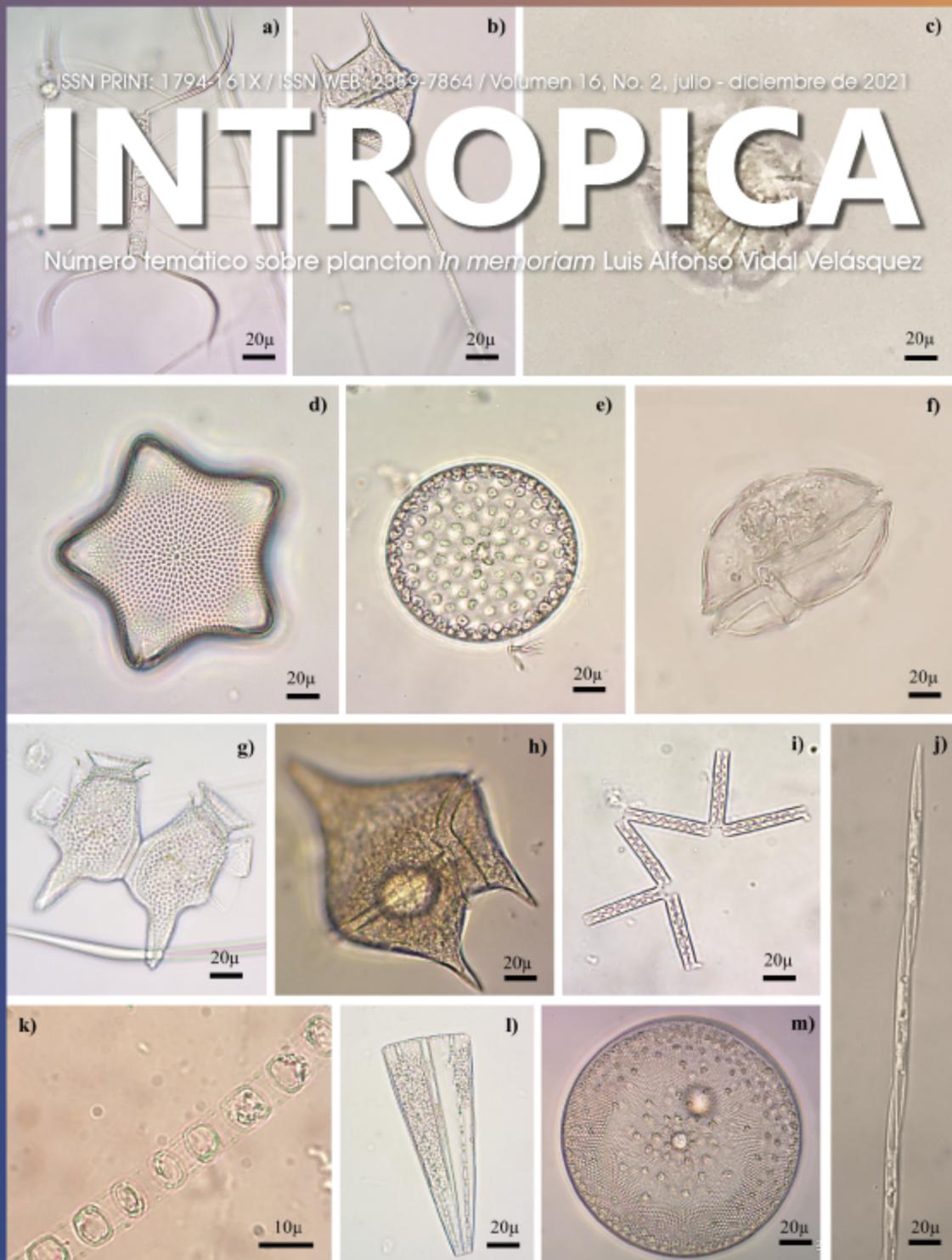


ISSN PRINT: 1794-161X / ISSN WEB: 2389-7864 / Volumen 16, No. 2, Julio - diciembre de 2021

INTROPICA

Número temático sobre plancton *In memoriam* Luis Alfonso Vidal Velásquez



INTROPICA

INTROPICA



Publicación seriada
Volumen 16, No. 2
julio - diciembre 2021
ISSN: 1794-161X - ISSN WEB: 2389-7864
Santa Marta - Colombia

INTROPICA

Volumen 16, No. 2 julio - diciembre 2021

/ ISSN: 1794-161X - ISSN WEB: 2389-7864

Intropica desde el 2004 es una revista de acceso abierto de la Universidad del Magdalena, que publica trabajos científicos o técnicos con periodicidad semestral (de enero a junio y de julio a diciembre). La revista se creó bajo el auspicio del fondo editorial, por iniciativa de un grupo de académicos e investigadores adscritos a la Universidad del Magdalena. **Intropica** está orientada a publicar contribuciones originales e inéditas escrita en español o inglés relacionados con el estudio e interpretación integrada de los ecosistemas y de los problemas ambientales derivados de la intervención antropogénica sobre el territorio. La revista considera artículos de investigación científica y tecnológica, artículos de revisión, reflexión y notas científicas. Está dirigida a investigadores en Ciencias Naturales y Ambientales, incluyendo las disciplinas de Biología, Pesquerías, Agronomía, Etnobiología, Economía de Recursos Naturales, Ecología y afines.

©Universidad del Magdalena. Santa Marta - Colombia, 2021

EDITOR

Cesar E. Tamaris, Universidad del Magdalena, Colombia

COMITÉ EDITORIAL

Andrés M. Vélez Pereira, Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia
Luis M. Manjarrés – Universidad del Magdalena, Colombia
Jairo Altamar – Universidad del Magdalena, Colombia
Saeko I. Gaitán – Universidad del Magdalena, Colombia
Víctor Macías – Universidad del Magdalena, Colombia
Pablo E. Gutiérrez – University of Puerto Rico Rio Piedras, Puerto Rico
Andrés M. Vélez – Universidad Autónoma de Barcelona, España
Gladys Reinoso Flórez – Universidad del Tolima, Colombia
Ernesto Otero – Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico
Fernando Álzate – Universidad de Antioquia, Colombia
Rosa Cerros – Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México
Jose Carmelo Murillo – Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Francisco J. Guerrero – University of Wisconsin, Estados Unidos
Carlos A. Iregui – Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Reinhard Schnetter – Universidad de Giessen, Alemania
Gabriel Navas – Universidad de Cartagena, Colombia
José Mancera – Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Sergio Losada – Universidad del Tolima, Colombia
Jorge Maldonado – Universidad de Los Andes, Colombia
Karim Erzini – Universidade Do Algarve, Portugal
Juan Carlos Gutiérrez – Universidad de Huelva, España
Mónica Lugo Ciencias Biológicas, – Universidad Nacional de San Luis, Argentina
Eduardo Domínguez - Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN), Argentina
Carlos Molineri - Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN), Argentina

COMITÉ EDITORIAL INVITADO

Juan Laverde – Consultor independiente, Colombia
Gloria Sánchez- Universidad de Magallanes, Chile
Lenin Flórez – Universidad de Antioquia, Colombia

GESTOR EDITORIAL

Ana Milena Lagos Universidad del Magdalena, Colombia

CORRECTOR DE ESTILO

Juan Mikán

REVISIÓN DE IDIOMAS

Gran Caribe, Pensamiento, Cultura, Literatura - Colombia

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Andrés Felipe Moreno Toro – Universidad del Magdalena, Colombia

FOTOGRAFÍA - IMAGEN - ILUSTRACIÓN DE PORTADA

Páramo, autor Diana Lozano Zafra

BASES DE INDIZACIÓN, INDEXACIÓN Y CATALOGACIÓN

Revista registrada en las bases de datos: ASFA, Dialnet, Latindex, UlrichsWeb, REDIB, BASE, Actualidad Iberoamericana, PERIÓDICA, SHERPA/RoMEO, CiteFactor, INFOBASE, OAJI, ERIHPLUS y MIAR, DOAJ, Zoological Record, Biosis Previews.



