balance). Las botellas se incubaron por 5 días a  $21 \pm 2$  °C, con una iluminación de 80  $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y fotoperiodo de 12/12 h. Se determinó la cantidad de etileno producido en un cromatógrafo de gases marca Varian CP-3380 FID, bajo las siguientes condiciones: T columna = 50 °C, T inyector = 200 °C, T detector = 250 °C, Columna: Carbowax 1540/Porapak Q 1/8" x 6 ft, acarreador: gas N<sub>2</sub>, 15 psi. Cada determinación se hizo por triplicado los días 0, 2, 5, 7, 9, 12 y 14 del cultivo. Los resultados fueron expresados en nmoles etileno  $\text{g}^{-1}$  peso seco  $\text{h}^{-1}$ .

**Determinación de nitratos y amonio.** Al día 14, se tomó una alícuota homogénea de 50 mL del cultivo en el FBR, se centrifugó a 3500 rpm por 20 min y se utilizó el sobrenadante para las determinaciones de nitratos por el método de la brucina-ácido sulfámico (Eaton *et al.*, 1992) y de amonio por el método del fenato No.132 C (Eaton *et al.*, 1992).

**Diversidad morfológica.** El estudio de los organismos presentes en el CM se hizo mediante observaciones al microscopio óptico, de las muestras tomadas al final del cultivo por lote.

Para la identificación morfológica de cianobacterias y organismos eucariotes que componen el CM, se utilizaron muestras frescas y para las diatomeas preparaciones fijas con Naphrax® (Rushforth *et al.*, 1984). Todas las muestras se examinaron y fotografiaron con un microscopio óptico BX51 (Olympus Corporation, Tokyo, Japan) y una cámara digital marca Nikon DXM1200. La identificación de las especies de diatomeas se hizo de acuerdo con Krammer y Lange (1986, 1988, 1991a, 1991b) y las clorofíceas, de acuerdo a Wehr y Sheath (2003).

**Extracción de ADN.** Para el análisis filogenético de la muestra colectada se centrifugaron tres alícuotas en un tubo Eppendorf de 5 mL a 3000 rpm para formar un pellet de aproximadamente 0.12 g de peso húmedo; posteriormente la muestra se trató con acetona para eliminar los pigmentos del cultivo que pudieran causar interferencias durante la extracción de ADN. Para la extracción del ADN metagenómico, se utilizó un kit comercial (QuickGene DNA tissue kit S, modelo FujiFilm QuickGene-810 / QuickGene-Mini80). La eficiencia de la extracción se

cuantificó empleando alícuotas de 2  $\mu\text{L}$  en un espectrofotómetro modelo NanoDrop Lite, marca Thermo Scientific.

**Amplificación por PCR, construcción de una librería 16S rDNA y secuenciación.** Para identificar los componentes bacterianos del CM, se amplificó un fragmento de ADN de la región codificante para el rRNA de la subunidad pequeña del ribosoma (16S rDNA). El 16S rDNA del ADN metagenómico fue amplificado por PCR, utilizando los primers específicos bacterianos 46F (5'-GCC TAA CAC ATG CAA GTC-3') (Yu & Morrison, 2004) y 1540R (5'-AAG GAG GTG ATC CAG CCGCA-3') (Edwards *et al.*, 1989).

La mezcla de reacción (25  $\mu\text{L}$ ) contenía 100 ng de ADN, 0.5  $\mu\text{M}$  de cada primer, 200  $\mu\text{M}$  de dNTP, 2.5 mM  $\text{MgCl}_2$ , y 1 U de Taq ADN polimerasa en el buffer de PCR proporcionado por el fabricante (Invitrogen Life Technologies, San Paulo, Brasil). Las condiciones de amplificación incluyeron un paso de desnaturalización a 93  $^\circ\text{C}$  por 10 min, seguido por 25 ciclos a 93  $^\circ\text{C}$  por 1 min, a 57  $^\circ\text{C}$  por 1 min, a 72  $^\circ\text{C}$  por 2 min, y un paso final a 72  $^\circ\text{C}$  por 10 min. La reacción de amplificación de ADN se hizo en un termociclador programable (Touchgene Gradient, modelo FTGRAD2D, Techne Duxfort, Cambridge, Reino Unido). Los amplicones esperados fueron de aproximadamente 1,500 pb. Los amplicones PCR fueron clonados directamente en el vector pCR 2.1-TOPO, utilizando el TOPO TA Cloning Kit (Invitrogen Life Technologies, Carlsbad, CA, EEUU). Las colonias blancas se seleccionaron en placas con LB que contenían 40  $\mu\text{g mL}^{-1}$  de X-Gal (Invitrogen Life Technologies, Carlsbad, CA, EEUU) y 30  $\mu\text{g mL}^{-1}$  de kanamicina (Invitrogen Life Technologies, Carlsbad, CA, EEUU). Los plásmidos recombinantes se aislaron a partir de cultivos de una noche por lisis alcalina. Las secuencias del 16S rDNA se obtuvieron con un analizador de ADN 3730X (Applied Biosystems, Foster City, CA, EEUU) utilizando los primers M13.

**Identificación molecular y análisis filogenético.** Se realizó una asignación taxonómica de las secuencias analizadas, utilizando la distancia evolutiva con las secuencias de microorganismos reportadas en bases de datos. Todas las secuencias fueron analizadas para quimeras utilizando Chimera7 Check, además del programa de análisis *online* de la base de datos RDP-II. Las secuencias se sometieron a una búsqueda BLAST (Altschul *et al.*, 1997) para determinar la identidad de las clonas. Se seleccionaron secuencias relacionadas del NCBI Taxonomy Homepage (TaxBrowser) y un análisis de alineamiento múltiple utilizando el programa Clustal X. La ponderación de la transversión/transición se realizó utilizando el modelo Tamura-Nei (Tamura & Nei, 1993), y se estimó el número de sustitución de bases entre cada par de secuencias utilizando el programa Mega V. 4. Los datos anteriores sirvieron para construir el árbol filogenético utilizando el método de Neighbor-joining, y para el análisis de distancia se utilizó el modelo Tamura-Nei; se ensayaron 1,000 bootstrap para respaldar las ramas internas (Valenzuela *et al.*, 2009). Se tomaron en consideración las secuencias que diferían <2% para pertenecer al mismo filotipo (Rosselló & Amann, 2001).

Para identificar los organismos procarotes que conforman el CM, se utilizó el gen 16S rDNA como marcador molecular. La relación de las secuencias del gen 16S rDNA de 44 clonas obtenidas del CM con secuencias obtenidas del GenBank se hizo por medio de un análisis filogenético, para asignar por similitud el género y la especie que representa cada una de ellas. Se construyeron dos árboles a partir de 44 clonas (ca. 980 pb) utilizando el método de Neighbor-joining y *Pyrococcus abyssi* (AY099167) como grupo externo.

**Número de acceso de las secuencias de nucleótidos.** Las secuencias parciales 16S rDNA empleadas en este estudio, se localizan en el GeneBank con el número de acceso KC979066-KC979109.

**Abundancia relativa.** La abundancia relativa de cada componente microbiano en el CM se determinó a partir de su identificación morfológica y filogenética y se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación (Franco *et al.*, 2001):

$$P_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^s N_i}$$

Donde:

$P_i$  = abundancia relativa de las especies  $i$

$S$  = número total de especies en la comunidad

$N_i$  = número de individuos de la misma especie  $i$

En el análisis morfológico se tomaron en cuenta todas las fotografías tomadas a las microalgas verdes y cianobacterias presentes en el CM, además del número de repeticiones ( $N$ ) de cada uno de los cuatro géneros registrados. Se siguió el mismo procedimiento para las diatomeas, cuyo total de fotografías fue  $S=81$ , y el número de repeticiones ( $N$ ) de cada uno de los siete géneros encontrados. El análisis filogenético consideró el total de clonas analizadas ( $S=44$ ) y el número de repeticiones ( $N$ ) de los 13 géneros identificados.

## RESULTADOS

**Biomasa y actividad de nitrogenasa.** En la figura 1 se presenta la cantidad máxima de biomasa en base seca al final del experimento (día 14), misma que fue de 0.305  $\text{g L}^{-1}$ , con una productividad de 0.015437  $\text{g L}^{-1} \text{d}^{-1}$ . También es posible observar que el CM presentó una fase de adaptación de 7 días, con una disminución de la cantidad de biomasa cercana al 5%. El crecimiento exponencial de la biomasa se presentó del día 8 al 14. En la misma figura se aprecia que la actividad de nitrogenasa tuvo un comportamiento oscilante: al día 7 disminuyó, y al final del experimento incrementó hasta 10,294  $\text{nmol etileno g}^{-1} \text{peso seco h}^{-1}$ .

La concentración final de amonio y nitratos fue de 2.09  $\text{mg L}^{-1}$  y 0.45  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente.

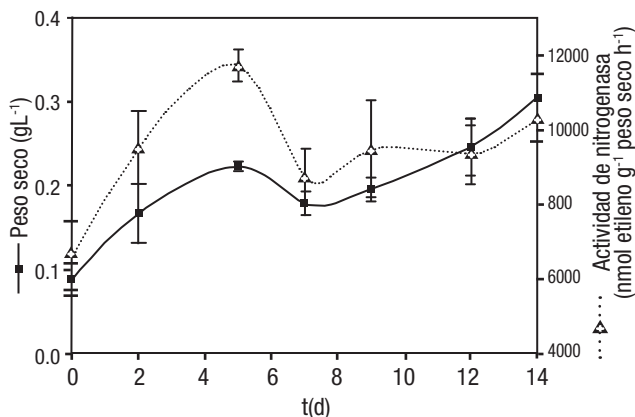


Figura 1. Evolución temporal de la biomasa ( $\text{g L}^{-1}$ ) y la actividad de nitrogenasa de un consorcio microbiano.

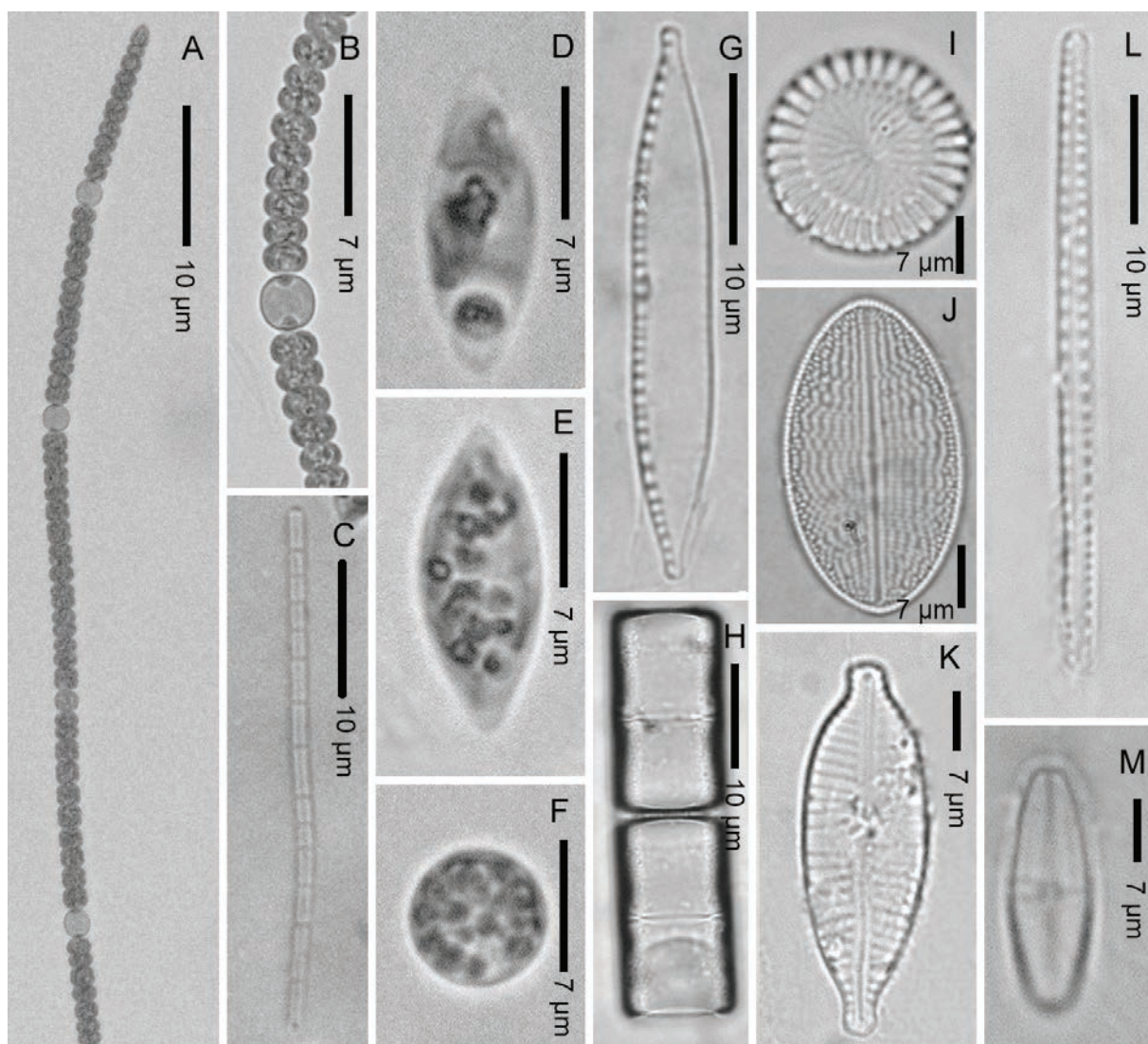


**Diversidad morfológica y abundancia relativa.** El análisis microscópico de los morfotipos del CM registró un total de 11 taxones (Tabla 1); dos géneros fueron de cianobacterias filamentosas: *Anabaena oscillarioides* Bory de Saint-Vincent ex Bornet y Flahault (Figs. 2A-B) y *Leptolyngbya* sp. (Fig. 2C), además de nueve taxones unicelulares integrados por las clorofitas *Monoraphidium* sp. (Figs. 2D-E), *Chlorella* sp. (Fig. 2F), y las diatomeas *Cyclotella meneghiniana* Kützing (Fig. 2I), *Melosira varians* C. Agardh (Fig. 2H), *Cocconeis placentula* Ehrenberg (Fig. 2J), *Achnanthisidium chlidanos* (Hohn et Hellerman) Novelo, Tavera et Ibarra (Fig. 2M), *Navicula radiosa* Kützing (Fig. 2K), *Fragilaria ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot (Fig. 2L) y *Nitzschia* sp. (Fig. 2G). En la figura 3 se muestra la abundancia relativa de los organismos que comprenden el CM; se analizaron los datos microscópicos, donde se observan cinco

especies mayoritarias: la cianobacteria filamentosa *A. oscillarioides*, la microalga verde *Monoraphidium* sp. y las diatomeas *Cocconeis placentula*, *Fragilaria ulna* y *Nitzschia* sp. (la más abundante).

**Análisis filogenético y abundancia relativa.** Se construyeron dos árboles filogenéticos a partir de 44 clonas (ca. 980 bp) del gen 16S rDNA y secuencias obtenidas del GenBank. Los resultados de los árboles filogenéticos mostraron la presencia de cinco clados principales con una similitud del 95.48 al 99.69 %. El clado V presentó la mayor abundancia relativa dentro del CM (Fig. 4).

El clado I incluyó 13 secuencias, de las cuales a siete de ellas se asignaron cuatro taxones de la clase  $\alpha$ -proteobacteria: *Rhodobacter* sp., *Devosia insulae* Yoon, Kang, Park et Oh, *Pedomicrobium america-*



Figuras 2 A-M. Microfotografías de los morfotipos de cianobacterias, microalgas verdes y diatomeas en el consorcio microbiano estudiado. **A)** *Anabaena oscillarioides* Bory de Saint-Vincent ex Bornet y Flahault, filamento y heterocistos intercalados. **B)** *Anabaena* sp., heterocisto y células vegetativas con abundante granulación. **C)** *Leptolyngbya* sp. **D)** *Monoraphidium* sp., célula vegetativa. **E)** *Monoraphidium* sp., vacuolas o lípidos celulares. **F)** *Chlorella* sp. **G)** *Nitzschia* sp. **H)** *Melosira varians* C. Agardh. **I)** *Cyclotella meneghiniana* Kützing. **J)** *Cocconeis placentula* Ehrenberg. **K)** *Navicula radiosa* Kützing. **L)** *Fragilaria ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot. **M)** *Achnanthisidium chlidanos* (Hohn et Hellerman) Novelo, Tavera et Ibarra.



num Gebers *et Belse* y una *Alpha-proteobacteria* no determinada. Las seis secuencias restantes se presentaron como organismos no cultivables (Figs. 5-6).

El clado II agrupó cinco secuencias relacionadas con dos géneros de la clase  $\beta$ -proteobacteria, con una similitud del 97.75 al 99.49%: *Curvibacter delicatus* (Leifson) Ding *et Yokota* (= *Aquaspirillum delicatum* (Leifson) Hylemon *et al.*) y *Methylibium petroleiphilum* Nahatsu, Hristova, Haneda, Meng, Hanson, Scow *et Kamagata*. Las tres secuencias restantes se presentaron como organismos no cultivables (Figs. 5-6).

El clado III relacionó cinco secuencias de la clase  $\delta$ -proteobacteria, con una similitud de 96.72%, una de ellas, afín al género *Nannocystis* sp.; las cuatro restantes se asociaron a organismos no cultivables (Fig. 6).

El clado IV reunió dos secuencias de la familia Flavobacteriaceae, con una similitud de 95.39 y 98.66% del género *Flavobacterium* F. sp. y *F. aquatile* (Frankland *et Frankland*) Begey *et al.* 1923 (Figs. 5-6).

En el clado V se encontraron 19 secuencias pertenecientes a los órdenes Oscillatoriales y Nostocales, con una similitud del 95.09 al 97.74%. Los géneros asociados a estas secuencias son: *Aphanizomenon aphanizomenoides* (Forti) Hortobágyi *et Komárek*, *Leptolyngbya* sp. y *Anabaena oscillarioides* Bory ex Bornet *et Flahault* (Figs. 5-6).