FORMA DE ADQUISICIÓN Y CANJES

La revista es de libre acceso y no tiene costos asociados por publicación, se puede acceder a ella a través de la página: <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica> o en formato papel se puede solicitar a la: Carrera 32 N° 22 - 18. Universidad del Magdalena. Bloque 8 segundo piso, Santa Marta – Magdalena. Colombia. PBX: (57-5) 4301292 – 4217940 Ext.: 1888 o a través del correo electrónico: revistaintropica@unimagdalena.edu.co.

El canje se presenta en la Biblioteca “Germán Bula Meyer” ubicada en Carrera 32 N° 22.

PERIODICIDAD Y DIFUSIÓN

La revista **Intropica** adscrita a la Universidad del Magdalena – Colombia, se publica con una frecuencia semestral (de enero a junio y de julio a diciembre). Publicando los artículos de cada edición. Su circulación es a nivel nacional e internacional.

DERECHOS DE AUTOR

Los textos se pueden reproducir total o parcialmente siempre y cuando se cite la fuente. El contenido de los artículos publicados en Intropica es exclusiva responsabilidad de los autores.



Intropica by Universidad del Magdalena is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License

EVALUADORES

Alan Giraldo López
Universidad del Valle

Álvaro Morales
Universidad de la Costa

Ana Cristina de la parra Guerra
Universidad del Atlántico

Ana M. Manjarrés Hernández
Universidad Nacional de Colombia

Brightdoom Márquez Rojas
Instituto Oceanográfico de Venezuela

Camilo Ernesto Andrade Sossa
Universidad del Cauca

Carlos A. Rivera-Rondón
Pontificia Universidad Javeriana

Carlos Francisco Rodríguez-Gómez
Escuela Nacional de Estudios Superiores

Clara Ines Caro Caro
Universidad de los Llanos

Dario Vega
Consultor independiente

David Siqueiros
Universidad Nacional de La Plata

Edgar Fernando Dorado Roncancio
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras

Fernando Gómez
University of Salento

Gustavo Arencibia-Carballo
Centro de Investigaciones Pesquera

Ismael Gárate Lizarraga
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional

Jeymmy Walteros Rodríguez
Universidad Tecnológica de Pereira

Juan David González
Universidad Nacional de Colombia

Lennin Flórez Leiva
Universidad de Antioquia

Lorena Durán
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Maribelle Vargas
Universidad de Costa Rica

Mary Luz Cañón
Dirección General Marítima

Mariângela Menezes
Universidad Federal de Río de Janeiro

Máximo Frangopulos Rivera
Universidad de Magallanes

Michael Ahrens
Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Mónica Tatiana López-Muñoz
Universidad de Antioquia

Olga Carnicer
Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Paulo Tigreros
Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Ramiro Riquelme
Universidad de Concepción

Roberta Crescini
Universidad de Oriente

Contenido - Contents

Artículos de investigación científica y tecnológica

- Occurrence of *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 (Copepoda, Calanoida, Diaptomidae) from an ephemeral pond in northern Colombia**
Presencia de *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 (Crustacea: Copepoda: Calanoida, Diaptomidae) en una charca temporal al norte de Colombia
Juan M. Fuentes-Reinés, Eduardo Suárez-Morales y Pedro Eslava-Eljaiek 125
- Bloom algal y abundancia de copépodos en el golfo de Cariaco, Venezuela (Caribe Suroriental)**
Algal bloom and abundance of copepods in the gulf of Cariaco, Venezuela (Southeast Caribbean)
Brightdoom Márquez-Rojas, Luis Troccoli y Rafael Díaz-Ramos 133
- Estructura del fitoplancton según la condición metabólica de lagos andinos ubicados en diferente rango altitudinal**
Structure of the phytoplankton according to the metabolic condition of andean lakes located in a different altitudinal range
Yaneth Viviana Hernández-Sierra, Adriana Ximena Pedroza-Ramos y Nelson Javier Aranguren-Riaño 153
- Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia**
Temporal variation of the phytoplankton composition and abundance in Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia
Martha Jeannette Torres-V., Alejandro Henao-Castro y Laura Contreras-Vega 168
- Variación temporal del zooplancton durante 2017 y 2018 en el sureste de Isla Margarita, Venezuela**
Temporal variation of zooplankton during 2017 and 2018 in the southeast of Isla Margarita, Venezuela
Alfredo Gómez Gaspar 180
- Especies del género *Tripes* (Dinophyceae) en el golfo de Urabá, Caribe colombiano**
Species of the genus *Tripes* (Dinophyceae) in the Gulf of Urabá, Colombian Caribbean
Lorenzo Portillo-Cogollo, Jesús Javier Hoyos-Acuña, Humberto Luis Quintana-Manotas y Lucia Atehortúa-Garcé 191
- Fitoplancton del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo durante los periodos de precipitación del 2016 a 2019**
Phytoplankton of Los Corales del Rosario y de San Bernardo National Natural Park during the precipitation periods from 2016 to 2019
Jainy Maldonado-Durán, María Isabel Criales-Hernández, Mauricio Jerez-Guerrero, Camilo Valcarcel-Castellanos 204

Listado de especies de fitoplancton en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano

Checklist of phytoplankton species in Tumaco bay, Pacific Colombian

Jesús Javier Hoyos-Acuña, Humberto Luis Quintana-Manotas, Christian Bermúdez-Rivas,
Andrés Felipe Molina-Triana, Fredy Albeiro Castrillón y Jenny Lisbeth

214

Comunidad fitoplanctónica en una playa de la costa central de Venezuela y su relación con variables ambientales en un ciclo anual

Phytoplankton community in a beach of the central coast of Venezuela and its relationship with environmental variables in an annual cycle

Carlos Pereira, Griselda Ferrara De Giner, Luis Troccoli-Ghinaglia, Vanessa Hernández, Carolina Peña Ricardo Losada y Francisco Vera Alicia González-Solis, Daniel Torruco y Angel Daniel Torruco-González

232

Microalgas entre escolares de la región de Magallanes-sur de Chile. Una experiencia para desarrollar competencias científicas y divulgar la ciencia

Microalgae among schoolchildren in the Magallanes-sur de Chile region. An experience to develop scientific skills and disseminate science

Gloria Sánchez

245

Nota científica

Morphology of three marine epizoic diatoms from the Mexican Pacific: *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum* and *Sceptronema orientale* (Bacillariophyta)

Morfología de tres diatomeas epizoicas marinas del Pacífico mexicano: *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum* y *Sceptronema orientale* (Bacillariophyta)

David U. Hernández-Becerril

260

Occurrence of *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 (Copepoda: Calanoida, Diaptomidae) from an ephemeral pond in northern Colombia

Presencia de *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 (Crustacea: Copepoda: Calanoida, Diaptomidae) en una charca temporal al norte de Colombia

Juan M. Fuentes-Reinés^{1*}, Eduardo Suárez-Morales² and Pedro Eslava-Eljaiek¹

1. Universidad del Magdalena, Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología Aplicada, Santa Marta, Colombia

2. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Chetumal, Quintana Roo, México

*Autor de correspondencia: juanfuentesreines@gmail.com

Recibido: 05 de marzo de 2021

Aceptado: 30 de julio de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Abstract

Key words:
copepods; diaptomids;
freshwater zooplankton;
La Guajira; taxonomy

The freshwater Neotropical planktonic copepod *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 was found in a small temporal pond in northern La Guajira. Hitherto, it had been reported in Venezuela and Colombia, mainly in the Caribbean region. This article is the first documented, illustrated record confirming its presence in Colombia and La Guajira department. Our specimens from La Guajira have a combination of diagnostic features of *N. maracaibensis* as reported in both the original description and subsequent taxonomical accounts, including 1) segment 15 of male right antennule with no spinous process, 2) inner margin of male right P5 basipodite smooth, 3) male right P5 endopod short, 4) male right P5 exopod 2 nearly 2.5 times as long as wide; 5) lateral spine of male P5 exopod 2 inserted subdistally; 6) lateral wings of female pediger 5 asymmetrical, 7) inner margin of female lateral wings with a spinules row, 8) left lateral wing with both sensilla inserted closer to each other than on right wing; 9) female genital double-somite 1.5 times as long as wide, 10) both sensilla of genital double-somite arranged perpendicularly to the body axis. *Notodiaptomus maracaibensis* superficially resembles *N. henseni*, also reported in Colombia. These two species can be easily confused with each other; so, we provide crucial morphological details to distinguish these species. A key to the *Notodiaptomus* species found in Colombia is also provided.

Resumen

Palabras claves:
copépodos; diaptómidos;
zooplancton de agua dulce;
La Guajira; taxonomía

El copépodo planctónico de agua dulce *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 fue encontrado en un pequeño estanque temporal al norte de La Guajira, Colombia. Hasta ahora, se había registrado solamente en Venezuela y Colombia. Este es el primer registro ilustrado y documentado que confirma su presencia en Colombia y en el departamento de La Guajira. Los especímenes de La Guajira presentan una combinación de caracteres diagnósticos propios de *N. maracaibensis*, tal como se consigna tanto en su descripción original como en los trabajos taxonómicos posteriores, incluidos 1) segmento 15 de la anténula derecha del macho sin proceso espinoso, 2) margen interno del basipodito de la P5 derecha del macho liso, 3) endopodito de la P5 derecha del macho corto, 4) segundo segmento exopodal de la P5 derecha del macho casi 2,5 veces tan largo como ancho; 5) espina lateral del segundo segmento exopodal de la P5 derecha del macho insertada subdistalmente; 6) procesos laterales del pedígero 5 de la hembra ligeramente asimétricos; 7) borde posterior de los procesos laterales del pedígero 5 de la hembra con una hilera de espínulas; 8) proceso lateral izquierdo del pedígero 5 de la hembra con ambas sensilas insertadas más cerca una de la otra que en el lado derecho; 9) doble somita genital 1,5 veces más largo que ancho, 10) ambas sensilas del somita genital dispuestas perpendicularmente al eje del cuerpo. *Notodiaptomus maracaibensis* se parece superficialmente a *N. henseni*, también presente en Colombia, y ambas podrían confundirse con facilidad; por ello, se presentan algunos detalles que permiten diferenciarlas. También se proporciona una clave para las especies de *Notodiaptomus* que se encuentran en Colombia.

Introduction

The genus *Notodiaptomus* was proposed by Kiefer (1936) to include eleven species originally placed in *Diaptomus* Westwood, 1836 *sensu lato* (Santos-Silva *et al.*, 1999). This genus has the widest distribution of freshwater calanoids in the Neotropical region (Santos-Silva *et al.*, 1999; 2013). Members of this genus can be found both in lentic and lotic ecosystems (Previattelli *et al.*, 2013) and are restricted to the Neotropical region (Walter and Boxshall, 2021). The diversity of *Notodiaptomus* is the greatest among the calanoid copepod family Diaptomidae; it currently comprises 36 valid species (Suárez-Morales *et al.*, 2020). Of these, *Notodiaptomus coniferoides* (Wright, 1927), *N. echinatus* (Lowndes, 1934), *N. henseni* (Dahl, 1894), *N. maracaibensis* Kiefer, 1954, *N. simillimus* Cicchino, Santos Silva & Robertson, 2001 have been known to occur in Colombia (Kiefer, 1956; Cicchino *et al.*, 1989; Atencio *et al.*, 2005; Álvarez, 2010; Jaramillo-Londoño and Aguirre-Ramirez, 2012; Dussart, 1984; Rivera-Rondón *et al.*, 2010; Villabona-González *et al.*, 2011). Furthermore, Gaviria and Aranguren (2019) recorded seven species of *Notodiaptomus* in Colombia and added *N. linus* (Brandorff, 1973) and *N. dilatatus* Dussart, 1984, but these two species are currently considered members of *Diaptomus* (Suárez-Morales *et al.*, 2020). This manuscript follows the criterion of the latter authors.

Notodiaptomus maracabiensis was originally described by Kiefer (1954) in Lago de Maracaibo, Venezuela. Hitherto, this species has been recorded in both the Caribbean and Pacific regions in Colombia, having a wide distribution in the former (Gaviria and Aranguren, 2019) This paper aims to document the first finding of *N. maracabiensis* in the La Guajira Department. Unlike previous regional and national records, our report includes a brief description of the specimens examined, illustrations of relevant taxonomic traits of this species, and a comparative analysis concerning its closest congener in the country. A key for identifying the species of *Notodiaptomus* found in Colombia is also provided.