Tabla 1. Morfotipos presentes en el consorcio microbiano

Grupo	Morfotipo	Figuras
Cianobacterias	<i>Anabaena oscillarioides</i> Bory de Saint-Vincent ex Bornet y Flahault	Figs. 2A-B
	<i>Leptolyngbya</i> sp.	Fig. 2C
Microalgas verdes	<i>Monoraphidium</i> sp.	Figs. 2D-E
	<i>Chlorella</i> sp.	Fig. 2F
Diatomeas	<i>Nitzschia</i> sp.	Fig. 2G
	<i>Melosira varians</i> C. Agardh	Fig. 2H
	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	Fig. 2I
	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	Fig. 2J
	<i>Navicula radiosa</i> Kützing	Fig. 2K
	<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	Fig. 2L
	<i>Achnanthydium chlidanos</i> (Hohn <i>et Hellerman</i> ) Novelo, Tavera <i>et Ibarra</i>	Fig. 2M

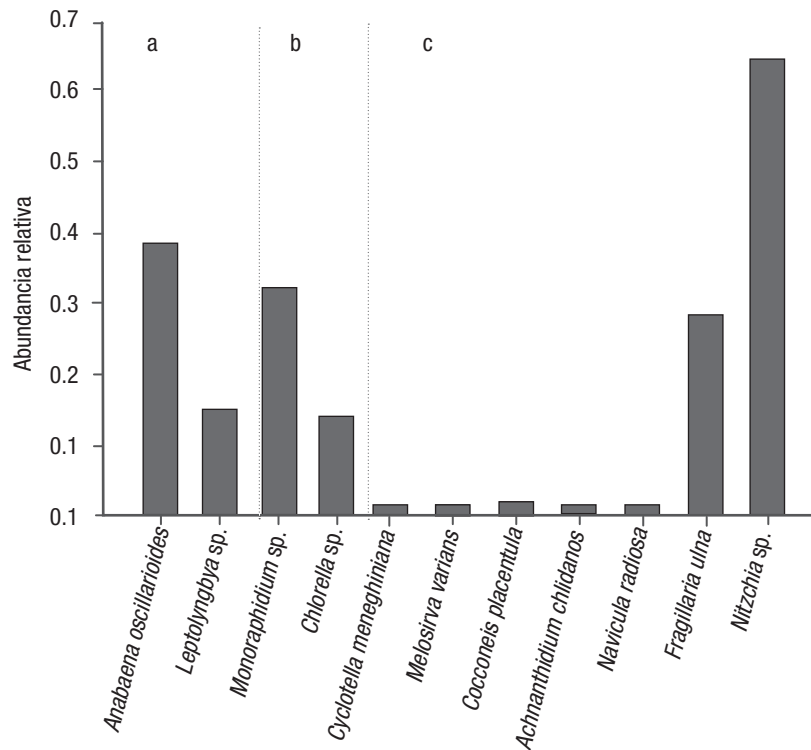


Figura 3. Abundancia relativa de cada taxón encontrado en el consorcio microbiano a través del análisis morfológico. a = cianobacterias, b = microalgas verdes, c = diatomeas.

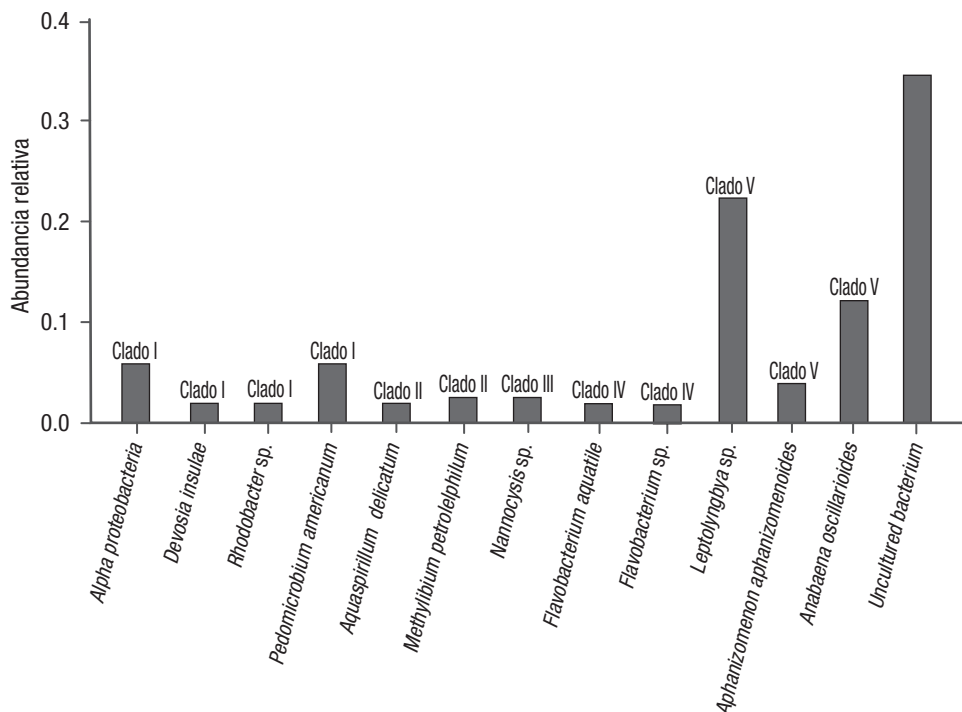


Figura 4. Abundancia relativa del consorcio microbiano a través del análisis filogenético de las secuencias amplificadas con el 16S rDNA.

## DISCUSIÓN

El CM en cultivo por lote en el FBR de 11 L mostró una capacidad de fijación de nitrógeno cinco veces mayor a la reportada por Kannaiyan *et al.* (1997) para las especies *Anabaena variabilis* Sao (2678 nmoles etileno  $g^{-1}$  peso seco  $h^{-1}$ ) y *Nostoc muscorum* DOH (2 237 nmoles etileno  $g^{-1}$  peso seco  $h^{-1}$ ) presentes en su cultivo. La importancia de estas cianobacterias (*Anabaena* y *Nostoc*) en cultivos agrícolas radica en su capacidad para establecer simbiosis con plantas, y para fijar nitrógeno en el suelo, por lo que su biomasa ha sido ampliamente utilizada como biofertilizante en países tropicales (Kannaiyan, 2002). De acuerdo con lo anterior, podemos atribuir parte de la capacidad biológica de fijación de nitrógeno del CM a la presencia de tres cianobacterias filamentosas fijadoras de nitrógeno dentro del cultivo: *Anabaena oscillarioides*, *Aphanizomenon aphanizomenoides* y *Leptolyngbya sp.*, cianobacterias que fueron identificadas mediante los análisis morfológico y filogenético.

Los análisis morfológico y filogenético mostraron elevada abundancia relativa de las cianobacterias *Anabaena oscillarioides*, *Aphanizomenon aphanizomenoides* y *Leptolyngbya sp.*, y de las bacterias *Rhodobacter sp.* y *Devosia insulae* (Figs. 3-4, respectivamente), las cuales han sido reportadas por Rivas *et al.* (2002) y Li *et al.* (2010) como fijadoras de nitrógeno, por lo que es posible atribuir la elevada eficiencia de fijación de nitrógeno del CM a la presencia de estas especies.

A partir del análisis morfológico fue posible identificar a los géneros *Monoraphidium sp.* y *Chlorella sp.* como parte del CM. De acuerdo con reportes en literatura, estas especies tienen la capacidad de proveer a las plantas de diversos elementos constitutivos, como el fósforo; cuando se adicionan al suelo como biofertilizantes (Megharaj *et al.*, 1992)

y cuando se utilizan como inoculantes, aumentan la fertilidad de suelos áridos (Trejo *et al.*, 2012). Por lo anterior, y considerando la alta abundancia relativa de las cianobacterias fijadoras de nitrógeno que constituyen al CM, es de esperarse el desempeño exitoso de éste como biofertilizante. Además, los géneros de diatomeas identificados pueden contribuir a los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno, silicio y hierro; por lo tanto, tienen un efecto positivo en el ambiente y en otros componentes del CM (Amin *et al.*, 2012). Adicionalmente, las diatomeas tienen la capacidad para producir partículas transparentes de exopolisacárido, que ayudan a formar una matriz de diatomeas agregadas y bacterias heterotróficas que mejoran la eficiencia de los consorcios microbianos (Gärdes *et al.*, 2011).

La diversidad tan amplia de microorganismos que conforman el CM facilita la interacción de diferentes especies de organismos eucariotes y procariotes, relacionados con ese microcosmos particular.

Bauer *et al.* (2008) realizaron estudios similares al presente trabajo y destacaron la importancia de la identificación e interacción de los organismos que integran los consorcios microbianos. Uno de sus hallazgos más importantes, fue la presencia de cianobacterias y bacterias heterotróficas, las cuales establecen relaciones simbióticas entre sí. De manera similar, las diatomeas se asocian frecuentemente con bacterias epifitas en lagos de agua dulce (Paerl, 1990). La importancia de la amplia diversidad de microorganismos que integran un consorcio microbiano en un sistema natural o artificial, como es el caso de los fotobiorreactores, radica en que existe un intercambio de metabolitos y factores de crecimiento conforme transcurre el tiempo (Pearl & Pincney, 1996). Estas asociaciones (cianobacterias-bacterias-diatomeas) pueden tener diferentes aplicaciones ambientales y biotecnológicas (Wartiainen *et al.*, 2008).

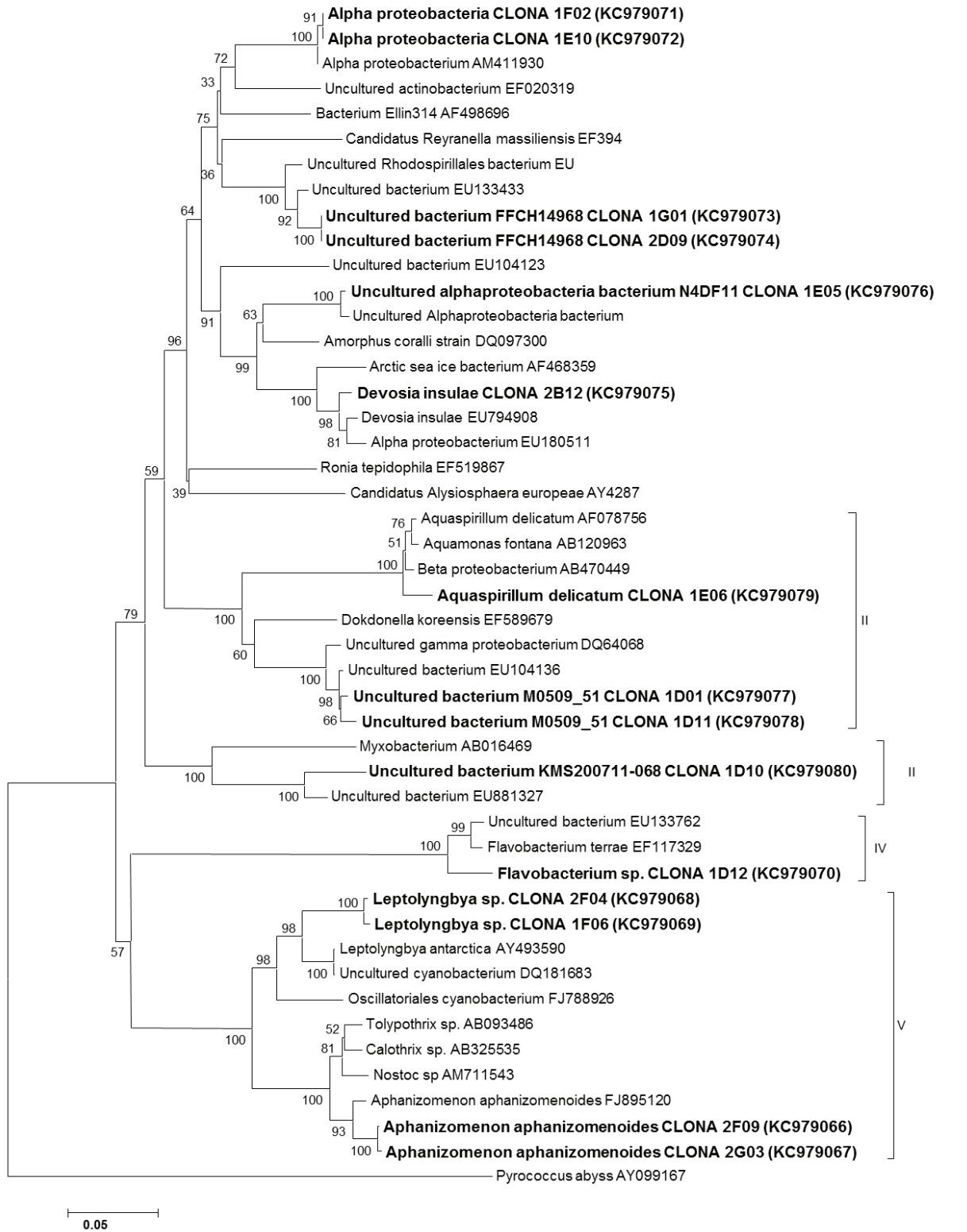


Figura 5. Relación filogenética entre las secuencias directas 16S rDNA obtenidas del consorcio microbiano. El árbol fue construido con secuencias relacionadas obtenidas de la base de datos del NCBI utilizando el algoritmo Neighbor-joining. *Pyrococcus abyss* (AY099167) fue utilizado como grupo externo. Los números antes de las ramas representan el porcentaje de repeticiones "bootstrap" basadas en 1000 árboles.



Figura 6. Relación filogenética entre las secuencias reversas 16S rDNA obtenidas del consorcio microbiano. El árbol fue construido con secuencias relacionadas obtenidas de la base de datos del NCBI utilizando el algoritmo Neighbor-joining. *Pyrococcus abyssi* (AY099167) fue utilizado como grupo externo. Los números antes de las ramas representan el porcentaje de repeticiones “bootstraps” basadas en 1000 árboles.



El análisis filogenético permitió identificar 12 organismos procariotes (Figs. 5-6), los cuales se encuentran representados en cinco clados. El grupo más abundante de clonas analizadas se encuentra en el clado V y representa a las cianobacterias fijadoras de nitrógeno. El segundo grupo predominante fue el de las proteobacterias de las clases  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\delta$ , representada en los clados I a III. De los géneros agrupados en el clado I podemos mencionar a *Pedomicrobium americanum*; a esta especie, estudiada por Tebo *et al.* (2010), se le relaciona con la capacidad de oxidar y acumular manganeso en un polisacárido extracelular.

*Aquaspirillum delicatum* y *Methylibium petroleiphilum*, agrupadas en el clado II, tienen la capacidad de regular metabólicamente la fijación y el uso de amonio en el medio de cultivo (Pot *et al.*, 2006; Cheng *et al.*, 2011). Esto resulta importante porque la nitrogenasa puede inhibirse por concentraciones de amonio superiores a 18 mg L<sup>-1</sup> y de nitrato superiores a 1,240 mg L<sup>-1</sup> (Almon & Boger, 1988; Li *et al.*, 2010).

En el clado III se encuentra el género *Nannocystis* sp., representado por varias especies que tienen la capacidad de formar un polisacárido extracelular al crecer en concentraciones de NaCl superiores a 7% (Zhang *et al.*, 2002).

*Pedomicrobium americanum* y *Nannocystis* sp. son especies importantes para la agregación de los integrantes del CM, ya que contribuyen a la formación de una matriz extracelular de polisacáridos, que lo protege contra organismos autóctonos del suelo donde se llegase a adicionar como biofertilizante.

El clado IV contiene secuencias identificadas como *Flavobacterium* sp. y *Flavobacterium aquatile*, las cuales se han utilizado como inoculantes en plantas de trigo y en ambientes acuáticos. Las especies de la clase Flavobacteria tienen un papel importante en la mineralización de diversos tipos de materia orgánica, como carbohidratos, aminoácidos, proteínas y polisacáridos (Bernardet & Bowman, 2006), y como miembros del CM pueden participar en la degradación de metabolitos, facilitando su asimilación a los demás integrantes del CM.

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, aproximadamente una tercera parte de las clonas analizadas tuvo similitud con organismos no cultivables, característica que define al CM como unidad funcional. Haber identificado aproximadamente 30% de microorganismos no cultivables en el CM pudo deberse al empleo de métodos polifásicos, que favorecen la identificación de la diversidad microbiana; sin embargo, aún existen limitaciones para identificar filogenéticamente a un gran número de ellos debido a que las bacterias cultivables identificadas, y cuyas secuencias han sido depositadas en bases de datos, representan aproximadamente el 0.1% de los microorganismos presentes en el ambiente (Loza *et al.*, 2013).

Con base en la información obtenida en el análisis morfológico, aunada a la del análisis filogenético, fue posible identificar cianobacterias filamentosas fijadoras de nitrógeno y a proteobacterias como principales organismos que conforman el CM; esto permite asegurar la existencia de una interacción entre ellas y la de un intercambio de metabolitos entre todos los organismos que conforman el CM, lo que les permite sobrevivir en diferentes ambientes. En consorcios aislados en campos de arroz localizados en diferentes regiones del mundo (China, Japón e India), se ha reportado un tipo de interacción cianobacteria-bacteria. Dicha interacción se estudió por medio de un método polifásico para identificar consorcios presentes en suelo, granos de arroz, rizósfera,

paja de arroz, etcétera. (Prasanna *et al.*, 2009; Reyna-Velarde *et al.*, 2012).

Por lo anterior, se puede concluir que la identificación de cianobacterias, bacterias, microalgas verdes y diatomeas que conforman el CM resultó esencial para comprender su crecimiento en el fotobiorreactor, así como para vislumbrar su posible aplicación biotecnológica como biofertilizante. La concentración de nitratos y amonio detectada en este estudio, es muy inferior a los niveles que causan inhibición de la actividad de nitrogenasa (Almon y Boger, 1988; Li *et al.*, 2010), por lo que la capacidad de fijación de nitrógeno del CM no se vio afectada.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional de México, por el financiamiento recibido para esta investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México, por la beca otorgada para llevar a cabo los estudios doctorales de la primera autora, y a la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, por el soporte económico otorgado para la realización del proyecto del cual forma parte la presente investigación.