Materials and methods

Biological samples were taken from a small temporary pond at Ebanal farm, northern sector of La Guajira-Colombia, (11°45'23.37" N; 72°25'10.97" W). Qualitative surveys were performed during October and November 2018. Environmental parameters were measured with a WTW 3111 conductivity meter gear. Water samples were collected using a bucket of 25 L, sieved through a standard zooplankton net (55 µm mesh) until

to obtain concentrates of 500 ml that and fixed in 96 % ethanol. In the laboratory, samples were concentrated to 50 ml and stained with Bengal rose. The copepods were sort and count using a Bogorov chamber and with the aid of a stereomicroscope; they were taxonomically examined in toto under a compound optical microscope in a drop of glycerol-formaldehyde mixture. Specimens were measured in ventral position, from the anterior end of the cephalothorax to the posterior margin of the caudal ramus and then they were dissected to examine the taxonomically relevant appendages, which were mounted in semi-permanent slides. The appendages with taxonomic relevance were drawn using a drawing tube and also photographed with a Kodak Easy Share C140 digital camera adapted to a compound microscope at 1000x magnification. The identification of this species was based on the original description and illustrations by Kiefer (1954, 1956); we also followed the taxonomic key by Suárez-Morales *et al.* (2020). Our morphologic remarks and complementary description followed Huys and Boxshall's (1991) terminology. The following abbreviations are used in the text: P1-P6 = first to sixth legs; EXP = exopod; ENP = endopod.

Voucher specimens of *N. maracaibensis* were deposited at the Centro de Colecciones Biológicas Universidad del Magdalena, Colombia (CBUMAG: MEI: 0825 and CBUMAG: MEI: 0826) where they are available for consultation or further examination.

Results

Order Calanoida Sars G.O., 1903
 Family Diaptomidae Baird, 1850
 Subfamily Diaptominae Kiefer, 1932
 Genus *Notodiaptomus* Kiefer, 1936
Notodiaptomus maracaibensis Kiefer, 1954

Material examined: Seven adult females and five adult males from an ephemeral pond located in La Guajira, Colombia (11°45'23.37" N; 72°25'10.97" W), collected using a plankton net, October - November 2018, coll. JMF-R.

Morphology

Female. Body length = 1064–1092 µm (n = 7, average length = 1075 µm) (figure 1A). Antennules symmetrical, 25-segmented, reaching beyond caudal rami (figure 1A), pediger 5 wings asymmetric, with one pair of sensillae on each side; left side with both sensilla inserted closer to each other than on right side, inner sensilla thinner (figure 2A); posterior margin ornamented with small spinules (figure 1C, D). Urosome 3-segmented

(figures 1B, 2B, C). Genital double-somite symmetrical, weakly produced ventrally (figures 1A, 2C), about 1.4 times as long as wide (figures 1A, 2C), longer than the other urosomites lengths

combined (figure 1B). Somite with laterally directed sensillum on each side (figure 2A, C). Caudal rami symmetrical, about 1.6 times as long as wide (figure 2C).

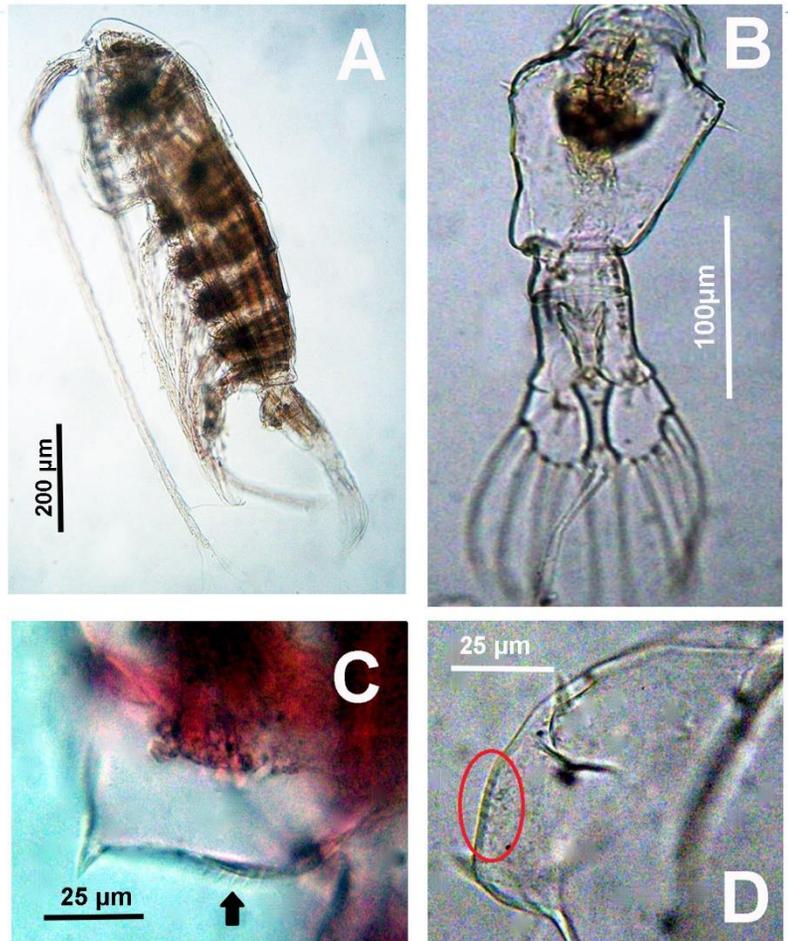


Figure 1. *Notodiptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 from La Guajira, Colombia. Adult female. A. habitus, lateral view. B. urosome, ventral view. C. left wing of pediger 5 showing spinule ornamentation. D. same, right wing.

P1–P4 with 3- segmented EXPs and ENPs, except for 2- segmented P1ENPs (figure 3A-D). P5 symmetrical (figure 2D), coxa with sensilla on outer margin, basis subtriangular with short outer basipodal seta (figures 2D, 5B). EXP 3-segmented. EXP1 robust, about 2.4 times as long as wide, with a small subdistal sensilla (figures 2E, 3C). EXP2 represented by a stout terminal claw with small denticles along lateral margins, with small outer spine in the proximal position (figures 2E, 5C). EXP3 small, subquadrate, armed with two stout terminal setal elements, outer shorter than inner (figure 2E). ENP 1-

segmented, reaching about mid length of EXP1 (figures 2D, 5B) with a brush of short spinules apically (figure 2F).

Male: Body length = 938 – 980 µm (n = 5, average length = 969 µm). Left antennule as in female. Right antennule geniculate, with segments 14-19 modified, expanded, bearing spinous processes on segments 9, 11, 12, 14, 16, and 17 (figures 4B). Antepenultimate segment with short, acute process on distal position, not reaching proximal margin of succeeding segment (figure 4A).

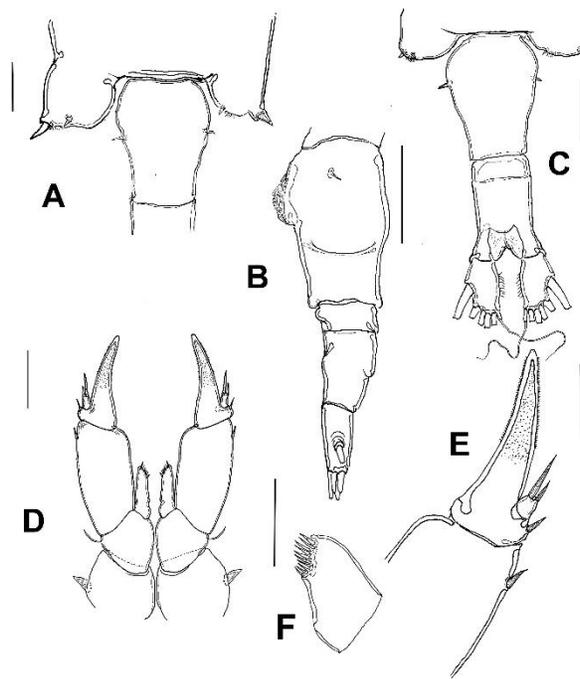


Figure 2. *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 from La Guajira, Colombia. Adult female. A. pediger 5 and genital double-somite, dorsal view. B. urosome, lateral view. C. same, dorsal view. D. fifth leg. E. right fifth leg, distal segment. F. apical end of endopodite. Scale bars: A-C= 60 μ m, D, E= 25 μ m, F= 10 μ m.

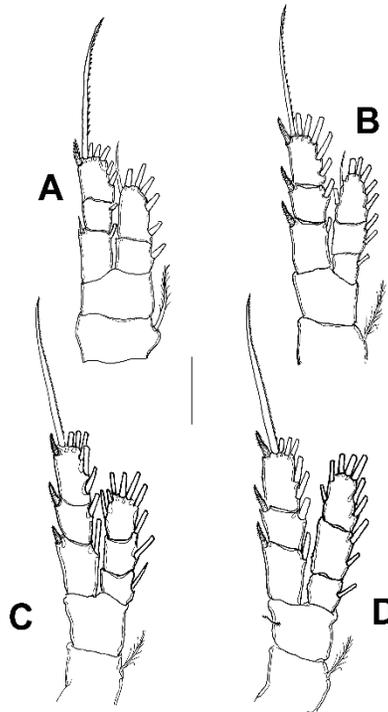


Figure 3. *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 from La Guajira, Colombia. Adult female. A. leg 1. B. leg 2. C. leg 3. D. Leg 4. Scale bars: A-D= 50 μ m.

P1-P4 as in female, P5 biramous, strongly asymmetrical (figure 4C). Right P5. Coxa with large conical process (figure 4C). EXP 2-segmented; first segment with a short acute process on outer distal margin and small distal sclerotized process projecting over second exopodal segment (figure 4C); second segment with a lateral spine inserted subdistally; terminal claw strong, curved (figure 4C). ENP short, 1-segmented, with a row of spinules on inner margin (figure 4C).

subrectangular, with short outer basipodal seta. EXP 2-segmented, EXP1 robust, about half as long as basipodite, with curved outer margin; inner margin with small thumb-like process ornamented with setules. EXP2 with inner margin expanded into subtriangular lamella ornamented with a inner row of spinules; outer corner with small distal seta. Distal half of EXP2 tapering distally into pair of chitinized digitiform processes (figure 4D). ENP wide, conical, 1-segmented, with a row of spinules on the inner margin, ENP almost reaching the distal end of EXP2 (figure 4C, D).

Left P5. Leg barely reaching right leg EXP1. Basipodite robust,

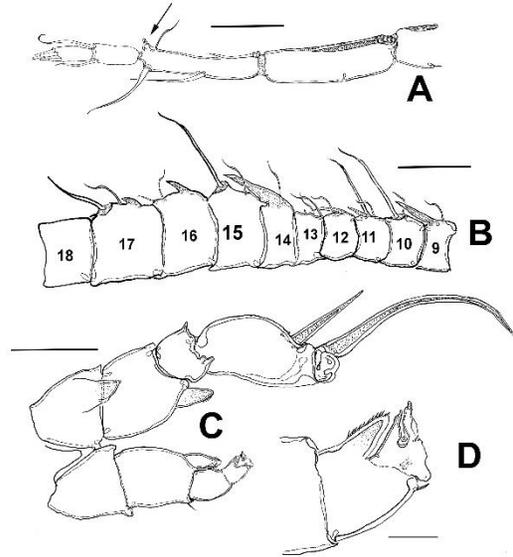


Figure 4. *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 from La Guajira, Colombia. Adult male. A. antepenultimate segment of male right antennule showing acute process (arrow). B. right antennule segments 9-18. C. fifth leg. D. detail of terminal exopodal segment of left fifth leg. Scale bars: B= 50 μ m, C= 60 μ m, D= 10 μ m.

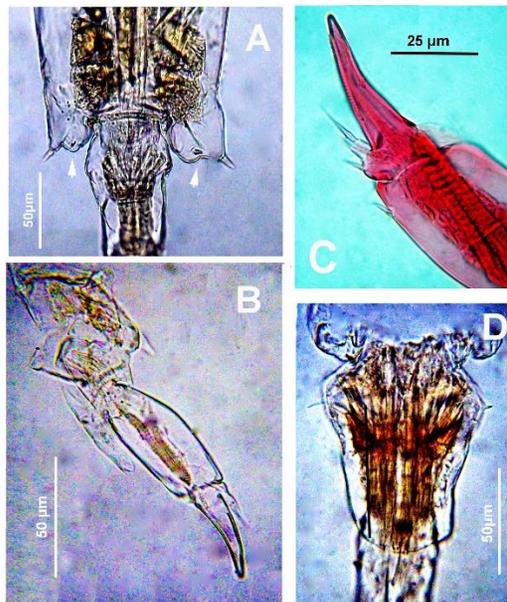


Figure 5. *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 from La Guajira, Colombia. Adult female. A. fifth pediger lateral wings and genital double-somite, dorsal view. B. fifth leg. C. detail of fifth leg. D. genital double-somite, dorsal view.

Discussion

The morphology of the seven adult female and five male specimens from La Guajira, Colombia agrees with previous descriptions and illustrations of *N. maracaibensis* (Kiefer, 1956; Suárez-Morales *et al.*, 2020).

Notodiaptomus maracaibensis can be separated from its closest congeners by a unique combination of characters including: 1) segments 13 and 15 of male right antennule lacking spinous process (figure 4B), 2) inner margin of male right P5 basipodite smooth, 3) male right P5 endopod short, 1-segmented, 4) male right P5 EXP2 almost 2.5 times as long as wide, 5) lateral spine (aculeus) of male right P5 EXP2 inserted subdistally; 6) female lateral wings of pediger 5 weakly asymmetrical, 7) inner margin of female lateral wings with row of spinules, 8) left lateral wing with both sensilla inserted closer to each other than on right wing, 9) genital double-somite 1.5 times as long as wide, 10) both sensilla on genital double-somite arranged perpendicularly to the body axis. These distinctive traits are present in our Colombian specimens. In his original description of this species, Kiefer (1956) depicted the antepenultimate segment of the male right antennule as having a weak distal expansion (Kiefer, 1956, fig. 16), whereas a strong, acute process is present in the specimens examined (arrow in figure 4A).

The genus *Notodiaptomus* was divided by Wright (1935) into two distinct groups: the nordestinus-complex containing 13 species and the genus *Notodiaptomus* by Kiefer, comprising the remaining species (Santos-Silva *et al.*, 2013). *Notodiaptomus maracaibensis* is included in the latter.