## REFERENCIAS

- ALMON, H. & P. BOGER. 1988. Nitrogen and Hydrogen Metabolism: Induction and Measurement. In: Packer L. & A.N. Glazer (Eds.). *Methods in Enzymology*. Academic Press, INC., pp. 459-467. DOI: 10.1016/0076-6879(88)67050-9
- ALTSCHUL, S. F., T. L. MADDEN, A. A. SCHAFER, Z. ZHANG, W. MILLAR & D. J. LIPMAN. 1997. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Research* 25: 3389-3402. DOI: 10.1093/nar/25.17.3389
- AMIN, A. S., S. M. PARKER & E. V. ARMBRUST. 2012. Interactions between diatoms and bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 76 (3): 667-684. DOI: 10.1128/MMBR.00007-12
- BAUER, K., B. DIEZ, C. LUGOMELA, S. SEPPÄLÄ, A. J. BORG & B. BERGMAN. 2008. Variability in benthic diazotrophy and cyanobacterial diversity in a tropical intertidal lagoon. *FEMS Microbiology Ecology* 63: 205-221. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2007.00423.x
- BERNARDET, J. F. & J. P. BOWMAN. 2006. The genus *Flavobacterium*. *Prokaryotes* 7: 481-531. DOI: 10.1007/0-387-30747-8\_17
- CHENG, Z. W., J. M. CHEN, D. Z. CHEN & L. L. ZHANG. 2011. Biodegradation of methyl tert-butyl ether in a bioreactor using immobilized *Methylibium petroleiphilum* PM1 cell. *Water Air Soil Pollution* 214: 59-72. DOI: 10.1007/s11270-010-0403-3
- EATON, A. D., L. S. CLESCERI & A. E. GREENBERG (Eds.). 1992. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 13th ed. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). Washington, D. C. Folio variado
- EDWARDS, U., T. ROGALL, H. BLOCKER, M. EMDE & E. BOTTGER. 1989. Isolation and direct complete nucleotide determination of entire genes. Charac-

- terization of a gene coding for 16S ribosomal RNA. *Nucleic Acids Research* 17: 7843-7853. DOI: 10.1093/nar/17.19.7843
- FRANCO, L. J., A. G. DE LA CRUZ, G. A. CRUZ, R. A. ROCHA, S. N. NAVARRETE, M. G. FLORES, M. E. KATO, C. S. SÁNCHEZ, A. L. G. ABARCA & S. C. M. 2001. *Manual de ecología*. Trillas. México, pp. 128-135.
- GAJDA, I., J. GREENMAN, C. MELHUISH & I. IEROPOULOS. 2015. Self-sustainable electricity production from algae grown in a microbial fuel cell system. *Biomass and Bioenergy* 1-7. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.05.017
- GÁRDES, A., H. M. IVERSEN, H. P. GROSSART & U. PASSOW. 2011. Diatom-associated bacteria are required for aggregation of *Thalassiosira weissflogii*. *ISME Journal* 5: 436-445. DOI: 10.1038/ismej.2010.145
- GREWE, C. B. & PULZ, O. 2012. The Biotechnology of Cyanobacteria. In: Whitton, B. A. (Ed.). *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. Springer Science+Business Media, pp. 707-733
- GUPTA, V., S. K. RATHA, A. SOOD, V. CHAUDHARY & R. PRASANNA. 2013. New insights into the biodiversity and applications of cyanobacteria (blue-green algae) -Prospects and challenges. *Algal Research* 2: 79-97. DOI: 10.1016/j.algal.2013.01.006
- HENA, S., S. FATIMAH & S. TABASSUM. 2015. Cultivation of algae consortium in a dairy farm wastewater for biodiesel production. *Water Resources and Industry* 10: 1-14. DOI: 10.1016/j.wri.2015.02.002
- HERNÁNDEZ-MELCHOR, D. J. 2009. Identificación de los componentes de un consorcio microbiano fotosintético fijador de nitrógeno y su variación poblacional durante su crecimiento en lote en un fotobiorreactor. Tesis de Maestría en Ciencias (Biotecnología), Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México, 73 p.
- HÖFFNER, K. & P. I. BARTON. 2014. Design of Microbial Consortia for Industrial Biotechnology. Proceedings of the 8th International Conference on Foundations of Computer-Aided Process Design – FOCAPD 2014. pp. 1-10.
- KANNAIYAN, S. 2002. Ammonia production by the immobilized cyanobacteria for rice crop. In: Kannaiyan, S. (Ed.). *Biotechnology of Biofertilizers*. Narosa Publishing House. New Delhi, pp. 293-298.
- KANNAIYAN, S., S. J. ARUNA, P. K. S. MERINA & D. O. HALL. 1997. Immobilized cyanobacteria as a biofertilizer for rice crop. *Journal of Applied Phycology* 9: 67-174. DOI: 10.1023/A:1007962025662
- KRAMMER, K. & B. H. LANGE. 1986. 2/1. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.). *'Sußwasserflora von Mitteleuropa'*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 876 p.
- KRAMMER, K. & B. H. LANGE. 1988. 2/2. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.). *'Sußwasserflora von Mitteleuropa'*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 596 p.
- KRAMMER, K. & B. H. LANGE. 1991a. 2/3. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.). *'Sußwasserflora von Mitteleuropa'*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 576 p.
- KRAMMER, K. & B. H. LANGE. 1991b. 2/4. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. In: Ettl, H., G. Gartner, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.). *'Sußwasserflora von Mitteleuropa'*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 437 p.
- KROHN-MOLT, I., B. WEMHEUER, M. ALAWI, A. POEHLIN, S. GÜLLERT, C. SCHMEISSER, A. POMMERENING-RÖSER, A. GRUNDHOFF, R. DANIEL, D. HANELT & W.R. STREITA. 2013. Metagenome Survey of a Multispecies and Alga-Associated Biofilm Revealed Key Elements of Bacterial-Algal Interactions in Photobioreactors. *Applied and Environmental Microbiology* 79 (20): 6196-6206. DOI: 10.1128/AEM.01641-13
- LI, Z., J. YU, R. K. KYOUNG & J. BRAND. 2010. Nitrogen fixation by a marine non-heterocystous cyanobacterium requires a heterotrophic bacterial consort. *Environmental Microbiology* 12 (5):1185-1193. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2010.02159.x
- LOZA, V., E. PERONA, J. CARMONA & P. MATEO. 2013. Phenotypic and genotypic characteristics of *Phormidium*-like cyanobacteria inhabiting microbial mats are correlated with the trophic status of running waters. *European Journal of Phycology* 48 (2): 235-252. DOI: 10.1080/09670262.2013.799715
- MEGHARAJ, M., H. W. PEARSON & K. VENKATESWARLUT. 1992. Removal of nitrogen and phosphorus by immobilized cells of *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus bijugatus* isolated from soil. *Enzyme and Microbial Technology* 14: 656-658. DOI: 10.1016/0141-0229(92)90042-M
- MUÑOZ, R., M. T. ALVAREZ, A. MUÑOZ, E. TERRAZAS, B. GUIEYSSE & B. MATTIAS-SON. 2006. Sequential removal of heavy metals ions and organic pollutants using an algal-bacterial consortium. *Chemosphere* 63: 903-911. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.09.062
- MUÑOZ-MARTÍN, M. Á., A. MARTÍNEZ-ROSELL, E. PERONA, F. FERNÁNDEZ-PIÑAS & P. MATEO. 2014. Monitoring bioavailable phosphorus in lotic systems: A polyphasic approach based on cyanobacteria. *Science of The Total Environment* 475: 158-168. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.076
- PAERL, H. W. 1990. Physiological ecology and regulation of N<sub>2</sub> fixation in natural waters. *Advances in Microbial Ecology* 11: 305-344. DOI: 10.1007/978-1-4684-7612-5\_8
- PAERL, H. W. & J. L. PINCKNEY. 1996. A mini-review of microbial consortia: their roles in aquatic production and biogeochemical cycling. *Microbial Ecology* 31: 225-247. DOI: 10.1007/BF00171569
- POT, B., M. GILLIS & J. DE LEY. 2006. The genus *Aquaspirillum*. *Prokaryotes* 5: 710-722. DOI: 10.1007/0-387-30745-1\_30
- PRASANNA, R., P. JAISWAL, S. NAYAK, A. SOOD & B. D. KAUSHIK. 2009. Cyanobacterial diversity in the rhizosphere of rice and its ecological significance. *Indian Journal of Microbiology* 49: 89-97. DOI: 10.1007/s12088-009-0009-x
- REYNA-VELARDE, R., D. J. HERNÁNDEZ-MELCHOR, M. VÁZQUEZ-HERNÁNDEZ & R. O. CAÑIZARES-VILLANUEVA. 2012. Isolation of a photosynthetic microbial consortium formed mainly by cyanobacteria with capacity to fix nitrogen. *International Journal of Environmental Engineering* 4 (3/4):183-196. DOI: 10.1504/IJEE.2012.050793

- RIPPKA, R., J. DERUELLES, J.B. WATERBURY, M. HERDMAN & R.Y. STANIER. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *Journal of General Microbiology* 111:1-61. DOI: 10.1099/00221287-111-1-1
- RIVAS, R., E. VELÁZQUEZ, A. WILLEMS, N. VIZCAÍNO, R. S. N. SUBBA, F. P. MATEOS, M. GILLIS, F. B. DAZZO & E. M. MOLINA. 2002. A new species of *Devosia* that forms a unique nitrogen-fixing root-nodule symbiosis with the aquatic legume *Neptunia natans* (L.f.) Druce. *Applied and Environmental Microbiology* 68 (11): 5217-5222. DOI: 10.1128/AEM.68.11.
- ROSSELLÓ, M. R. & R. AMANN. 2001. The species concept for prokaryotes. *FEMS Microbiology Reviews* 25: 39-67. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2001.tb00571.x
- RUSHFORTH, F. E., I. KACZMARSKA & J. R. JOHANSEN. 1984. The subaerial diatom flora of Thurston lava tube, Hawaii. *Bacillaria* 7: 135-157.
- SUBASHCHANDRABOSE, S. R., B. RAMAKRISHNAN, M. MEGHARAJ, K. VENKATESWARLU & R. NAIDU. 2011. Consortia of cyanobacteria/microalgae and bacteria: Biotechnological potential. *Biotechnology Advances* 29: 896-907. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2011.07.009
- TAMURA, K. & M. NEI. 1993. Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees. *Molecular Biology and Evolution* 10: 512-526.
- TEBO, B. M., K. GESZVAIN & L. W. SUNG. 2010. The molecular geomicrobiology of bacterial manganese (II) oxidation. In: Barton, L. L., M. Mandl & A. Loy (Eds.). *Geomicrobiology: molecular and environmental perspective*. Springer, Oregon, pp. 285-308. DOI: 10.1007/978-90-481-9204-5\_13
- THACKER R. W. & V. J. PAUL. 2004. Morphological, Chemical, and Genetic Diversity of Tropical Marine Cyanobacteria *Lyngbya* spp. and *Symploca* spp. (*Oscillatoriales*). *Applied and Environmental Microbiology* 70 (6): 3305-3312. DOI: 10.1128/AEM.70.6.
- TREDICI, M. R., P. CARLOZZI, G. Z. CHINI & R. MATERASSI. 1991. A vertical alveolar panel (VAP) for outdoor mass cultivation of microalgae and cyanobacteria. *Bioresource Technology* 38: 153-159. DOI: 10.1016/0960-8524(91)90147-C
- TREJO, A., E. L. DE-BASHANA, A. HARTMANN, J. P. HERNÁNDEZ, M. ROTHBALLER, M. SCHMID & Y. BASHAN. 2012. Recycling waste debris of immobilized microalgae and plant growth-promoting bacteria from wastewater treatment as a resource to improve fertility of eroded desert soil. *Environmental and Experimental Botany* 75: 65-73. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2011.08.007
- VALENZUELA, E. C., G. I. NERIA, H. R. J. ALCÁNTARA, A. I. ESTRADA, D. S. F. J. ZAVALA, L. DENDOOVEN & R. MARSCH. 2009. Changes in the bacterial populations of the highly alkaline saline soil of the former lake Texcoco (Mexico) following flooding. *Extremophiles* 13: 609-621. DOI: 10.1007/s00792-009-0244-4
- VASSEUR, C., G. BOUGARAN, M. GARNIER, J. HAMELIN, C. LÉBOULANGER, M. L. CHEVANTON, B. MOSTAJIR, B. SIALVE, J.P. STEYER & E. FOULLAND. 2012. Carbon conversion efficiency and population dynamics of a marine algae-bacteria consortium growing on simplified synthetic digestate: First step in a bioprocess coupling algal production and anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 119: 79-87. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.05.128
- VENKATARAMAN, G. S. 1981. *Blue-green algae for rice production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 102 p.
- WARTIAINEN, I., T. ERIKSSON, W. ZHENG & U. RASMUSSEN. 2008. Variation in the active diazotrophic community in rice paddy-nifH PCR-DGGE analysis of rhizosphere and bulk soil. *Applied Soil Ecology* 39: 65-75. DOI: 10.1016/j.apsoil.2007.11.008
- WEHR, J. D. & R. G. SHEATH. 2003. *Freshwater algae of North America; ecology and classification*. Academic Press, California. 1025 p.
- YU, Z. & M. MORRISON. 2004. Comparisons of different hypervariable regions of rrs genes for use in fingerprinting of microbial communities by PCR-denaturing gradient gel electrophoresis. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 4800-4806. DOI: 10.1128/AEM.70.8.
- ZHANG, K., Z. LIU, S. WANG & P. JIANG. 2002. Characterization of a biofloculant produced by the marine myxobacterium *Nannocystis* sp. NU-2. *Applied Microbiology and Biotechnology* 59: 517-522. DOI: 10.1007/s00253-002-1023-7

**Recibido:** 04 de abril de 2014.

**Aceptado:** 20 de abril de 2016.

# Composición específica y abundancia de macroalgas y angiospermas marinas en tres arrecifes coralinos de la plataforma Sudoccidental de Cuba (1987)

## Specific composition and abundance of macroalgae and marine angiosperms in three coral reefs from the Southwest Cuban shelf (1987)

Beatriz Martínez-Daranas<sup>1</sup>, Macario Esquivel<sup>2</sup>, Pedro M. Alcolado<sup>2</sup> y Clara Jiménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Marinas (UH-MES), Calle 16 No. 114, Playa, La Habana, 11300. Cuba

<sup>2</sup> Instituto de Oceanología (CITMA). Ave 1ª, No. 18406, Reparto Flores, Playa, La Habana, 11600. Cuba

e-mail: beatriz@cim.uh.cu

Martínez-Daranas B., M. Esquivel, P. M. Alcolado & C. Jiménez. 2016. Composición específica y abundancia de macroalgas y angiospermas marinas en tres arrecifes coralinos de la plataforma Sudoccidental de Cuba (1987). *Hidrobiológica* 26 (2): 323-337.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Pocas investigaciones emplean la biomasa de macroalgas como indicador de su abundancia en arrecifes coralinos, donde éstas juegan un papel fundamental. **Objetivos.** Explorar las diferencias espaciales y temporales en las comunidades de macroalgas y angiospermas en tres arrecifes coralinos de la costa sur de Cuba. **Métodos.** Se analizaron las diferencias en abundancia, riqueza y composición específica de macroalgas y angiospermas en cuatro zonas, a distintas profundidades y dos épocas climáticas en tres arrecifes coralinos durante 1987. Se empleó la frecuencia de aparición, la biomasa seca por especie y la biomasa seca total como indicadores de la abundancia y se realizaron análisis multivariados y univariados. Se examinaron las relaciones entre estas variables con algunas características ambientales de los sitios (profundidad, tipo de sustrato, hidrodinamismo, relieve del fondo). **Resultados.** Se registraron 67 especies de macroalgas y 3 angiospermas marinas. Hubo diferencias en la composición específica y biomasa total entre los sitios y las zonas, con una disminución en el número de especies al aumentar la profundidad, pero no entre las épocas climáticas. En las lagunas, los valores más altos de biomasa y frecuencia de aparición fueron para *Thalassia testudinum* y las macroalgas *Halimeda incrassata* y *H. simulans*. En la zona frontal, las especies más importantes por su biomasa y frecuencia fueron *Halimeda scabra* y *Dictyota ciliolata*. En Juan García los valores de biomasa total y número de especies fueron más altos, probablemente por el sustrato mixto y el aporte de nutrientes. Cantiles, con aguas oceánicas más pobres, tuvo la menor biomasa de macroalgas. En Diego Pérez, el número de especies fue menor, posiblemente por ser una zona más resguardada. **Conclusiones.** Las características del hábitat y la disminución de la luz con el aumento de la profundidad parecen ser factores determinantes en la distribución de las especies de macroalgas en los arrecifes.

**Palabras clave:** Arrecifes coralinos, biomasa, composición específica, Cuba, macroalgas, pastos marinos.

### ABSTRACT

**Background.** Few investigations use macroalgae's biomass as an indicator of their abundance on coral reefs, where they play an important role. **Goals.** To explore the spatial and temporal differences in the macroalgae communities in three coral reefs located along the southern coast of Cuba. **Methods.** Differences in abundance, species number, and specific composition of macroalgae were analyzed in four zones (reef lagoon and fore reef at 5, 10, and 15 m depth) in three coral reefs, in two climatic periods (dry and rainy) in 1987. The frequency of appearance, the dry biomass by species, and the dry total biomass were used as abundance indicators. Multivariate and univariate analysis were used. Relationships among these variables and some environmental characteristics (depth, substratum type, hydrodynamics, and bottom relief) of sites were examined. **Results.** 67 macroalgae species and three marine angiospermae were reported. Differences in specific composition and biomass were found among sites and zones, but not between the climatic periods, with a decrease in species number when depth increases. At reef lagoons, higher biomass and frequency were found for the marine seagrass *Thalassia testudinum* and macroalgae *Halimeda incrassata* and *H. simulans*. At fore reefs, the most important species in terms of their biomass and frequency were *Halimeda scabra* and *Dictyota ciliolata*. Juan García reef had the highest values of total biomass and species number, probably due to the mixed substrata and the contribution of nutrients. Cantiles reef, with poorer oceanic waters, had lower total biomass. In Diego Pérez reef, the species number was lower, apparently because this location is more protected. **Conclusions.** The habitat characteristics and the decrease in light as depth increases seem to be determining factors in the distribution of the macroalgae species.