In Colombia, *N. maracaibensis* superficially resembles *N. henseni* and which could be easily confused. These two species can be distinguished by several subtle characters including: 1) *N. maracaibensis* has small denticles on the inner margin of the female lateral wings (Kiefer, 1954, Abb. 5; Kiefer 1956, Abb. 10; Suárez-Morales *et al.*, 2020, figure 21.8K, GS, present data, figures 1C-D, 2A, C); this ornamentation is absent in *N. henseni* (Santos-Silva *et al.*, 2013, Suárez-Morales *et al.*, 2020); 2) distal portion of last pediger with spinules in *N. henseni* (Santos-Silva *et al.*, 2013; Suárez-Morales *et al.*, 2020), vs. smooth surface in *N. maracaibensis* (Kiefer, 1954, Abb. 5; Kiefer, 1956, Abb. 10; Suárez-Morales *et al.*, 2020, present data, figures 1C-D, 2C, 3) segment 13 of male antennule without spinous process in *N. maracaibensis* (Kiefer, 1954, Abb. 7; Kiefer, 1956, Abb. 12; Suárez-Morales *et al.*, 2020; present data, figure 4B) vs. such segment with a spine in *N. henseni* (Santos-Silva *et al.*, 2013, Suárez-Morales *et al.*, 2020).

Distribution

So far, *Notodiaptomus maracaibensis* is exclusively distributed in the Neotropical region and has been recorded in two countries: Venezuela (Kiefer, 1954) and Colombia (Gaviria and Aranguren, 2019). In the latter, it has been recorded in different areas (Atencio *et al.*, 2005; Álvarez, 2010; Gaviria and Aranguren, 2019; Villabona-González *et al.*, 2011), but illustrations and morphologic comparisons of the Colombian populations have not been yet provided for this species. This paper becomes first documented, illustrated record confirming its presence in Colombia and La Guajira.

Only three Neotropical diaptomid species were included as threatened in the 1996 Red List (Reid *et al.*, 2002). Currently, *Notodiaptomus maracaibensis* is considered to be threatened (Daga *et al.*, 2020) and included at the IUCN Red species (Baillie and Goombridge, 1996). Our finding from ephemeral ponds in northern Colombia suggests that its conservation status should be reviewed.

Key to the *Notodiaptomus* species recorded in Colombia

- 1A. Lateral spine of right P5 Exp2 less than 1/5 (20 %) length of terminal claw.....2A
- 2A. Left side of genital double-somite with a additional semicircular inflated area, without dorsal hump on female fourth pediger, modified seta on segment 13 of male right antennule small, reaching midlength of segment 14.....*Notodiaptomus simillimus* Cicchino, Santos-Silva & Robertson, 2001.
- 2B. Left side of genital double somite lacking an additional semicircular inflated area, with dorsal hump on female fourth pediger, modified seta on segment 13 of right male antennule long, reaching the distal end of segment 14.....*Notodiaptomus coniferoides* (Wright, 1927)
- 1B. Lateral spine of right Exp2 P5 more than 1/5 (20 %) the length of terminal claw.....3A
- 3A. Lateral spine of right EXP2 P5 inserted distally, last segment of female urosome lacking a strong hump.....4A
- 3B. Lateral spine of right EXP P5 inserted medially, last segment of female urosome with a strong hump.....*Notodiaptomus echinatus* Lowndes 1934.

4A. Distal portion of the last pediger without spinules, small denticles on the end edge of lateral wings females, segment 13 of male antennule without spine.....
Notodiaptomus maracaibensis Kiefer, 1954.

4B. Distal portion of the last pediger with spinules, without small denticles on the end edge of lateral wings females, segment 13 of male antennule with spine.....
Notodiaptomus henseni (Dahl, 1894).

Acknowledgments

We are deeply indebted to Jorge David Olivero Villanueva for his help in the field. This study was financially supported by FONCIENCIAS of Magdalena University.

References

Álvarez, J.P. 2010. Caracterización limnológica de las Ciénagas de Arcial, El Porro y Cintura (Río San Jorge) y Bañó, Charco Pescao y Pantano Bonito (Río Sinú), Departamento de Córdoba. In Rangel-Ch. J.O. Editor. *Colombia Diversidad biótica IX: Ciénagas de Córdoba: Biodiversidad - Ecología y manejo ambiental*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Atencio F., Gutiérrez, M.L. and Gaviria M.S. 2005. Copépodos planctónicos del complejo cenagoso de Malambo (Atlántico, Colombia) y su relación con algunos factores físicos y químicos del agua. *Revista Dugandía, Nueva Época* 1(2):17-37.

Baillie, J. and Groombridge, B. 1996. *IUCN Red List of Threatened Animals*. Gland, Switzerland and Cambridge, U.K.

Cicchino, G., Zoppi de Roa, E. and Montiel, E. 1989. *Notodiaptomus henseni* Dahl (Crustacea-Copepoda): un problema de sinonimia en el zooplancton de Venezuela. *Acta Biológica Venezolana* 12(3-4): 98-105.

Daga, V.S., Azevedo-Santos, V.M., Pelicice, F.M., Fearnside, P.M., Perbiche-Neves, G., Paschoal, L.R.P., Cavallari, D.C., Erickson, J., Ruocco, A.N.C., Oliveira, I., Padiál, A.A. and Vitule, J.R.S. 2020. Water diversion in Brazil threatens biodiversity. *Ambio* 49:165–172. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01189-8>.

Dussart, B.H. 1984. Some Crustacean Copepoda from Venezuela. *Hydrobiologia* 113: 105-119.

Gaviria, S. and Aranguren, N. 2019. Continental copepods (Crustacea: Hexanauplia) of Colombia: revision and additions to the inventory. *Biota Colombiana* 20(1): 50-74. Doi:

<https://doi.org/10.21068/c2019.v20n01a04>.

Jaramillo-Londoño, J.C., and Aguirre-Ramírez, N.J. 2012. Fluctuación de los ensambles planctónicos en la Ciénaga de Ayapel (Córdoba-Colombia) durante un ciclo semanal. *Revista Ingeniería Universidad de Medellín* 11(21): 63-75.

Huys, R. and Boxshall G.A. 1991. Copepod evolution. The Ray Society, London.

Kiefer, F. 1936. Über die Systematik der Südamerikanischen Diaptomiden (Crustacea: Copepoda). *Zoologischer Anzeiger* 116: 194–200.

Kiefer, F. 1954. Drei neue Ruderfüßkrebse (Crust. Cop) aus Venezuela. *Zoologischer Anzeiger* 153(7e8): 170e174.

Kiefer, F. 1956. Freilebende Ruderfüßkrebse (Crustacea, Copepoda). Calanoida und Cyclopoida. In Gessner, F. and Vareschi, V. Editors. *Ergebnisse der Deutschen Limnologischen Venezuela-Expedition 1952*, Konstanz.

Previattelli, D., Perbiche-Neves, G. and Santos-Silva, E.N. 2013. New Diaptomidae records (Crustacea: Copepoda: Calanoida: Diaptomidae) in the Neotropical region. *Check List* 9: 700e713. Doi: <https://doi.org/10.15560/9.4.700>.

Reid, J.W., Bayly, I.A., Pesce, G.L., Rayner, N.A., Reddy, Y.R., Rocha, C. E. F., Suárez- Morales, E. and Ueda, H. 2002. Conservation of continental copepod crustaceans. In: Escobar-Briones, E. and Álvarez, F. Editor. *Modern approaches to the study of Crustacea*. Springer Science+Business Media, Puerto Vallarta.

Rivera-Rondón, C.A., Zapata, A.M., Pérez, D., Morales, Y., Ovalle, H., and Álvarez, J. P. 2010. Caracterización limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco (Orinoquia, Colombia). *Acta Biológica Colombiana* 15(1):145-166

Santos-Silva, E.N., Boxshall, G.A. and Rocha, C.E.F. 1999. The Neotropical Genus *Notodiaptomus* Kiefer, 1936 (Calanoida: Diaptomidae): Redescription of the Type Species *Notodiaptomus deitersi* (Poppe, 1891) and Designation of a Neotype. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 34: 114–128. Doi: <https://doi.org/10.1076/snfe.34.2.114.2106> .

Santos-Silva, E.N., Boxshall, G.A. and Rocha, C.E.F. 2013. Revisao das espécies do "complexo nordestinus" (Wright, 1935) de *Notodiaptomus* Kiefer, 1936 (Copepoda: Calanoida: Diaptomidae). *Biologia Geral e Experimental* 13: 1e115.

Suárez-Morales, E., Gutiérrez-Aguirre, M., Gómez, S., Perbiche-

Neves, G., Previattelli, D., Santo-Silva, E.N., Rocha, C.E.F., Mercado-Salas, N., Márquez, T.M., Cruz-Quintana, Y., and Santana-Piñeros, A.M. 2020. Class Copepoda. In: Thorp, J.H., Damborenea, C., and Rogers, C. Editor. *Key and Neotropical and Antarctic Fauna*, Academic press, Cambridge.

Villabona-González, S. L., Aguirre R., N.J. and Estrada P.A.L. 2011. Influencia de las macrófitas sobre la estructura poblacional de rotíferos y microcrustáceos en un plano de inundación tropical. *Revista de Biología Tropical* 59(2): 853-870

Walter, T.C. and Boxshall, G. 2021. World of Copepods database. *Notodiaptomus* Kiefer, 1936. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=347599>. Consulted: January 31, 2021.

Wright, S., 1935. Three new species of *Diaptomus* from Northeast Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 7: 213-233: 1-4.

Cite this article: Fuentes-Reinés, J.M., Suárez-Morales, E. and Eslava-Eljaiek, P. 2021. Occurrence of *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 (Copepoda: Calanoidea, Diaptomidae) from an ephemeral pond in northern Colombia. *Intropica* 16(2): 125-132. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.3977>.

Bloom algal y abundancia de copépodos en el golfo de Cariaco, Venezuela (Caribe Suroriental)**Algal bloom and abundance of copepods in the gulf of Cariaco, Venezuela (Southeast Caribbean)**Brightdoom Márquez-Rojas^{1*}  Luis Troccoli²  y Rafael Díaz-Ramos¹ 

1. Laboratorio de zooplancton, Instituto oceanográfico, Universidad de Oriente, Cumana, Sucre, Venezuela

2. Instituto de investigaciones Científicas, Universidad de Oriente, Boca de Río, Nueva Esparta, Venezuela

*Autor de correspondencia: bmarquez2001@gmail.com

Recibido: 07 de abril de 2021

Aceptado: 01 de junio de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen**Palabras clave:**
fitoplancton; florecimientos algales nocivos;
precipitaciones; copépodos; zooplancton

Dentro del zooplancton, los copépodos son uno de los principales consumidores de fitoplancton. Por tanto, estos organismos son potenciales consumidores de las especies de dinoflagelados que producen toxinas. En este sentido, se estudiaron los efectos de las floraciones de algas nocivas (FAN) sobre los copépodos de la zona oriental del golfo de Cariaco, Venezuela. Se colectaron muestras mensuales de junio de 2009 a mayo de 2010, en nueve estaciones distribuidas en tres zonas. Para el zooplancton, se empleó una red estándar de plancton de 333 μm , mientras que el fitoplancton se colectó a través de botella de agua (250 mL). Se midieron la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), la salinidad (UPS), el oxígeno disuelto (mL.L^{-1}), la abundancia fitoplanctónica (cel.mL^{-1}), la concentración de clorofila *a* (mg.m^{-3}) y los nutrientes inorgánicos (nitrato, nitrito, fosfato y silicato). La salinidad y el oxígeno disuelto resultaron significativamente diferentes de acuerdo con el modelo multifactorial de dos factores: períodos y zonas con dos y tres niveles, respectivamente. Las mayores concentraciones de Cl-*a* (0-26,49 mg.m^{-3}) y de la abundancia fitoplanctónica (37-1,247 cel.mL^{-1}) se reportaron en el periodo de lluvia (junio-julio de 2009). La comunidad zooplanctónica estuvo dominada por los copépodos (78 % de abundancia relativa), con abundancias totales entre 2-4,543 ind.m^{-3} , y no mostró diferencias temporales ni espaciales. Durante el estudio se observó una sola floración algal durante junio-julio de 2009, dominada por *Prorocentrum mexicanum* y *Gymnodinium catenatum*. Se observó una correlación positiva entre los máximos de abundancia de *Acartia tonsa* y *Temora turbinata* con la mayor presencia de dinoflagelados tóxicos. La riqueza de copépodos fue relativamente baja debido a la dominancia de más del 90 % de *A. tonsa* y *T. turbinata*. Se sugiere que *A. tonsa* es capaz de ingerir estos dinoflagelados y utilizarlos sin sufrir efectos deletéreos aparentes.

Key words:phytoplankton; harmful algal blooms;
precipitation; copepods; zooplankton**Abstract**

Among the zooplankton, copepods are one of the main consumers of phytoplankton and, as such, these organisms are potential consumers of the dinoflagellate species that produce toxins. In this sense, the relationship between harmful algal blooms (HAB) on the copepods was studied in the eastern area of the Gulf of Cariaco, Venezuela. Monthly samples were collected from June 2009 to May 2010, in nine stations distributed in three areas. Zooplankton was collected by a standard 333 μm plankton mesh, whereas phytoplankton were collected by water bottle (250 mL). Temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity (UPS), dissolved oxygen (mL.L^{-1}), phytoplankton abundance (cel.mL^{-1}), chlorophyll *a* concentration (mg.m^{-3}) and inorganic nutrients (nitrate, nitrite, phosphate and silicate) were measured. Salinity, dissolved oxygen, phosphate and silicate concentrations were significantly different according to the multifactorial model of two factors: sampling period and geographic zones with two and three levels, respectively. The highest concentrations of Chl. *a* (ND - 26.49 mg.m^{-3}) and phytoplankton abundance (37 - 1 247 cel.mL^{-1}) were reported during the rainy season (junio-julio 2009). The zooplankton community was dominated by copepods (78 % relative abundance), with total abundance varying between 2 - 4543 ind.m^{-3} and did not show temporal or spatial differences. During the study, a single algal bloom was observed during the rainy period, dominated by *Prorocentrum mexicanum* and *G. catenatum*. A positive correlation was observed between the maximum abundance of *Acartia tonsa* and *Temora turbinata* with the highest presence of toxic dinoflagellates. The richness of copepods was relatively low, due to the dominance of more than 90 % of *A. tonsa* and *T. turbinata*. It is suggested that *A. tonsa* is able to ingest these dinoflagellates and use them without suffering apparent deleterious effects.