**Key words:** Biomass, coral reefs, Cuba, macroalgae, seagrasses, specific composition.



## INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral y los pastos marinos se encuentran entre los ecosistemas marinos tropicales amenazados a escala global por diversos factores de origen antrópico y natural, de los cuales las acciones humanas en la zona costera y el cambio climático son las principales causas de su degradación (Hoegh-Guldberg, *et al.*, 2008; Wilkinson & Souther, 2008). Esta degradación se ha visto reflejada en la disminución de la diversidad o los cambios en la estructura de algunos grupos zoológicos en estos ecosistemas a lo largo del tiempo, con implicaciones negativas para los arrecifes coralinos. Ejemplo de ello son las investigaciones que se han realizado en Cuba, dedicadas al estudio de los corales pétreos (Hernández-Fernández *et al.*, 2008; Alcolado, *et al.*, 2010; Caballero & Alcolado, 2011), octocorales (Hernández-Muñoz *et al.*, 2008), esponjas (Alcolado, 1990b, 1999, 2007; Alcolado & Herrera-Moreno, 1987) y peces (González-Sansón *et al.*, 2009).

El macrofitobentos (macroalgas y angiospermas marinas) tiene varias funciones de suma importancia para el funcionamiento de los ecosistemas neríticos, tales como: la productividad primaria, el reciclaje de nutrientes en el agua y los sedimentos (los cuales retienen carbono), que aportan material biogénico, proporcionan un hábitat que funciona como refugio o zonas de cría para muchas especies y contribuyen a la acreción de los arrecifes coralinos, entre otras funciones (Wanders, 1976; Littler & Littler, 1988; Suárez, 1989; Graham & Wilcox, 2000; Larkum *et al.*, 2006).

Los principales factores físico-químicos que suelen incidir en el desarrollo de las macroalgas y angiospermas marinas son la luz, la temperatura, los nutrientes y la presencia de un sustrato adecuado (Lüning, 1990; Graham & Wilcox, 2000; Larkum, *et al.*, 2006). Estos factores están relacionados, a escala local, con las características geomorfológicas, la profundidad, la dinámica y la calidad de las aguas (Graham & Wilcox, 2000).

La abundancia y el tipo de macroalgas predominantes en los ecosistemas marino-costeros tropicales, cuando no existe otro factor que sea limitante, suele encontrarse modulada por dos vías diferentes y antagónicas de regulación del sistema (regulación "bottom-up" y "top-down") (Cardoso *et al.*, 2004; Bellwood *et al.*, 2006; Littler & Littler, 2006; Littler *et al.*, 2006; Collado-Vides *et al.*, 2007), así como por disturbios que controlan su desarrollo. Durante cierto tiempo se ha suscitado una controversia sobre cuál de estos dos controles son los determinantes para la conservación de los arrecifes coralinos (Hughes *et al.*, 1999; Lapointe, 1999). Algunos autores mantienen la propuesta de un modelo de dominancia relativa que es aplicable tanto para los arrecifes coralinos como para los pastos marinos (Littler & Littler, 2005a, b), en el cual los bajos niveles de herbivoría, relacionados con niveles más altos de nutrientes, favorecen el desarrollo excesivo de las macroalgas oportunistas (foliosas, filamentosas y carnosas) que causan el deterioro del ecosistema, principalmente en la competencia por el espacio y la luz con los organismos dominantes, como los corales, en los arrecifes y las angiospermas marinas, en los pastos marinos. Otro problema que pudo haber facilitado una explosión de macroalgas en los arrecifes coralinos del Caribe fue la mortandad masiva del erizo herbívoro *Diadema antillarum* (Phillipi, 1845) en la década de 1980 (Hughes *et al.*, 1987).

La mayor parte de los trabajos encontrados sobre las macroalgas en los arrecifes coralinos estiman la abundancia de las especies (o morfotipos) en cuadrados o transectos, visualmente o con un soft-

ware mediante fotografía o video (Littler & Littler, 1985; Valdivia & de la Guardia, 2004; Kraufvelin *et al.*, 2010; Caballero & Alcolado, 2011). Ha sido menos frecuente el estudio de la composición por especies de las macroalgas como indicadores de la condición de los arrecifes coralinos, dadas las dificultades que entraña la cuantificación y la identificación *in situ* de las especies. Pocos estudios utilizan la biomasa de las algas como forma de evaluar su abundancia (Martínez-Daranas *et al.*, 1996; Zúñiga-Ríos *et al.*, 2012). La determinación de las especies presentes por medio de la recolecta de todo el material del fondo puede dar una mayor información acerca de la estructura de las comunidades de macroalgas que la cobertura, ya que se puede lograr la separación e identificación en el laboratorio de todos los especímenes que sean recolectados.

Generalmente no se cuenta con datos de la abundancia de macroalgas en los arrecifes de coral en épocas anteriores, para poder realizar comparaciones con la situación actual. Debido a esta situación, se propuso como objetivo del presente trabajo, explorar las diferencias entre la abundancia y la composición específica de las macroalgas en tres arrecifes coralinos de la costa sur de Cuba durante dos épocas climáticas de recolecta (lluvias y secas). Para ello se utilizaron datos no publicados de la biomasa seca por especie y biomasa total de macroalgas de la década de 1980. Además, se analizó la influencia de algunas características de los sitios (época climática, profundidad, tipo de sustrato, hidrodinamismo, relieve del fondo). Los datos de este trabajo brindaron información que en un futuro permitirá realizar comparaciones entre las macroalgas de estos arrecifes en la actualidad y los resultados anteriores, ante los posibles cambios de origen antrópico o natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** Los tres sitios de estudio están ubicados en los cayos Juan García, Cantiles y Diego Pérez (Fig. 1) en el borde de la plataforma insular cubana, al sur del golfo de Batabanó (zona suroccidental de Cuba). Los tres se encuentran alejados de áreas con desarrollo costero, pero muestran algunas diferencias en sus características topográficas, influencia terrígena y resguardo de los vientos procedentes del Este y del Sur.

En cada sitio se consideraron cuatro zonas: L (laguna del arrecife entre 2 y 4 m de profundidad), 5 (terrazza rocosa del arrecife frontal a 5 m de profundidad), 10 (arrecife frontal a 10 m de profundidad), 15 (arrecife frontal 15 m de profundidad (Tabla 1), para un total de 12 estaciones. En 1987 en cada estación se realizaron dos muestreos, uno en la época climática de lluvias (julio) y otro en la de secas (febrero-marzo). La denominación de cada muestra estuvo formada por las siglas del sitio, la zona y la época del año. Por ejemplo, JGLs significa el muestreo realizado en el sitio Juan García, en la laguna arrecifal, en la época de secas.

**Método de muestreo.** El método de muestreo consistió en recolectar, con una draga de succión modificada (Ibarzabal, 1987), todas las macroalgas y las angiospermas que se ubicaron dentro de un aro de 33 cm de diámetro lanzado al azar sobre el fondo. Cada aro lanzado constituyó una unidad de muestreo, por lo que se obtuvieron un total de 24 muestras, cada una con entre 9 y 13 unidades de muestreo, excepto en JG15s, donde se lograron solo 5. Se observaron los casos en que los aros coincidieron con invertebrados sésiles en el fondo. Con

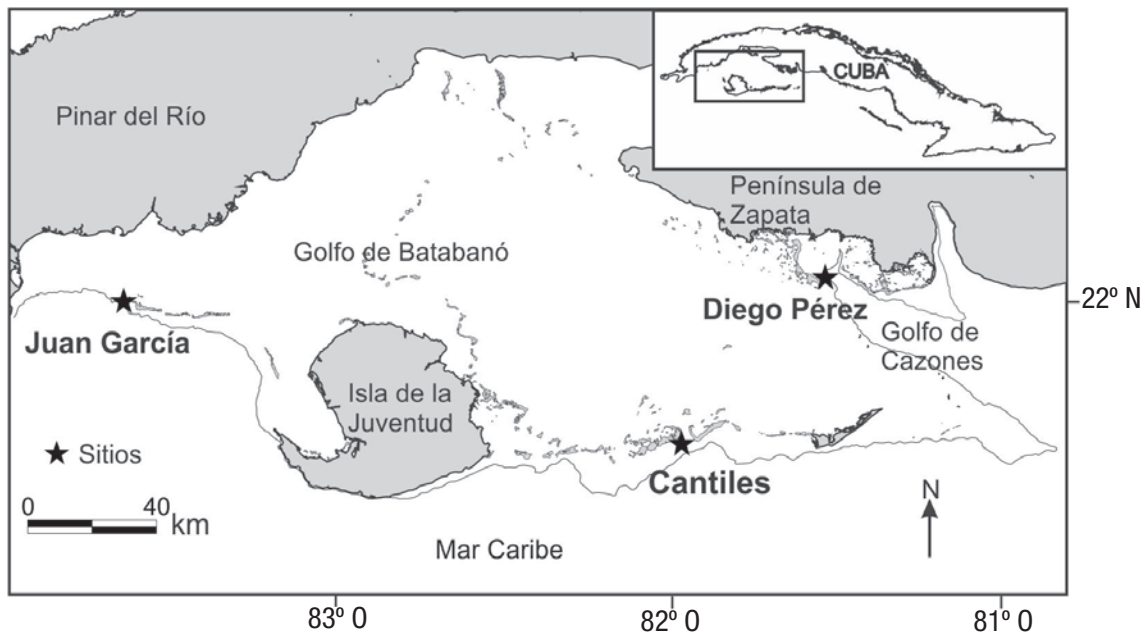


Figura 1. Localización de los tres arrecifes coralinos de la plataforma sudoccidental de Cuba estudiados.

este método no se incluyeron las macroalgas costrosas, como las del orden Corallinales.

El material recolectado fue conservado en formol al 5% diluido en agua de mar, previamente neutralizado con tetraborato de sodio, y guardado en bolsas de plástico etiquetadas. En el laboratorio, el material fue separado manualmente por decantación y debajo de un microscopio estereoscópico. Se identificaron las macroalgas y angiospermas marinas mayores de 1 cm de talla hasta el nivel de especie cuando fue posible, con base en la literatura especializada (Taylor, 1957, 1960; Chapman, 1961, 1963) y se actualizó su nomenclatura con la base de datos *online* de Guiry y Guiry (2016).

Como indicador de la abundancia de cada especie, se estimó su biomasa seca en cada unidad de muestreo. Para lo cual, se estimó la biomasa húmeda inicial de cada especie, después de dejarla reposar 10 min sobre papel secante, y posteriormente se procedió al secado en una estufa a 70° C hasta alcanzar peso constante, con una balanza analítica de 0.0001 g de precisión. Cada valor de biomasa seca se extrapoló a la unidad de área (m<sup>2</sup>) y se promediaron los valores de cada muestra, para calcular la biomasa seca de cada especie (BS). Se sumaron las biomásas promedio de todas las especies por muestra para obtener la biomasa seca total de macroalgas (BT).

**Análisis de datos.** Se calculó la curva de acumulación de riqueza de taxones de los sitios y de las zonas con el estimador Bootstrap (Efron & Tibshirani, 1986). Este método se basa en el remuestreo al azar de los datos reales, recalcula la riqueza N veces y permite estimar la desviación estándar (Crowley, 1992). Para ello, se utilizó el software libre en línea EstimateS (Versión 8.2.0, © R. K. Colwell) con 100 permutaciones (Colwell, 2009).

Con los datos de biomasa seca por especie (BS) se probaron las diferencias en la composición específica de macroalgas entre épocas

(lluvias y secas), los tres sitios y las cuatro zonas del arrecife, con la rutina *a priori* ANOSIM. Para explorar las diferencias en la composición específica de las macroalgas entre los muestreos, se realizó una matriz de similitud con el coeficiente de similitud de Bray Curtis, a partir de los valores de BS previamente transformados con logaritmo. Para evitar la distorsión que provocan las especies raras (Clarke & Warwick, 2001) y no desechar especies frecuentes pero de baja biomasa, se incluyeron en la matriz las que contribuyeron con más del 5% de la biomasa total de al menos una muestra, así como aquellas que se presentaron en el 5% o más de las muestras. A partir de esta matriz, se realizó un análisis de agrupamiento (CLUSTER) empleando la técnica de aglomeración de promedio de grupos, con la prueba de similitud *a posteriori* SIMPROF con un 5% de significación. Mediante la rutina SIMPER, se determinó la contribución de las especies de cada grupo formado. Con la misma matriz de similitud se realizó un escalamiento multidimensional no métrico (MDS).

Para determinar cuáles son las variables que influyen en la estructura de las macroalgas con las variables abióticas, se empleó la rutina BEST con 99 permutaciones y los datos abióticos previamente normalizados. Todos estos análisis multivariados se realizaron con el programa PRIMER v.6 (Clarke & Gorley, 2006). Como variables abióticas se consideraron: la época en que se realizaron los muestreos (lluvias y secas), la profundidad, el índice de tensión hidrodinámico (ITH) calculado a partir de las especies dominantes de octocorales (Alcolado, 1984), y el grado de irregularidad del relieve del fondo, estimado visualmente con una escala del cero (para los fondos horizontales con pastos marinos) al tres. Al tipo de sustrato también se le asignó una escala de valores: capa profunda de arena (1), capa delgada de arena mezclada con rocas (2) y roca desnuda (3). Como posible competidor de las macroalgas, se incluyó la biomasa seca de angiospermas marinas en las lagunas. Los valores asignados a estos factores abióticos aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las estaciones estudiadas en cada sitio de los tres arrecifes coralinos de la plataforma sudoccidental de Cuba, por zonas, y valores de las variables abióticas.

Sitio	Estación	Zonas	BF (gPS.m <sup>-2</sup> )	ITH	Prof. (m)	Sustrato	Relieve	Características del biotopo
Juan García	JGL	L	82.0 <sup>(s)</sup> 81.9 <sup>(ll)</sup>	-	3.5	2	0	Pastos marinos en densidad media
	JG5	5		99	5	3	1	Terraza rocosa de escaso relieve, pocos corales
	JG10	10		27	10	3	2	Fondo de arrecife coralino con camellones anchos y canales
	JG15	15		7	15	3	2	Fondo de camellones y canales bien desarrollado
Cantiles	CanL	L	79.2 <sup>(s)</sup> 34.0 <sup>(ll)</sup>	-	2.5	1	0	Pastos marinos con densidad media
	Can5	5		71	5	3	1	Terraza rocosa con depresiones, cubrimiento coralino bajo
	Can10	10		25	10	3	2	Fondo irregular con desarrollo coralino en pilares y cabezos
	Can15	15		5	15	3	2	Fondo irregular con desarrollo coralino en pilares y cabezos
Diego Pérez	DPL	L	71.1 <sup>(s)</sup> 20.8 <sup>(ll)</sup>	-	3.5	1	0	Pastos marinos en densidad media
	DP5	5		25	5	3	2	Terraza rocosa de pendiente suave y escaso relieve, con grandes cabezos coralinos
	DP10	10		17	10	3	3	Arrecife de coral irregular con pocetas de arena y poca pendiente
	DP15	15		10	15	3	3	Mayor complejidad estructural del fondo, con pocetas de arena, poca pendiente y abundantes corales

Zonas: lagunas arrecifales=(L), terrazas rocosas a 5 m de profundidad=(5), pendiente a 10 m=(10), pendiente a 15 m=(15). BF=Biomasa foliar seca de angiospermas en secas=(s) y en lluvias=(ll). ITH = Índice de tensión hidrodinámica. Prof.=Profundidad. Sustrato: 1=capa de sedimento mayor de 10 cm; 2=capa de sedimento menor de 10 cm, con roca aflorando en algunas partes; 3 (fondo rocoso). Relieve: 0=plano con pastos marinos, 1=poco irregular, 2=irregularidad intermedia, 3=muy irregular.

La normalidad y homogeneidad de varianza de los datos de biomasa total de macroalgas (BT) fueron probadas mediante las pruebas de Lilliefors y de Levene, respectivamente. Esta variable fue comparada entre sitios y épocas, así como entre zonas y épocas, mediante un análisis de varianza bifactorial, con los datos transformados con logaritmo natural. Posteriormente se aplicó la prueba de comparación de medias *a posteriori* de Tukey HSD para tamaños de muestra desiguales.

Se aplicó un análisis de correlación por rangos de Spearman para detectar las relaciones entre la biomasa total de macroalgas y las variables abióticas (profundidad, relieve, ITH, tipo de sustrato y biomasa seca de angiospermas marinas en las lagunas). Estos análisis se realizaron con el programa Statistica 7.0 (© Statsoft, Inc. 1984-2004) con un nivel de significación de 0.05.

## RESULTADOS

**Composición específica.** Se encontró un total de 70 especies del macrofitobentos: 22 Rhodophyta, 10 Phaeophyceae (Heterokontophyta), 35 Chlorophyta y tres Magnoliophyta. La lista de especies de macroalgas y angiospermas marinas con las autoridades de los taxones se encuentra en la tabla 2.

La biomasa seca por especie de macroalga por zona (promediando lluvia y seca) estuvo entre 0.0001 y 125.7 gPS.m<sup>-2</sup>, con el valor más alto

para *Halimeda scabra* (DP10), seguida por la angiosperma *Thalassia testudinum* en JGL. En la zona frontal del arrecife se destacaron por valores altos de biomasa en algunas muestras *Heterosiphonia crispella* (JG5), *Sargassum hystrix* y *Cladophora fuliginosa* (JG10) (Tabla 2).

La especie del macrofitobentos más importante por su biomasa seca y por la frecuencia de aparición en las lagunas arrecifales de los tres sitios fue la angiosperma *T. testudinum*, aunque también se encontraron parches de la angiosperma *Syringodium filiforme* en los tres (Tabla 2). *Halodule wrightii* se encontró solamente en CanLII. Las macroalgas que se presentaron en las tres lagunas fueron *Halimeda incrasata* y *H. simulans*, que no se encontraron en las zonas frontales de los arrecifes (Tabla 2). Las especies de mayor frecuencia de aparición y biomasa seca en la zona frontal (5, 10 y 15 m) de los tres arrecifes fueron *H. scabra* y *Dictyota ciliolata* (Tabla 2). En JG5 y JG10 m, *Sargassum filipendula* y *S. hystrix* también presentaron valores de biomasa comparativamente altos. *Botryocladia pyriformis*, *Champia salicornioides* y *Valonia macrophysa* aparecieron en los tres sitios y en las tres profundidades del arrecife frontal, aunque con menores valores de biomasa que las anteriores. En las cuatro zonas del arrecife coincidieron ocho especies: *Digenea simplex*, *D. ciliolata*, *Lobophora variegata*, *Anadyomene stellata*, *C. fuliginosa*, *Penicillus capitatus*, *Rhypocephalus phoenix* y *V. macrophysa*. La mayoría de las especies se encontraron tanto en secas como en lluvias (Tabla 2).

Tabla 2. Lista de especies y biomasa seca promedio de macroalgas y angiospermas marinas halladas en tres arrecifes coralinos de la plataforma sudoccidental de Cuba por zonas, frecuencia en porcentaje (Frec) y época climática en que aparecieron.

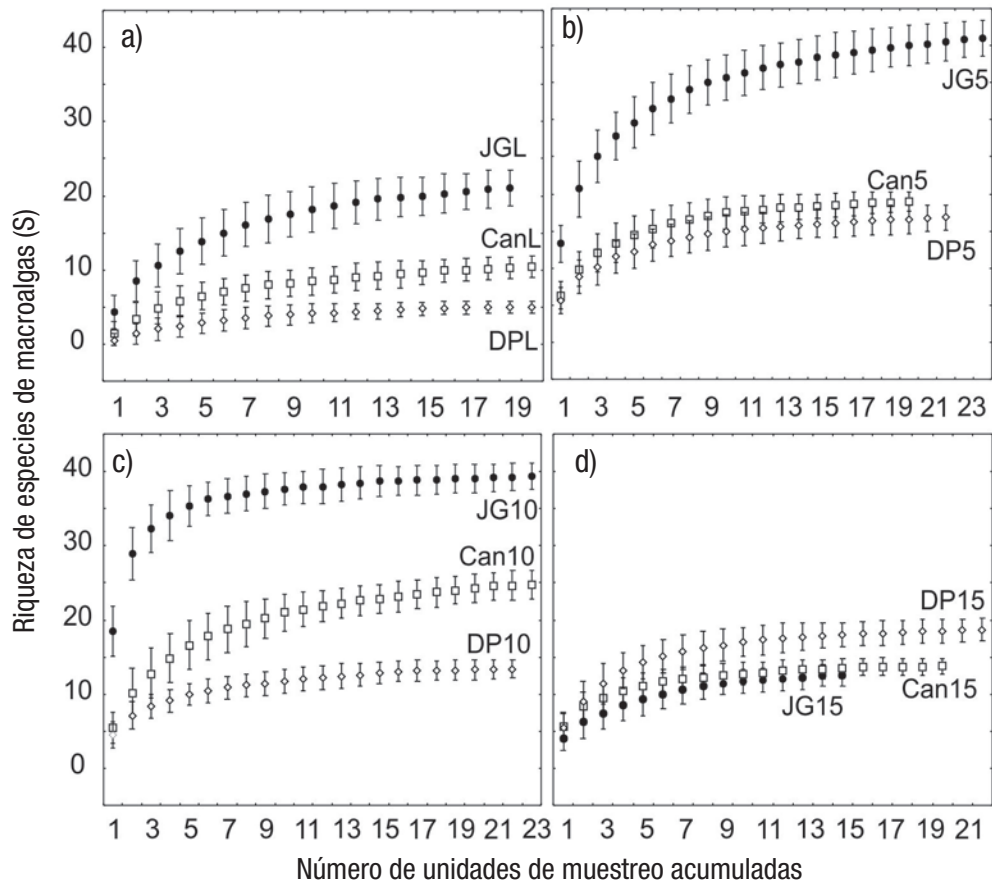
Especies	Lagunas			5			10			15			Frec	Época
	JG	Can	DP	JG	Can	DP	JG	Can	DP	JG	Can	DP		
<b>División RHODOPHYTA</b>														
<i>Amphiroa fragilissima</i> (Linnaeus) J. V. Lamouroux	0.51			6.55			9.02	<0.01					18.0	(s), (II)
<i>Asteromenia peltata</i> (W.R.Taylor) Huisman et A. Millar*											<0.01		0.4	(s)
<i>Botryocladia pyriformis</i> (Børgesen) Kylin				<0.01	<0.01	<0.01	0.18	0.03	<0.01	<0.01	0.01	0.01	15.6	(s), (II)
<i>Bryothamnion triquetrum</i> (S. G. Gmelin) M. Howe*				0.25			3.36						6.4	(s), (II)
<i>Centroceras</i> sp. *						0.10							0.4	(II)
<i>Champia salicornioides</i> Harvey				0.03	0.01	0.11	0.07	0.01	0.12	<0.01	0.02	<0.01	23.6	(s), (II)
<i>Corynomorpha clavata</i> (Harvey) J. Agardh				0.35	0.23	1.02	0.08	<0.01				0.03	14.8	(s), (II)
<i>Digenea simplex</i> (Wulfen) C. Agardh**	0.08			3.09	0.11	2.68	2.99	<0.01		<0.01		0.06	27.6	(s), (II)
<i>Galaxaura rugosa</i> (J. Ellis et Solander) J.V. Lamouroux				0.54	0.02		5.79	0.13					13.2	(s), (II)
<i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskål) Feldmann et Hamel				<0.01			<0.01						11.2	(s), (II)
<i>Griffithsia</i> sp.					<0.01		<0.01	<0.01	<0.01			<0.01	6.8	(s), (II)
<i>Heterosiphonia crispella</i> (C. Agardh) M. J. Wynne				3.87		0.04	1.72	0.22	0.01	0.02			10.8	(s), (II)
<i>Hypoglossum tenuifolium</i> (Harvey) J. Agardh					0.01			<0.01	0.04		<0.01	<0.01	9.6	(s), (II)
<i>Jania adhaerens</i> J.V. Lamouroux				6.01	1.93	0.64	4.14	0.02	0.18			0.01	27.6	(s), (II)
<i>Jania capillacea</i> Harvey				0.40		1.67		0.55					7.6	(s), (II)
<i>Jania cubensis</i> Montagne ex Kützing				10.59			5.48	0.02					17.2	(s), (II)
<i>Jania rubens</i> (Linnaeus) J.V. Lamouroux*				0.27			0.15						1.2	(s)
<i>Laurencia obtusa</i> (Hudson) J.V. Lamouroux		0.20											0.8	(II)
<i>Laurencia sensu lato</i> sp. 1*				0.14		0.02	3.73	<0.01					8.8	(s), (II)
<i>Laurencia sensu lato</i> sp. 2				1.05	0.06	0.09	0.06	0.06	0.06		<0.01	0.05	10.0	(s), (II)
<i>Laurencia sensu lato</i> sp. 3	0.03		0.30		0.02			0.22					4.8	(s), (II)
<i>Wurdemannia miniata</i> (Sprengel) Feldman et Hamel				0.15	0.01	0.74	1.18	0.05	0.06				15.2	(s), (II)
<b>División HETEROKONTOPHYTA</b>														
<i>Canistrocarpus cervicornis</i> (Kützing) De Paula et De Clerck				2.56			0.55	0.08			0.26	2.09	15.6	(s), (II)
<i>Dictyopteris delicatula</i> J. V. Lamouroux*						<0.01							0.4	(II)
<i>Dictyota ciliolata</i> Sonder ex Kützing**	0.01			9.90	7.79	3.63	0.64	11.21	1.40	13.80	4.98	4.32	68.8	(s), (II)
<i>Lobophora variegata</i> (J. V. Lamouroux) Womersley ex E. C. Oliveira**		0.09		0.10	<0.01	<0.01	0.86	0.05	<0.01	<0.01	4.69	1.42	23.6	(s), (II)
<i>Padina sanctae-crucis</i> Børgesen*				0.06				0.01					0.8	(s)
<i>Padina</i> sp.*					0.02								0.8	(s)
<i>Sargassum filipendula</i> C. Agardh				4.82			15.02						9.2	(s), (II)
<i>Sargassum hystrix</i> J. Agardh				2.84			43.72			0.03	5.15		11.6	(s), (II)
<i>Styopodium zonale</i> (J.V. Lamouroux) Papenfuss*				0.69									0.8	(II)
<i>Turbinaria tricostata</i> E.S. Barton*							0.07						0.4	(s)
<b>División CHLOROPHYTA</b>														
<i>Anadyomene stellata</i> (Wulfen) C. Agardh		<0.01		<0.01			0.66	0.02		<0.01	0.01		14.0	(s), (II)
<i>Avrainvillea levis</i> M. Howe	0.99												1.2	(II)
<i>Avrainvillea nigricans</i> Decaisne	3.61	1.28		0.03			0.12						7.6	(s), (II)
<i>Avrainvillea rawsonii</i> (Dickie) M. Howe	0.31												0.8	(s)



Continuación tabla 2.

Especies	Lagunas			5			10			15			Frec	Época
	JG	Can	DP	JG	Can	DP	JG	Can	DP	JG	Can	DP		
<i>Avrainvillea</i> sp.			3.51										0.8	(s)
<i>Caulerpa chemnitzia</i> (Esper) J. V. Lamouroux*							0.28						2.4	(s, II)
<i>Caulerpa paspaloides</i> (Bory) Greville*			9.84										4.4	(II)
<i>Caulerpa verticillata</i> J. Agardh*				<0.01			<0.01						0.8	(s)
<i>Caulerpa webbiana</i> Montagne*							0.85						4.8	(s, II)
<i>Chamaedoris peniculum</i> (J. Ellis et Solander) Kuntze*							0.02						1.2	(II)
<i>Cladophora fuliginosa</i> Kützing**	0.99			1.73	0.26	0.12	32.99	0.21		0.04	0.19	0.04	31.6	(s, II)
<i>Dasycladus vermicularis</i> (Scopoli) F. Krasser*				0.29			3.24						8.0	(s, II)
<i>Dictyosphaeria cavernosa</i> (Forsskål) Børgesen	0.79	0.20		0.07		<0.01	<0.01		<0.01				8.8	(s, II)
<i>Dictyosphaeria ocellata</i> (M. Howe) J.L. Olsen	0.01	0.07											1.6	(s)
<i>Ernodesmis verticillata</i> (Kützing) Børgesen*				<0.01									0.8	(s)
<i>Halimeda discoidea</i> Descaigne*											0.37		0.4	(II)
<i>Halimeda incrassata</i> (J. Ellis) J.V. Lamouroux	0.46	0.98	10.94										2.4	(s, II)
<i>Halimeda lacrimosa</i> M. Howe	0.20						0.06						2.8	(s, II)
<i>Halimeda monile</i> (J. Ellis et Solander) J.V. Lamouroux	2.34	8.41											4.4	(s, II)
<i>Halimeda opuntia</i> (Linnaeus) J.V. Lamouroux*	0.27			0.17				0.23					1.6	(s, II)
<i>Halimeda scabra</i> M. Howe				46.04	9.83	31.79	15.02	12.46	125.71	16.83	14.57	49.57	70.8	(s, II)
<i>Halimeda simulans</i> M. Howe	17.31	0.13	3.00										4.4	(s, II)
<i>Halimeda tuna</i> (J. Ellis et Solander) J.V. Lamouroux	1.99												2.0	(II)
<i>Microdictyon marinum</i> (Bory) P. C. Silva				1.55			3.26						10.8	(s, II)
<i>Neomeris annulata</i> Dickie*				0.02									0.8	(II)
<i>Penicillus capitatus</i> Lamarck**	8.11		1.30	1.15			0.61			0.01			12.8	(s, II)
<i>Penicillus lamourouxii</i> Decaisne*				0.01									0.4	(s)
<i>Penicillus pyriformis</i> A. Gepp et E. Gepp		1.11		0.09			0.02						2.0	(s)
<i>Rhipocephalus phoenix</i> (J. Ellis et Solander) Kützing**	0.16			0.06			0.63			0.30	0.33	0.17	10.0	(s, II)
<i>Udotea cyathiformis</i> Decaisne*											0.23		1.2	(s, II)
<i>Udotea flabellum</i> (J. Ellis et Solander) M. Howe	1.73			0.17			0.74						6.0	(s, II)
<i>Udotea spinulosa</i> M. Howe	0.24			1.86	0.26								3.6	(s, II)
<i>Valonia macrophysa</i> Kützing**	0.21	0.20		1.44	0.01	<0.01	0.58	<0.01	0.03	0.03	0.01	0.07	29.6	(s, II)
<i>Valonia utricularis</i> (Roth) C. Agardh				4.09	<0.01	0.13	0.68	0.01	0.01		<0.01	0.01	20.0	(s, II)
<i>Valonia ventricosa</i> J. Agardh*	<0,01												0.4	(s)
<b>División MAGNOLIOPHYTA</b>														
<i>Halodule wrightii</i> Ascherson*		0.69											6.8	(II)
<i>Syringodium filiforme</i> Kützing*	2.22	0.30	0.268										45.8	(s, II)
<i>Thalassia testudinum</i> Banks ex König*	95.88	55.64	45.70										100.0	(s, II)

\*Taxones que no se incluyeron en los análisis multivariados. \*\* Taxones que aparecieron en las cuatro zonas de los arrecifes estudiados: Lagunas, arrecife frontal a 5 m (5), 10 m (10) y 15 m de profundidad (15). Sitios: Juan García (JG), Cantiles (Can) y Diego Pérez (DP). Épocas climáticas: secas (s) y lluvias (II).



Figuras 2a-d. Riqueza de especies (S) acumulada de macroalgas en las cuatro zonas de los tres arrecifes coralinos de la plataforma SO de Cuba estudiados. Sitios de estudio. a: Lagunas arrecifales; b: Arrecifes frontales a 5 m de profundidad; c: Arrecifes frontales a 10 m de profundidad; d: Arrecifes frontales a 15 m de profundidad. Las barras denotan la desviación estándar con 100 permutaciones. Sitios: Juan García (JG), Cantiles (Can), Diego Pérez (DP).

Según la profundidad máxima a la que se encontraron las especies del macrofitobentos, 11 macroalgas y las tres angiospermas estuvieron solo en las lagunas hasta 2.5-3.5 m. En las zonas frontales, ocho especies aparecieron sólo hasta en 5 m, 29 llegaron hasta 10 m y 19 llegaron hasta 15 m de profundidad (Tablas 1 y 2).

**Riqueza de especies.** El número acumulado de especies de macroalgas por muestra estuvo entre 3 y 38, con los mayores valores en JG5 y JG10, tanto en secas como en lluvias, y los menores en DPLs, DPLII y CanLII (Tabla 3). La riqueza de especies por el estimador Bootstrap fue superior en Juan García (JG) y menor en Diego Pérez (DP) en todas las zonas, salvo a 15 m de profundidad, donde fue a la inversa (Fig. 2). De modo general, el número de especies mostró una tendencia a ser superior en el arrecife frontal entre los 5 y 10 m de profundidad y menor en la laguna y a 15 m de profundidad (Fig. 2).

**Patrones en la distribución y biomasa de las especies.** El análisis de similitudes *a priori* ANOSIM no mostró diferencias en la composición-específica de macroalgas y sus biomásas entre las épocas (R Global = -0.473,  $p = 1.0$ ) y entre los sitios (R Global = 0.057,  $p = 0.135$ ). Si hubo diferencias entre las cuatro zonas del arrecife (R Global = 0.435,  $p = 0.01$ ), con un resultado diferente en las lagunas de las tres zonas

del arrecife frontal ( $R \geq 0.874$ ,  $p = 0.002$ ), así como el arrecife frontal a 5 m de los 15 m de profundidad ( $R = 0.337$ ,  $p = 0.002$ ).

El análisis de agrupamiento (CLUSTER) mostró diferencias en la composición por especies y sus biomásas secas (BS) en las 24 muestras recolectadas, de modo que se ordenaron en tres grupos (prueba *a posteriori* SIMPROF). Los muestreos del arrecife frontal formaron dos grupos (a y b) (Fig. 3), donde la mayoría de las muestras quedaron en el grupo b, mientras que a incluyó sólo a JG5s, JG10s y JG10II. Las lagunas integraron el tercer grupo (c) (Fig. 3). El escalamiento multidimensional no métrico (MDS) corroboró la estructura que planteó el análisis de agrupamiento (CLUSTER) con tres grupos bien definidos (Fig. 4).

El análisis de similitudes (SIMPER) entre los tres grupos formados por el análisis de agrupamiento (CLUSTER) brinda la información de las especies que más aportan a la similitud entre las muestras que los integran (Tabla 4), así como las que contribuyen a la disimilitud entre éstos (Tabla 5). El grupo a presentó una mayor cantidad de especies que contribuyen a la similitud de las muestras y una mayor similitud promedio que los otros dos (Tabla 4). En el grupo b, donde quedaron la mayor parte de los muestreos realizados en la zona frontal del arrecife, se distingue a *H. scabra* y *D. ciliolata* como las especies que caracteri-

zan a todas estas muestras (Tabla 4). Las lagunas arrecifales, que integraron el grupo **c**, estuvieron caracterizadas por *Halimeda incrassata*, *H. monile* y *H. simulans*, aunque en la similitud promedio de entre todas las muestras fue la menor de todas (Tabla 4). La disimilitud por pares de grupos fue menor entre **a** y **b** que entre **a** y **c** y entre **b** y **c** (Tabla 5). Se aprecia que aunque hay especies compartidas entre los grupos, hay diferencias en sus biomazas. Otras especies aparecieron en un grupo pero en los otros no. Por ejemplo, *Sargassum filipendula* aparece en el grupo **a**, pero no en **b** (Tabla 5).

**Variabilidad de la biomasa total de macroalgas.** La biomasa total de macroalgas por muestra (BT) mostró diferencias significativas entre los sitios, mas no entre las épocas climáticas ni en las interacciones entre ambos factores: sitio y época (Tabla 6). La biomasa total de macroalgas fue menor en Cantiles, al compararla con la de los otros dos arrecifes (Fig. 5). Además, la biomasa seca total fue similar entre las zonas y entre las épocas y no hubo interacción entre ambos factores (Tabla 7).

**Relaciones con las variables abióticas.** Al relacionar la composición específica y la biomasa de las especies de macroalgas con el tipo de sustrato, la profundidad, la complejidad del relieve, el ITH y la época en que se realizaron los muestreos (rutina BEST), se obtuvo que el tipo de sustrato es la variable que más incide en la composición específica de macroalgas (Rho=0.838, nivel de significación=0.01). Si se incluyen varios de estos factores en el análisis, el tipo de sustrato más la complejidad del relieve es la combinación que mejor explica dicha composición, pero la correlación no fue mayor que la anterior (Rho=0.739, nivel de significación=0.01). El mismo análisis realizado sólo para las lagunas, incluyen-

do la biomasa de angiospermas marinas como variable independiente, no dio una correlación significativa (nivel de significación=0.62).

Se encontraron correlaciones positivas, de acuerdo con la prueba de Spearman, entre la biomasa total de macroalgas con el relieve (Rs=0.4499, p=0.027) y con la biomasa total de angiospermas marinas en las lagunas (Rs=0.828, p=0.041). No se encontró correlación entre la biomasa total con el tipo de sustrato, ni con la profundidad y ni con el ITH (p>0.05).

### DISCUSIÓN

La estimación de la riqueza a nivel de especie por el método no paramétrico Bootstrap, mediante la acumulación de muestras escogidas de modo aleatorio con reemplazo, se aproximó rápidamente a la asintota. Por ello, se pudo estimar la desviación estándar para realizar comparaciones de la riqueza de especies entre los sitios. Estas comparaciones parecen válidas con el tamaño de muestra alcanzado, incluso para la estación JG15, con menos unidades de muestreo, aunque esto puede haber incidido en los resultados.

La biomasa seca de las especies de macroalgas y en su conjunto fue una variable útil para diferenciar su abundancia y la variabilidad de la composición específica de estas comunidades en los tres arrecifes coralinos, a través de análisis multivariados y univariados. Las diferencias en la estructura específica (composición y biomasa) de las macroalgas en los tres arrecifes estuvieron relacionadas fundamentalmente con el tipo de sustrato, lo que se comprobó con los análisis multivariados. En este

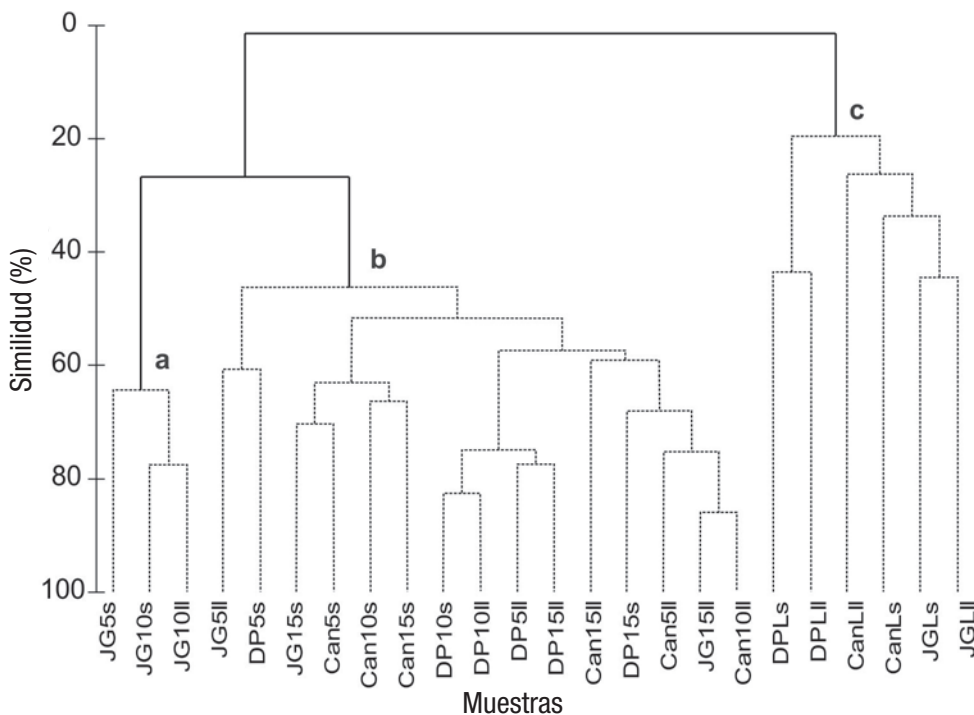


Figura 3. Grupos formados a partir del análisis de agrupamiento (CLUSTER) con la biomasa seca de las especies de macroalgas en todos los muestreos de los tres arrecifes coralinos de la plataforma SO de Cuba estudiados. Las líneas continuas separan los grupos (a, b, c) que son significativamente diferentes, según la prueba *a posteriori* SIMPROF. Sitios: Juan García (JG), Cantiles (Can) y Diego Pérez (DP). Zonas: lagunas arrecifales (L), arrecifes frontales a 5 m de profundidad (5), arrecifes frontales a 10 m de profundidad (10) y arrecifes frontales a 15 m de profundidad (15). Épocas: seca (s) y lluvia (ll).

caso se pueden inferir no solo las diferencias del efecto del fondo rocoso como favorecedor de la implantación de macroalgas, puesto que muchas de estas especies necesitan un sustrato duro para su fijación mediante un disco basal (Graham & Wilcox, 2000), sino también del biotopo de pastos marinos en la laguna del arrecife, donde predominan las angiospermas marinas. En los fondos blandos con pastos marinos suelen predominar algas verdes con rizoides de los géneros *Penicillum*, *Avrainvillea*, *Udotea* y *Halimeda* (van Tussenbroek *et al.*, 2006; Martínez-Daranas *et al.*, 2008), tal como resultó en este estudio. Por ello, aunque se compartieron especies entre las cuatro zonas del arrecife, se evidenciaron diferencias marcadas en la estructura (composición + biomasa) entre la laguna y el arrecife frontal en las tres profundidades. La composición por especies y su abundancia no presentó diferencias para estas tres zonas, de acuerdo con los análisis CLUSTER. No obstante, el análisis de similitudes *a priori* ANOSIM dio como resultado diferencias entre los 5 y los 15 m de profundidad. Esta aparente contradicción se debe a que para el primer análisis se eliminaron las especies raras, según el criterio de Clarke y Warwick (2001); sin embargo, el segundo análisis incluyó a todas las especies. El número de especies disminuyó con la profundidad en este intervalo, lo cual pudiera estar relacionado con los cambios en la cantidad de luz y sus longitudes de onda a medida (Graham & Wilcox, 2000). Esto explica las diferencias entre los resultados de ambas pruebas.

Muchas algas producen metabolitos secundarios y/o defensas estructurales (Graham & Wilcox, 2000), aspecto que no fue analizado en el presente trabajo. Una herbivoría selectiva sobre otras especies explicaría el predominio en biomasa del género *Halimeda* sp., que posee un alto contenido de carbonato de calcio y metabolitos secundarios (Hay *et al.*, 1994), y del género *Dictyota*, que produce metabolitos secundarios (Paul & Hay, 1986). El predominio de ambos géneros y de otras especies del orden Dictyotales coincide con lo encontrado por varios autores más recientemente en arrecifes de la zona suroccidental de Cuba (de la Guardia *et al.*, 2004a, b; Alcolado *et al.*, 2013), en otras zonas de Cuba (González-Díaz *et al.*, 2003; Valdivia & de la Guardia, 2004; Caballero *et al.*, 2009; Zúñiga-Ríos *et al.*, 2012), así como en el mar Caribe o en los cayos de la Florida (Lirman & Biber, 2000; Márquez & Díaz, 2005; Burkepile *et al.*, 2013). No obstante, en arrecifes con un cierto grado de deterioro, otras especies, por ejemplo *Microdyction marinum*, *C. fuliginosa* y *Codium isthmocladum* Vickers, pueden tener altos valores de abundancia (Alcolado *et al.*, 2001; Lapointe *et al.*, 2005; Zúñiga-Ríos *et al.*, 2012).

Tabla 3. Riqueza de especies (S) por muestra colectada en tres arrecifes coralinos de la plataforma sudoccidental de Cuba.

Muestra	S
JGLs	14
JGLII	16
JG5s	35
JG5II	25
JG10s	38
JG10II	33
JG15s	10
JG15II	9
CanLs	8
CanLII	4
Can5s	14
Can5II	14
Can10s	12
Can10II	20
Can15s	10
Can15II	12
DPLs	3
DPLII	4
DP5s	14
DP5II	14
DP10s	9
DP10II	13
DP15s	15
DP15II	15

Sitios: Juan García (JG), Cantiles (Can) y Diego Pérez (DP). Zonas: Lagunas, arrecife frontal a 5 m de profundidad=5, 10 m de profundidad=10 y 15 m de profundidad=15. Épocas: secas (s) y lluvias (II).

Tabla 4. Contribución de las especies de macroalgas en tres arrecifes coralinos de la plataforma sudoccidental de Cuba, en orden decreciente hasta el 50% de similitud acumulada (a partir de la rutina SIMPER) en los tres grupos derivados del análisis de agrupamiento (CLUSTER), muestras que los integran y similitud promedio de cada uno.

Grupo	Especies	Muestras	Similitud promedio (%)
<b>a</b>	<i>H. scabra</i> , <i>S. filipendula</i> , <i>A. fragilissima</i> , <i>C. fuliginosa</i> , <i>J. cubensis</i> , <i>D. ciliolata</i>	JG5s, JG10s, JG10II	68,74
<b>b</b>	<i>H. scabra</i> , <i>D. ciliolata</i>	JG5II, JG15s, JG15II, Can5s, Can5II, Can10s, Can10II, Can15s, Can15II, DP5s, DP5II, DP10s, DP10II, DP15s, DP15II,	55,34
<b>c</b>	<i>H. incrassata</i> , <i>H. monile</i> , <i>H. simulans</i>	JGLs, JGLII, CanLs, CanLII, DPLs, DPLII	26,12



Tabla 5. Descomposición de la disimilitud promedio y la contribución de cada especie de macroalgas en orden descendente (%), obtenidas a partir de la rutina SIMPER, en las comparaciones entre pares de grupos formados del análisis de agrupamiento (CLUSTER) con los datos de biomasa seca (BS) transformados. Se presentan solamente las especies que contribuyeron al menos al 50% de la disimilitud promedio (DM) acumulada.

Especies	BS promedio	BS promedio	Contribución a la disimilitud media (%)	Disimilitud promedio (DM) (%)
	<b>Grupo a</b>	<b>Grupo b</b>	<b>Grupos a y b</b>	73.20
<i>C. fuliginosa</i>	2.81	0.12	10.49	10.49
<i>S. filipendula</i>	2.60	0.00	10.01	20.50
<i>S. hystrix</i>	2.54	0.18	9.42	29.92
<i>A. fragilissima</i>	2.31	0.04	8.70	38.62
<i>J. cubensis</i>	2.21	0.09	8.07	46.70
<i>J. adhaerens</i>	1.85	0.31	5.91	52.61
<i>G. rugosa</i>	1.50	0.02	5.76	58.36
<i>D. simplex</i>	1.41	0.26	4.71	63.07
<i>D. ciliolata</i>	1.22	1.63	4.34	67.41
<i>M. marinum</i>	1.00	0.08	3.82	71.23
	<b>Grupo a</b>	<b>Grupo c</b>	<b>Grupos a y c</b>	95.86
<i>H. scabra</i>	0.00	2.97	8.60	8.60
<i>C. fuliginosa</i>	0.11	2.81	8.03	1.63
<i>S. filipendula</i>	0.00	2.60	7.60	24.23
<i>S. hystrix</i>	0.00	2.60	7.46	31.69
<i>A. fragilissima</i>	0.00	2.31	6.71	38.40
<i>J. cubensis</i>	0.00	2.21	6.35	44.75
<i>J. adhaerens</i>	0.00	1.85	5.34	50.09
<i>G. rugosa</i>	0.00	1.50	4.44	54.53
<i>D. simplex</i>	0.00	1.41	4.09	58.61
<i>H. incrassata</i>	1.27	0.00	3.74	62.35
<i>H. monile</i>	1.21	0.00	3.43	65.78
<i>D. ciliolata</i>	0.00	1.22	3.42	69.20
<i>H. simulans</i>	1.22	0.00	3.31	72.51
	<b>Grupo b</b>	<b>Grupo c</b>	<b>Grupos b y c</b>	99.08
<i>H. scabra</i>	3.14	0.00	23.35	23.35
<i>D. ciliolata</i>	1.63	0.00	11.95	35.30
<i>H. incrassata</i>	0.00	1.27	10.12	45.42
<i>H. monile</i>	0.00	1.21	8.3	54.25
<i>H. simulans</i>	0.00	1.22	7.1	61.96
<i>P. capitatus</i>	0.00	0.86	5.7	67.04
<i>A. nigricans</i>	0.00	0.57	3,0	70.83

Al analizar las diferencias entre los sitios se destacó el arrecife de Juan García, con valores más altos de biomasa total y riqueza de especies de macroalgas. También se observaron diferencias en la composición estructural (especies y su abundancia), donde JG5s, JG10II y JG10s se diferenciaron de los otros muestreos de los arrecifes frontales. En la zona frontal del arrecife de Cantiles se hallaron valores comparativamente más bajos de la biomasa total en la época de secas, principalmente a 5 y 10 m de profundidad. El arrecife frontal de Diego Pérez exhibió una menor riqueza de especies de macroalgas en casi todos los muestreos. Estas diferencias son el resultado de la interacción de factores que actúan en forma combinada (en ocasiones sinérgicamente), sobre los organismos vivos. Uno de los factores que influyen sobre el desarrollo de las macroalgas es la concentra-

ción de nutrientes (Graham & Wilcox, 2000). No existen registros de la concentración de nutrientes de los sitios estudiados en la fecha de recolecta (década de los 80). Sin embargo, Lluís-Riera (1972) reportó concentraciones de nitratos (0.20-1.29  $\mu\text{M}$ ) y de fosfatos (0.10-0.31  $\mu\text{M}$ ) en aguas cercanas a estos tres arrecifes entre 1967 y 1970. Estos niveles de fosfatos fueron más altos, en la mayoría de los casos, al valor encontrado por otros autores ( $\sim 0.10 \mu\text{M}$  de fósforo reactivo soluble; Lapointe, 1999; Littler *et al.*, 2009) como valor límite, a partir del cual los corales comienzan a ser desplazados por las macroalgas en los arrecifes. Lluís-Riera (1972) también encontró mayores concentraciones de nutrientes en el periodo lluvioso que en secas, pero en los años en que se realizó este estudio, las precipitaciones fueron pobres en la zona (López Deulofeu *et al.*, 2005). Es probable que esta sea la

causa de que no se observaran diferencias en la biomasa total ni en la composición específica de macroalgas entre las épocas del año en que se realizaron los muestreos. La lluvia provoca variaciones de salinidad, pero además arrastra nutrientes por escorrentía desde tierra. Algunos géneros de macroalgas encontrados en este trabajo, como *Halimeda* y *Dictyota*, han sido hallados en diferentes épocas climáticas en arrecifes de coral del área geográfica (Lirman & Biber, 2000).

Otro aspecto que puede estar influyendo en estas diferencias entre los sitios es la circulación de las aguas, lo cual puede propiciar diferencias en la composición de especies de macroalgas a pesar de estar alejados de acciones antrópicas importantes. La circulación general de las aguas del golfo de Batabanó tiene una resultante general de Este a Oeste (Arriaza *et al.*, 2008) lo que ocasiona una asimetría en la distribución de la materia orgánica en el golfo de Batabanó, con una mayor concentración en su zona suroccidental, por donde se hunden las masas de aguas hasta el fondo (Plante *et al.*, 1989; Fernández de la Llera *et al.*, 1990), hasta la zona donde se encuentra el arrecife de Juan García. Este arrecife también puede recibir la influencia de aguas con cierta carga terrígena proveniente de la costa más próxima al sur de la provincia de Pinar del Río (alrededor de 19 km), relativamente ricas en plancton (Plante, *et al.*, 1989; Alcolado, 1990a). Este mismo patrón de circulación puede contribuir con propágulos de algas procedentes de otras zonas del golfo de Batabanó hasta Juan García. Por otra parte, en la laguna arrecifal de este arrecife quedan zonas rocosas expuestas, lo que resulta en una combinación de sustratos rocoso, cabezos coralinos y zonas arenosas con pastos marinos (pradera de *T. testudinum*). De esta forma, en esta laguna arrecifal se encontraron especies con rizoides del orden Bryopsidales y otras con disco basal que se encontraron también en la zona frontal, como *Amphiroa fragilissima*, *D. simplex*, *D. ciliolata*, *C. fuliginosa* y *Halimeda opuntia*. Todos estos factores combinados aparentemente favorecen el desarrollo de las macroalgas, dando lugar a una mayor cantidad de especies y mayor biomasa total de macroalgas en Juan García.

Los arrecifes de Juan García y Cantiles reciben fuerte incidencia de los vientos del Sur durante los meses finales de la etapa seca (marzo - abril) y del Este, durante el resto del año (Alcolado, 1990a), lo que se refleja en los mayores valores del ITH a 5 y 10 m de profundidad. Este nivel de hidrodinamismo, dentro de ciertos límites, puede favorecer la distribución y el desarrollo de las macroalgas (por mayor oxigenación, reducción del sombreado de las frondas de las plantas, reabasteci-

Tabla 6. Prueba de significación del análisis de varianza bifactorial para la biomasa total de macroalgas (BT) entre los sitios y las épocas en que se realizaron los muestreos en tres arrecifes coralinos de la plataforma sudoccidental de Cuba. Se presenta la suma de cuadrados (SC), los grados de libertad (gl), cuadrado medio (CM), el valor crítico de la distribución F y la probabilidad (p).

	SC	gl	CM	F	p
Intercepto	309.018	1	309.018	428.064	0.000000
Sitio	8.5367	2	4.2683	5.9127	0.010622
Época	1.1231	1	1.1231	1.5558	0.228270
Sitio*Época	0.6073	2	0.3036	0.4206	0.662946
Error	12.9941	18	0.7219		

Sitio\*Época = a la interacción entre sitios y épocas

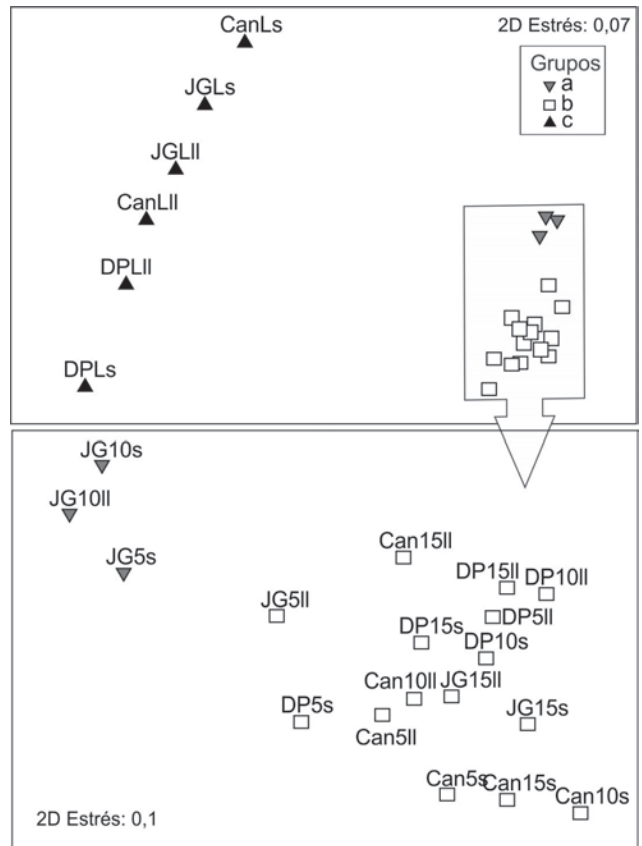


Figura 4. Escalamiento multidimensional no métrico (MDS) de los muestreos de macroalgas realizados en tres arrecifes coralinos de Cuba con la biomasa por especie. Los tres grupos fueron definidos en base al análisis CLUSTER (ver Fig. 4 y texto para más detalles). Sitios: Juan García (JG), Cantiles (Can) y Diego Pérez (DP). Zonas: lagunas arrecifales (L), arrecifes frontales a 5 m de profundidad (5), arrecifes frontales a 10 m de profundidad (10) y arrecifes frontales a 15 m de profundidad (15). Épocas: seca (s) y lluvia (ll). El recuadro inferiores un MDS realizado con los grupos a y b.

Tabla 7. Prueba de significación del análisis de varianza bifactorial para la biomasa total de macroalgas (BT) entre las zonas y las épocas en que se realizaron los muestreos en tres arrecifes coralinos de la plataforma sudoccidental de Cuba. Se presenta la suma de cuadrados (SC), los grados de libertad (gl), cuadrado medio (CM), el valor crítico de la distribución F y la probabilidad (p).

	SC	gl	CM	F	p
Intercepto	309.018	1	309.018	305.321	0.000000
Zona	4.2974	3	1.4325	1.4153	0.274910
Época	1.1231	1	1.1231	1.1097	0.307802
Zona*Época	1.6469	3	0.5490	0.5424	0.660180
Error	16.1937	16	1.0121		

Zona\*Época = a la interacción entre zonas y épocas

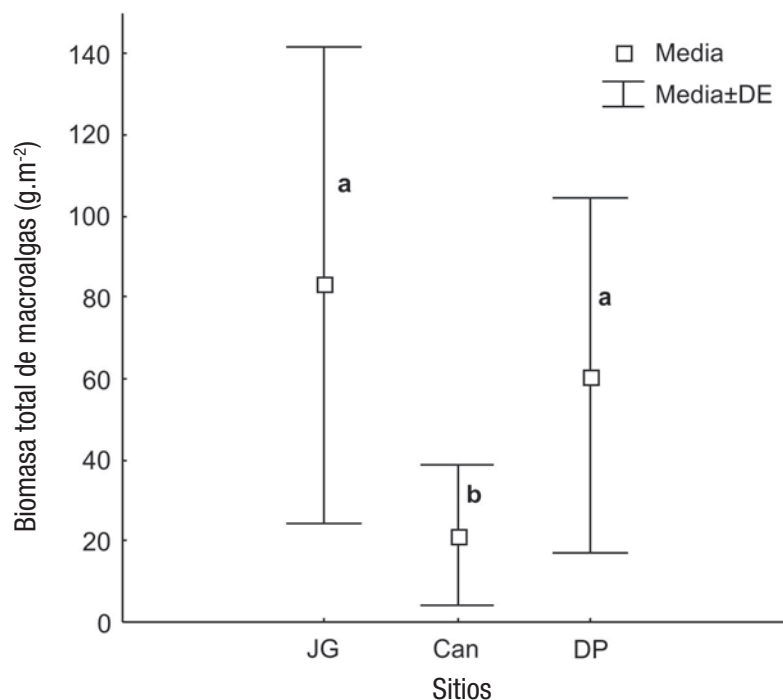


Figura 5. Promedio y desviación estándar (DE) de la biomasa total de macroalgas en los sitios de estudio de tres arrecifes de Cuba. Juan García (JG), Cantiles (Can) y Diego Pérez (DP). Letras diferentes señalan las diferencias significativas.

miento y difusión de los nutrientes; Graham & Wilcox, 2000). La combinación de este factor con una adecuada disponibilidad de nutrientes en Juan García puede constituir un estímulo para el desarrollo de las algas y parecen determinar una mayor biomasa de macroalgas. A diferencia de Juan García y Cantiles, el arrecife de Diego Pérez se encuentra más protegido de los vientos por su ubicación geográfica, lo que se comprueba por los valores menores de ITH. Esto podría implicar un menor arribo de propágulos de especies de macroalgas. Este arrecife recibe cierta influencia terrígena de la península de Zapata (cuyo punto más próximo se encuentra a más o menos 13 km), en la cual existen extensas áreas de ciénagas y manglares bien conservados que pertenecen al Parque Nacional Ciénaga de Zapata (Alcolado, 1990a), lo que pudiera ser la causa de valores de biomasa algal en el mismo orden que en Juan García. Por otra parte, aunque en Cantiles hay altos valores de hidrodinamismo, sus aguas son relativamente más pobres en nutrientes por estar más expuestas a la influencia de las aguas oceánicas y menos a la terrígena (Plante *et al.*, 1989). Esto explicaría que la biomasa algal sea la más pobre.

Pocas investigaciones han empleado la biomasa seca de macroalgas como indicador de abundancia. Lirman y Biber (2000) hallaron valores de biomasa seca de *Dictyota* spp., *Halimeda* spp. en el mismo orden que los del presente trabajo e incluso, algunos superiores, en el Parque Nacional Biscayne, Florida.

La biomasa húmeda total de macroalgas (antes de ser secadas) por muestra del presente estudio (que varió entre 2.3 y 1527 gPH.m<sup>-2</sup>) fue mucho menor que la registrada en los arrecifes del archipiélago Sabana-Camagüey entre 5 y 20 m de profundidad, en 1994 (entre 267 y 3110 gPH.m<sup>-2</sup>; Zúñiga-Ríos *et al.*, 2012). Este resultado coincidió con una concentración promedio de nitrógeno inorgánico de 3.68  $\mu$ M (Penié

& García, 1998; Montalvo *et al.*, 2007), casi tres veces superior al máximo encontrado en el sur del golfo de Batabanó por Lluís-Riera (1972). El promedio para los fosfatos en Sabana-Camagüey fue de 0.28  $\mu$ M, con algunos valores puntuales superiores a 0.6  $\mu$ M (Penié & García, 1998; Montalvo-Estévez *et al.*, 2007), casi el doble de los registrados en el sur del golfo de Batabanó por Lluís-Riera (1972). Como diferencia fundamental entre ambas zonas, se subraya que, a diferencia de los sitios del presente estudio, los arrecifes de Sabana-Camagüey se encuentran cerca de varias bahías con poca circulación donde se acumulan contaminantes, materia orgánica y nutrientes, provenientes de tierra firme (Montalvo-Estévez *et al.*, 2007). Por esta razón, estos resultados apuntan a que los nutrientes juegan un papel primordial en el desarrollo de las macroalgas en estos arrecifes coralinos, independientemente de la herbivoría, que no fue evaluada en ninguno de los dos casos.

Los resultados del presente trabajo sirven como línea base para evaluar los posibles cambios que se hayan producido en las comunidades del macrofitobentos en estos arrecifes de coral, los cuales integran tres áreas marinas protegidas cubanas en la actualidad (SNAP, 2013). Resultaría interesante, repetir la evaluación en estas comunidades del macrofitobentos y su abundancia en estos arrecifes.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la tripulación del barco *Caribe* por su colaboración para la realización de este trabajo; también a R.K. Colwell por su programa EstimateS de acceso libre en internet y por sus instrucciones al respecto. Finalmente, un agradecimiento a los tres revisores anónimos que contribuyeron a mejorar sustancialmente el manuscrito.

## REFERENCIAS

- ALCOLADO, P. M. 1984. Utilidad de algunos índices ecológicos estructurales en el estudio de comunidades marinas de Cuba. *Ciencias Biológicas* 11: 61-77.
- ALCOLADO, P. M. (Ed.). 1990a. *El bentos de la macrolaguna del Golfo de Batabanó*. Editorial Academia, La Habana, 161 p.
- ALCOLADO, P. M. 1990b. General features of Cuban sponge communities. In: Rützler, K. (Ed.). *New Perspective in Sponge Biology*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C., pp. 351-357.
- ALCOLADO, P. M. 1999. Comunidades de esponjas de los arrecifes del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 28: 95-124.
- ALCOLADO, P. M. 2007. Reading the code of coral reef sponge community composition and structure for environmental biomonitoring: some experiences from Cuba. In: Custódio, M.R., G. Lobo-Hajdu, E. Hajdu & G. Muricy (Eds.). *Porifera Research: Biodiversity, Innovation and Sustainability*. Museu Nacional, Série Livros 28, Rio de Janeiro, pp. 3-10.
- ALCOLADO, P. M. & A. HERRERA-MORENO. 1987. Efectos de la contaminación sobre las comunidades de esponjas en el Litoral de La Habana, Cuba. *Reporte de Investigación, Instituto de Oceanología* 68: 1-17.
- ALCOLADO P. M., R. CLARO-MADRUGA, B. MARTÍNEZ-DARANAS, G. MENÉNDEZ-MACÍA, P. GARCÍA-PARRADO, K. CANTELAR, M. HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ & R. DEL VALLE. 2001. Evaluación ecológica de los arrecifes coralinos del oeste de Cayo Largo del Sur, Cuba: 1998-1999. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 30:109-132.
- ALCOLADO, P. M., I. E. MORGAN, P. A. KRAMER, R. N. GINSBURG, P. BLANCHON, E. DE LA GUARDIA, V. KOSMININ, S. GONZÁLEZ-FERRER & M. HERNÁNDEZ. 2010. Condition of remote reefs off southwest Cuba. *Ciencias Marinas* 36 (2): 179 -197. DOI: 10.7773/cm.v36i2.1670.
- ALCOLADO, P. M., H. CABALLERO, A. LARA, N. REY-VILLIERS, L. ARRIAZA, G.M. LUGIOYO, P. ALCOLADO-PRieto, S. CASTELLANOS, S. PERERA & A. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2013. Resiliencia en crestas de arrecifes coralinos del este del golfo de Batabanó, Cuba, y factores determinantes probables. *Serie Oceanológica* 13: 49-75.
- ARRIAZA, L., L. RODAS, J. SIMANCA, S. LORENZO, D.E. MILIAN & P. ROMERO. 2008. Contribución a la gestión ambiental del golfo de Batabanó, Cuba: Modelación numérica de corrientes marinas. *Revista de Investigaciones Marinas* 29 (2): 89-99.
- BELLWOOD, D. R., T. P. HUGHES & A. S. HOEY. 2006. Sleeping functional group drives coral-reef recovery. *Current Biology* 16: 2434-2439. DOI: 10.1016/j.cub.2006.10.030.
- BURKEPILE, D. E., J. E. ALLGEIER, A. A. SHANTZ, C. E. PRITCHARD, N. P. LEMOINE, L. H. BHATTI & C. A. LAYMAN. 2013. Nutrient supply from fishes facilitates macroalgae and suppresses corals in a Caribbean coral reef ecosystem. *Scientific Reports* 1493: 1-9. DOI: 10.1038/srep01493.
- CABALLERO, H. & P. M. ALCOLADO. 2011. Condición de arrecifes de coral sometidos a presiones naturales recientes: Bajos de Sancho Pardo, Cuba. *Revista Ciencias Marinas y Costeras* 3: 51-65.
- CABALLERO, H., P. M. ALCOLADO & A. SEMIDEY. 2009. Condición de los arrecifes de coral frente a costas con asentamientos humanos y aportes terrígenos: El caso del litoral habanero, Cuba. *Revista Ciencias Marinas y Costeras* 1: 49-72.
- CARDOSO, P. G., M. A. PARDAL, A. I. LILLEBØ, S. M. FERREIRA, D. RAFFAELLI & J. C. MARQUES. 2004. Dynamic changes in seagrass assemblages under eutrophication and implications for recovery. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 302: 233-248. DOI: 10.1016/j.jembe.2003.10.014.
- CHAPMAN, V. J. 1961. *The Marine Algae of Jamaica: Myxophyceae and Chlorophyceae*. Institute of Jamaica, Kingston, 159 p.
- CHAPMAN, V. J. 1963. The Marine Algae of Jamaica: Phaeophyceae & Rhodophyceae. *Bulletin of the Institute of Jamaica -Science series* 12: 1-472.
- CLARKE, K. R. & R. N. GORLEY. 2006. *PRIMER v. 6: User Manual/Tutorial*. Primer-E. Plymouth, 193 p.
- CLARKE, K. R. & R. M. WARWICK. 2001. *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation* (2nd ed.). Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 173 p.
- Collado-Vides, L., V. G. Caccia, J. N. Boyer & J. W. Fourqurean. 2007. Tropical seagrass-associated macroalgae distributions and trends relative to water quality. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 680-694. DOI: 10.1016/j.ecss.2007.03.009.
- COLWELL, R. K. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2. User's Guide and application. Available on line at: <http://purl.oclc.org/estimates> (downloaded May 22, 2012).
- CROWLEY, P. H. 1992. Resampling methods for computation-intensive data analysis in ecology and evolution. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 23: 405-447. DOI: 10.1146/annurev.es.23.110192.002201.
- DE LA GUARDIA, E., P. GONZÁLEZ-DÍAZ & S. CASTELLANOS. 2004a. Estructura de la comunidad de grupos bentónicos sésiles en la zona de buceo de Punta Francés, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 25 (2): 81-90.
- DE LA GUARDIA, E., A. VALDIVIA & P. GONZÁLEZ-DÍAZ. 2004b. Estructura de comunidades bentónicas en la zona de buceo de María la Gorda, Ensenada de Corrientes, sureste de la península de Guanahacabibes, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 25 (2): 103-111.
- DE LA GUARDIA, E., P. GONZÁLEZ-DÍAZ, A. VALDIVIA & O. GONZÁLEZ. 2006. Estructura y salud de la comunidad de corales en arrecifes de la zona de buceo de Cayo Levisa, Archipiélago de Los Colorados, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 27 (3): 197-208.



- EFRON, B. & R. TIBSHIRANI. 1986. Bootstrap methods on standard errors, confidence intervals, and other measures statistical accuracy. *Statistical Science* 1 (1): 54-77. Available online at: <http://www.jstor.org/stable/2245500>.
- FERNÁNDEZ DE LA LLERA, M. A., R. M. HIDALGO GONZÁLEZ, D. LÓPEZ GARCÍA, I. GARCÍA RAMIL & I. PENÍE RODRÍGUEZ. 1990. *Caracterización hidroquímica de la Fosa de Jagua y de la zona económica exclusiva al sur de Cuba. Informe Final*. Archivo Científico No. I-0744-1992, Instituto de Oceanología, La Habana Cuba, 95 p.
- GONZÁLEZ-DÍAZ, P., E. DE LA GUARDIA & G. GONZÁLEZ-SANSÓN. 2003. Efecto de efluentes terrestres sobre las comunidades bentónicas de arrecifes coralinos de Ciudad de la Habana, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 24 (3): 193-204.
- GONZÁLEZ-SANSÓN, G., C. AGUILAR, I. HERNÁNDEZ, Y. CABRERA, N. SUAREZ-MONTES, F. BRETOS & D. GUGGENHEIM. 2009. Natural and human-induced variability in the composition of fish assemblages in the Northwestern Cuban shelf. *Revista de Biología Tropical* 57 (3): 721-740. DOI: 10.15517/rbt.v57i3.5487.
- GRAHAM, L. E. & L. W. WILCOX. 2000. *Algae*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 640 p.
- GUIRY, M. D. & G. M. GUIRY. 2016. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Available online at <http://www.algaebase.org> (downloaded 05 Julio 2016).
- HAY, M. E., Q. E. KAPPEL, & W. FENICAL. 1994. Synergisms in plant defenses against herbivores: Interactions of chemistry, calcification and plant chemistry. *Ecology* 75: 1714-1726. DOI: 10.2307/1939631.
- HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, L., E. DE LA GUARDIA & A. K. BRADY. 2008. Comunidades de corales pétreos en la costa norte de Ciego de Ávila, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 29 (2): 125-130.
- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, D., P. M. ALCOLADO & M. HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ. 2008. Efectos de un emisario submarino de residuos urbanos sobre comunidades de octocorales (Octocorallia: Alcyonacea) en Cuba. *Revista de Biología Tropical* 56 (1): 65-75. DOI: 10.15517/rbt.v56i1.5509.
- HOEGH-GULDBERG, O., P. J. MUMBY, A. J. HOOTEN, R. S. STENECK, P. GREENFIELD, E. GOMEZ, C. D. HARVELL, P. F. SALE, A. J. EDWARDS, K. CALDEIRA, N. KNOWLTON, C. M. EAKIN, R. IGLESIAS-PRIETO, N. MUTHIGA, R. H. BRADBURY, A. DUBI & M. E. HATZIOLOS. 2008. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318: 1737-1742. DOI: 10.1126/science.1152509.
- HUGHES, T. P., D. C. REED & M.-J. BOYLE. 1987. Herbivory on coral reefs: community structure following mass mortalities of sea-urchins. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 113: 39-59. DOI: 10.1016/0022-0981(87)90081-5.
- HUGHES, T. P., A. M. SZMANT, R. STENECK, R. CARPENTER & S. MILLER. 1999. Algal blooms on coral reefs: What are the causes? *Limnology and Oceanography* 44 (6): 1583-1586. DOI: 10.4319/lo.1999.44.6.1583.
- IBARZÁBAL, D. R. 1987. Mejoras en el muestreo de macrobentos con el equipo de succión. *Reporte de Investigación del Instituto de Oceanología* 67: 1-4.
- KRAUFVELIN, P., A. LINDHOLM, M. F. PEDERSEN, L. A. KIRKERUD & E. BONSDORFF. 2010. Biomass, diversity and production of rocky shore macroalgae at two nutrient enrichment and wave action levels. *Marine Biology* 157: 29-47. DOI: 10.1007/s00227-009-1293-z.
- LAPOINTE, B. 1999. Simultaneous top-down and bottom-up forces control macroalgal blooms on coral reefs (Reply to the comment by Hughes et al.). *Limnology and Oceanography* 44 (6): 1586-1592. DOI: 10.4319/lo.1999.44.6.1586.
- LAPOINTE, B. E., P. J. BARILE, M. M. LITTLER, D. S. LITTLER, B. J. BEDFORD & C. GASQUE. 2005. Macroalgal blooms on southeast Florida coral reefs I. Nutrient stoichiometry of the invasive green alga *Codium isthmocladum* in the wider Caribbean indicates nutrient enrichment. *Harmful Algae* 4: 1092-1105. DOI: 10.1016/j.hal.2005.06.004.
- LARKUM, A. W. D., R. J. ORTH & C. M. DUARTE (Eds.). 2006. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 691 p.
- LIRMAN, D. & P. BIBER. 2000. Seasonal Dynamics of Macroalgal Communities of the Northern Florida Reef Tract. *Botanica Marina* 43: 305-314. DOI: 10.1515/BOT.2000.033.
- LITTLER, M. M. & D. S. LITTLER. 1985. Nondestructive sampling. In: Littler, M. M. & D. S. Littler (Eds.). *Handbook of Phycological Methods. Ecological Field Methods: Macroalgae*. Cambridge University Press, pp. 162-175.
- LITTLER, M. M. & D. S. LITTLER. 1988. 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.
- LITTLER, M. M. & D. S. LITTLER. 2005a. A proposed sustainable coral-reef management model. In: Krupnick G. A. & W. J. Kress (Eds.). *Plant conservation: a natural history approach*. Chicago Press, pp. 262-269.
- LITTLER, M. M. & D. S. LITTLER. 2005b. Application of a seagrass management model. In: Krupnick G. A. & W. J. Kress (Eds.), *Plant conservation: a natural history approach*. Chicago Press, pp. 270-285.
- LITTLER, M. M. & D. S. LITTLER. 2006. Assessment of coral reefs using herbivory/nutrient assays and indicator groups of benthic primary producers: a critical synthesis, proposed protocols, and critique of management strategies. *Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystems* 17 (2): 195-215. DOI: 10.1002/aqc.790.
- LITTLER, M. M., D. S. LITTLER, B. L. BROOKS & B. E. LAPOINTE. 2006. Nutrient manipulation methods for coral reef studies: A critical review experimental field data. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 336: 242-253. DOI: 10.1016/j.jembe.2006.05.014.
- LITTLER, M. M., D. S. LITTLER & B. L. BROOKS. 2009. Herbivory, nutrients, stochastic events, and relative dominances of benthic indicator groups on coral reefs: a review and recommendations. In: Lang, M. A., I. G. Macintyre & K. Rützler (Eds.). *The Smithsonian Marine Science Symposium, Washington, D.C. Smithsonian Contributions to the Marine Sciences* 38: 401-414. DOI: 10.5479/si.01960768.38.1.
- LLUIS-RIERA, M. 1972. Estudios hidrológicos del Golfo de Batabanó y de las aguas oceánicas adyacentes. *Serie Oceanológica* 14: 3-48.

- LÓPEZ DEULOFEU, T., J. E. GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ & G. CABANAS GÓMEZ. 2005. Cambios temporales de la lluvia en el occidente de la isla de Cuba. *Investigaciones Geográficas* 38: 143-162. DOI: 10.14198/INGEO2005.38.09.
- LÜNING, K. 1990. *Seaweeds: Their environment, biogeography and ecology*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 527 p.
- MÁRQUEZ, J. C. & J. M. DÍAZ. 2005. Interacciones entre corales y macroalgas: Dependencia de las especies involucradas. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 34: 227-242.
- MARTÍNEZ-DARANAS, B., C. JIMÉNEZ & P. M. ALCOLADO. 1996. Prospección del macrofitobentos de los fondos blandos del archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Avicennia* 4/5: 77-88.
- MARTÍNEZ-DARANAS, B., R. CABRERA, M. E. PERDOMO, M. ESQUIVEL, M. HERNÁNDEZ, L. CLERO, A. M. SUÁREZ, J. DÍAZ-LARREA, M. GUIMARAES, A. ARECES, D. M. PÉREZ, M. CANO-MALLO & L. CABREJAS. 2008. Inventario de la flora marina del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Botánica Complutensis* 32: 49-62. Disponible en línea en: <https://revistas.ucm.es/index.php/BOCM/article/view/BOCM0808110049A>.
- MONTALVO-ESTÉVEZ, J. F., E. PERIGÓ-ARNAUD & M. MARTÍNEZ-CANALS. 2007. La contaminación marina. In: Alcolado, P. M., E. E. García & M. Arellano-Acosta (Eds.). *Ecosistema Sabana-Camagüey: Estado actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad*. Editorial Academia, La Habana, pp. 79-83.
- PAUL, V. J. & M. E. HAY. 1986. Seaweed susceptibility to herbivory: Chemical morphological correlates. *Marine Ecology Progress Series* 33: 255-264.
- PENÍE, I. & I. GARCÍA. 1998. *Hidroquímica y calidad ambiental del Archipiélago Sabana-Camagüey*. In: Martínez, F., L. Sorinas, T. Torres, L.A. Lima & D. Sánchez (Eds.). Presentado en Contribución a la educación y la protección ambiental. IV Taller de la Cátedra de Medio Ambiente, La Habana, Cuba, 1: 155-159.
- PLANTE, R., P. M. ALCOLADO, J. C. MARTÍNEZ-IGLESIAS & D. IBARZÁBAL. 1989. Redox potential in water and sediments of the Gulf of Batabanó, Cuba. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 28 (2): 173-184. DOI: 10.1016/0272-7714(89)90064-4.
- SNAP. 2013. Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Disponible en línea en: <http://www.snap.cu/> (consultado en octubre 20, 2014).
- SUÁREZ, A. M. 1989. Ecología del macrofitobentos de la plataforma de Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 10 (3): 187-206.
- TAYLOR, W. R. 1957. *The Marine algae of Northeastern coast of North America*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 509 p.
- TAYLOR, W. R. 1960. *Marine Algae of the Eastern Tropical and Subtropical Coasts of Americas*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 870 p.
- VALDIVIA, A. & E. DE LA GUARDIA. 2004. Variación espacial y temporal de la comunidad de algas en el arrecife costero de Boca de Canasí, La Habana, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 25 (2): 123-131.
- VAN TUSSENBROEK, B. I., J. A. VONK, J. STAPEL, P. L. A. ERFTEMEIJER, J. J. MIDDELBURG & J. C. ZIEMAN. 2006. The biology of *Thalassia*: Paradigms and recent advances in research. In: Larkum, A. W. D., R. J. Orth & C. M. Duarte (Eds.). *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 409-439.
- WANDERS, J. B. W. 1976. The role of benthic marine algae in the shallow reef of Curaçao (Netherlands Antilles). I. Primary productivity in the coral reef. *Aquatic Botany* 2: 235-270. DOI: 10.1016/0304-3770(76)90023-1.
- WILKINSON, C. & D. SOUTER (Eds.). 2008. *Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005*. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, 152 p.
- ZÚNIGA RÍOS, D., B. MARTÍNEZ-DARANAS & P. M. ALCOLADO. 2012. Ficoflora de los arrecifes coralinos del archipiélago Sabana-Camagüey. *Serie Oceanológica* 11: 57-76.

**Recibido:** 19 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 27 de julio de 2016.

## 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 cedan 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 (aproximadamen-

te 29 dólares americanos) y \$1000 pesos por página a color (aproximadamente 57 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](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: 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. (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](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](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. 2<sup>nd</sup> 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](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca)

## Adición del DOI a las Referencias

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

Calor, A. 2009. Considerações Acerca da Filogenia de Trichoptera Kirby 1813: da Análise dos Dados para as Hipóteses ou dos Cenários para os Dados. *Entomobrasilis* 2 (1): 01-10. DOI: 10.12741/ebbrasilis.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 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 four-monthly peer-reviewed research journal belonging to the Departamento de Hidrobiología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAM-I), that publishes Original Papers relating to aquatic environments. Data previously published in works with ISSN or ISBN (proceedings, extensive abstracts, books, etc.) will not be accepted. Contributions could 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**. According to Editorial Board decision Special Issues could be published on specific topics or themes. Preliminary or not concluded works will not be accepted. Similarly, those works that are presented in serial parts or small contributions are not accepted.

This journal covers a wide profile on the following four general areas, in which a variety of associated editors participate:

- 1 Morphology, Systematic and Phylogenetic Area
- 2 Environmental Area
- 3 Aquatic Resources Management Area
- 4 Ecology Area

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

- 1) Originality and scientific bases
- 2) Advances in knowledge of the different areas of hydrobiology
- 3) Coherence, continuity and consistency 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 they could be changed appropriately.

Each manuscript received by the Editors will have an immediate received notification. Correspondence during editorial process will be directed with the first author unless other indication is given in the manuscript.

Once manuscripts have been reviewed and has been found to comply fully with the editorial instructions will be introduced in the Hidrobiológica Open Journal System to start its 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" (57 USD approximately).

## ORIGINAL PAPERS

There are several kinds of papers that 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

Support journal address: enlacerevistahidrobiologica@gmail.com

Editor in chief: mem@xanum.uam.mx

## AUTHOR GUIDELINES

Authors must adjust the structure of their work depending on the type of manuscript to be submitted.

Text files (manuscript, figure legends, tables) must be presented in Word format whereas figures (photographs, maps, compositions) in jpg or tiff format with good quality equal or higher than 300 dpi.

## SUBMISSION FORMAT FOR SCIENTIFIC PAPER

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

Text will have **3 cm each side margins**. Manuscripts **will not be justified** but left aligned with **no space between paragraphs**. The final version of accepted manuscripts must be accompanied by corresponding electronic updates.

## Title

This should be concise, no longer than 20 words, and explanatory of the nature of the paper. It must be written in English and Spanish in capital and small letters. A short title of up to six words should also be provided. This short title must be written in the same language of the rest of the manuscript. Both titles must be submitted in a separate sheet including 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 person designated as corresponding author.

To quote 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)

To 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 one paragraph abstract with a **minimum length of 250 to maximum 300 words**. It must be submitted in a separate sheet including an **English version (Abstract)**. **Background., Goals., Methods., Results., Conclusions.**

### Key words

Appropriate **key words** (4-5) should be provided in English and Spanish in alphabetic 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 **METHODS AND MATERIALS** used should be stated clearly in sufficient detail to permit the work to be repeated by others, if desired. **RESULTS** These should be presented concisely, with tables or illustrations for clarity. **DISCUSSION** This section should discuss the significance of the findings without repetition of the material in the Introduction and Results sections. This section must contain the conclusions of the work, **ACKNOWLEDGEMENTS** and **REFERENCES**, it is most important that references are checked carefully. Subheading should be avoided but if necessary, it must be in bold and continuously written within the paragraph.

**Pages should be numbered** consecutively with Arabic numerals. To make the review easier and the writing of comments by the reviewers it is recommended that all lines are numbered consecutively from the beginning to the end of the manuscript.

Decimal metric system should be used for symbols and units.

Latin names of **biological species should be written in italics**. At the first mention in the text, they 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 **&** symbol, whereas three or more authors should include *et al.* (Italics)

### New taxa

Description should follow the international code of nomenclature.

### References

Should be listed as follows:

- a) In alphabetical order of the first author.
- b) Citations of the same author by chronological order, then those published by two authors according to the same order (alphabetical according to the second author and chronological in case of coincidence).
- c) References in the text with **et al.**, should be chronologically ordered.

**Author's names should be written in capital and small letters**, not in capital letters exclusively. Initials of the first author will follow the last name. For the following authors, initials will be before the last name, in the case of two or more initials these should be separated by a dot, with additional separation. **Journal titles should not be abbreviated. Book and Journals 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 now:

### 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

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 l'nea: [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus\\_vannamei/en](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](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). disponible en l'nea en: <http://www.fao.org/docrep/007/y5600e/y5600e00.htm> (consultado el 19 febrero 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 follow: first with complete citation and then the website address, like 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](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca)

### Adding DOI to References

For books and periodical publications that have a DOI (Digital Object Identifier) cited in bibliographic references, place it at the end of the corresponding reference, as shown below:

Calor, A. 2009. Considerations About the Phylogeny of Trichoptera Kirby 1813: From the Analysis of the Data to the Hypotheses or the Scenarios for the Data. *Entomobrasilis* 2 (1): 01-10. DOI: 10.12741 / ebrasilis.v2i1.2

### 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 them to be comprehensible 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 original, in the case that some of them had been previously published, the author is responsible for obtaining the corresponding permission and indicate the reference and corresponding citation of where they are taken. If the figure is changed, indicate this with the legend "Figure modified of (...).

Besides the figures included in the word file, each one should be **sent as high resolution separate files**. Number illustrations with Arabic numerals consecutively, in order of appearance in the text. Legends should be written in capital and small letters. **Maximum size** of a figure or group of them will be **17 cm length and 13 cm width** with a minimum of 8X8 cm. Numbers and letters incorporated in the figure must be 10 points at maximum and 8 at 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 it to a minimum and with good contrast. 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 on separate files with good quality.

**The Journal will accept color figures and photographs only when its use is essential but there is a charge to authors to cover the additional production costs involved in 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 palabras claves in alphabetic order), **ACKNOWLEDGEMENTS AND REFERENCES**. same format as a scientific paper, except that **this should not have separate sections in the body of the note**. The minimum and maximum total manuscript length is 5-7 letter size, double spaced pages. It is recommended to include no more than one table or figure.

### SUBMISSION FORMAT FOR REVIEW PAPER

The same format of original manuscripts should be followed with at least **INTRODUCTION, DISCUSSION AND REFERENCES**, including those 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 the acceptance of all the author(s) in transferring copyright in the article to the editorial house of *Hidrobiológica Journal*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

### SUBMISSION FORMAT FOR TAXONOMIC MONOGRAPHS

This type of works can have the same format as that of a scientific paper, in the results section it should include the description of the species. The length of this type of paper can occupy up to 273 of a volume (60 double spaced Word pages).

### Copy rights

Final acceptance of a manuscript for publication implies **the cession of all rights to the editorial house 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 Associated Editor **within 72 hours of receipt**; failure to do this will result in publication without corrections.

### Postal address

Departamento de Hidrobiología, DCBS, Universidad Autónoma Metropolitana 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 26

Número 2

2016

<b>Chacana M. E., P. C. Silva, F. F. Pedroche and K. A. Miller</b> <i>Codium</i> (Chlorophyta) species presented in the Galápagos Islands	151-159
<b>Almanza Álvarez J. S., I. Israde Alcántara y V. Segura-García</b> Diatomeas perifíticas del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México	161-185
<b>Segura-García V., J. S. Almanza Álvarez y J. Ponce-Saavedra</b> Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México	187-202
<b>Fujii M. T., A. Senties, A. C. Jover, J. Díaz-Larrea and A. Areces</b> Morphological and molecular evidence for <i>Osmundea coelenterata</i> comb. nov. (Ceramiales, Rhodophyta) from the tropical Atlantic Ocean	203-211
<b>Quiñones-Peyro B. C., F. O. López-Fuerte, A. Mazariegos Villareal, E. Serviere-Zaragoza, M. Casas Valdez y R. Yabur Pacheco</b> Macroalgas marinas bentónicas de Isla Guadalupe, Baja California, México	213-223
<b>Lozano-Orozco J. G., A. Senties, F. F. Pedroche y J. Díaz-Larrea</b> <i>Dictyota chalcicueyecanensis</i> sp. nov. (Dictyotales, Phaeophyceae) en el Golfo de México: evidencias moleculares y morfológicas	225-231
<b>Bernardi J., E. R. T. P. de Vasconcelos, C. Lhullier, T. Gerber, P. Colepicolo Neto and F. M. Pellizzari</b> Preliminary data of antioxidant activity of green seaweeds (Ulvothyceae) from the Southwestern Atlantic and Antarctic Maritime islands	233-239
<b>Vouilloud A. A., Y. Plata-Díaz, E. Pedraza, A. Pimienta, S. Heguilor, A. Lamaro y S. E. Sala</b> Distribución de <i>Eunotia parasolii</i> (Bacillariophyceae) en ríos neotropicales (Colombia) y su implicancia en la taxonomía de la especie	241-250
<b>Rodríguez-Gómez C. F. y J. A. Aké-Castillo</b> Cálculo del contenido celular de carbono de cuatro taxones de diatomeas: biovolumen y espectrofotometría	251-257
<b>Vázquez-Machorro A., J. L. Godínez-Ortega, A. Granados-Barba y P. Ramírez-García</b> Estructura y composición de la macroflora dominante del pecio Ana Elena, Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México	259-267
<b>García Granados R. U., F. Alarcón Aguilar, M. Gallegos Martínez y G. De Lara-Isassi</b> Tratamiento subcrónico en ratones diabéticos con <i>Caulerpa sertularioides</i> (Chlorophyta) y <i>Spyridia filamentosa</i> (Rhodophyta)	269-276
<b>Mosquera-Murillo Z. and E. J. Peña-Salamanca</b> Effect of salinity on growth of the green alga <i>Caulerpa sertularioides</i> (Bryopsidales, Chlorophyta) under laboratory conditions	277-282
<b>Beraldi-Campesi H., C. Arenas-Abad, L. Auque-Sanz, M. Vázquez-Urbez and G. Pardo-Tirapu</b> Benthic diatoms on fluvial tufas of the Mesa River, Iberian Range, Spain	283-297
<b>Marín Salgado H. y E. J. Peña Salamanca</b> Macroalgas bénticas de la Bahía de Tumaco, Pacífico colombiano	299-309
<b>Hernández Melchor D. J., J. Carmona Jiménez, M. E. Hidalgo Lara, L. Dendooven, R. Marsch Moreno y R. O. Cañizares Villanueva</b> Identificación morfológica y filogenética de un consorcio microbiano fotosintético de posible interés biotecnológico	311-321
<b>Martínez-Daranas B., M. Esquivel, P. M. Alcolado y C. Jiménez</b> Composición específica y abundancia de macroalgas y angiospermas marinas en tres arrecifes coralinos de la plataforma Sudoccidental de Cuba (1987)	323-337
Instrucciones para autores	339-342
Instructions for authors	343-346