Introducción

El fitoplancton marino desempeña un papel clave en el secuestro de CO₂ atmosférico, en la productividad primaria y en los ciclos biogeoquímicos (Simon *et al.*, 2009). Los componentes importantes de fitoplancton marino son las diatomeas (Bacillariophyceae), dinoflagelados (Dinophyceae), microalgas verdes (Chlorophyceae), algas verdes azuladas (Cyanobacteria), silicoflagelados, cocolitofóridos y el nanoplancton y picoplancton (Vaulot *et al.*, 2008).

La distribución del fitoplancton en el océano es el resultado de múltiples adaptaciones de los grupos de microalgas a las condiciones ambientales (ej., temperatura, nutrientes, luz, turbulencia, entre otras) (Cloern y Dufford, 2005). En algunas zonas, las condiciones ambientales favorables pueden provocar la proliferación de estas microalgas en elevadas concentraciones (millones de células por mililitro) y, a menudo, la decoloración de la superficie del mar. Estos fenómenos naturales se denominan "floraciones de algas nocivas" (FAN) o "mareas rojas". En muchos casos la proliferación de algas planctónicas es beneficiosa para la acuicultura y las pesquerías, especialmente en el caso de "floraciones primaverales" de latitudes altas. Sin embargo, algunas floraciones de algas pueden tener efectos negativos, causando graves pérdidas económicas a la acuicultura, la pesca y el turismo; también generan importantes perturbaciones ambientales e impactos significativos en la salud humana (Anderson *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2017).

Existen alrededor de 5,000 especies de fitoplancton marino (Simon *et al.*, 2009; Hernández-Becerril, 2014). De estas, aproximadamente 300 especies, incluyendo miembros de diatomeas, dinoflagelados, raphidofitos, primnesiofitos, cianobacterias y silicoflagelados, pueden provocar la proliferación de algas nocivas. Solo unas pocas docenas de estas especies tienen la capacidad de producir toxinas potentes que pueden entrar en la trama trófica a través de los peces y los mariscos y posteriormente llegar a los humanos. Estas toxinas pueden provocar síndromes venenosos como parálisis, intoxicación por mariscos (PSP), intoxicación diarreica por mariscos (DSP), intoxicación amnésica por mariscos (ASP) e intoxicación neurotóxica por mariscos (NSP) en consumidores humanos. Además, puede ocurrir intoxicación por pescado con ciguatera (CFP), que provoca enfermedad o muerte en humanos (Anderson *et al.*, 2012).

Aunque las FAN son fenómenos naturales y se han producido a lo largo de la historia (Ho y Hodgkiss, 1991), estudios a nivel

global indican que han aumentado en frecuencia y distribución geográfica durante las últimas décadas (Anderson *et al.*, 2012). Entre las causas principales de estos aumentos se destaca el enriquecimiento de nutrientes en las aguas costeras, que se conoce como eutrofización costera. Por ello, la eutrofización por procesos naturales como surgencia costera, circulación, fenómenos de convección y aporte de los ríos, así como por actividades antropogénicas, es el principal factor responsable de las floraciones algales.

La dinámica estacional y la sucesión de la comunidad de fitoplancton están estrechamente relacionadas con cambios en la estructura de la columna de agua, la disponibilidad de luz y nutrientes y la presión ejercida por el consumo de zooplancton (Hernández-Becerril *et al.*, 2007). Por ello, las modificaciones en la estructura de la comunidad (taxonómica o estructura por tamaños o grupos funcionales) pueden afectar a los ciclos biogeoquímicos y la transferencia trófica de energía a niveles superiores, con repercusiones sobre la productividad secundaria del ecosistema (Cloern y Dufford, 2005; Falkowski y Oliver, 2007).

En general, se suele afirmar que la abundancia del zooplancton depende de la del fitoplancton, pero los ritmos fisiológicos son diferentes, por lo que el máximo de producción de zooplancton no coincide con la cúspide de producción de fitoplancton (Cloern y Dufford, 2005), sino típicamente con un desfase temporal. Por lo tanto, la tasa de pastoreo del zooplancton es uno de los principales factores que influyen en la biomasa fitoplanctónica y también en el desarrollo de floraciones de algas. Además, las toxinas o metabolitos producidos por ciertas especies del fitoplancton ejercen influencia venenosa sobre los herbívoros del zooplancton (Fistarol *et al.*, 2003; Granéli y Hansen, 2006). Como consecuencia del espectacular crecimiento del fitoplancton, la perturbación producida por las FAN altera el equilibrio entre el fitoplancton y el zooplancton, y el éxito de una especie de fitoplancton no solo depende de su tasa de crecimiento específica, sino también de la diferencia entre crecimiento y pérdida por pastoreo u otras causas naturales. Por consiguiente, el mesozooplancton desempeña un papel clave en el control, la estructura y el desarrollo de floraciones de dinoflagelados (Jansen *et al.*, 2006).

La concentración de clorofila *a* (Cl-*a*) es uno de los indicadores de la biomasa fitoplanctónica. Su presencia refleja el efecto integrado de muchos de los parámetros de calidad del agua. Así mismo, indica el material vegetal total disponible en el agua en las etapas primarias de la cadena alimentaria. La proliferación del fitoplancton puede colorear el agua cuando las

concentraciones de *Cl-a* alcanzan valores $>20 \text{ mg.L}^{-1}$ (Padmakumar, 2010); por lo tanto, la *Cl-a* es una medida ampliamente usada para el monitoreo de las floraciones algales nocivas (Anderson *et al.*, 2001), que se utilizará en el presente estudio.

En las costas del oriente venezolano, y muy particularmente en el extremo oriental del golfo de Cariaco (saco del golfo), pueden observarse con frecuencia las FAN (Ferraz-Reyes *et al.*, 1985; La Barbera-Sánchez *et al.*, 1991a). Además, se indica la estacionalidad lluviosa (mayo-noviembre) como la época más favorable para su ocurrencia. En tal sentido, las investigaciones que se han llevado a cabo sobre las FAN se han basado en la identificación de las especies de microalgas que las producen y sus toxinas, infiriendo que dichas toxinas pueden ser acumuladas por el zooplancton, los moluscos bivalvos, así como en las vísceras de pequeños peces pelágicos como la sardina, lo que causa en algunas ocasiones mortandades de mamíferos u otros vertebrados depredadores.

Tomando en cuenta lo mencionado, aunado a la ausencia de estudios que relacionen los efectos de las FAN sobre los copépodos en el extremo oriental del golfo de Cariaco, surge la necesidad de llevar a cabo esta investigación en esta área estratégica de interés ecológico y económico. Por lo tanto, se esperan cambios espaciales y temporales en la abundancia y composición de los copépodos debido a que las especies de

fitoplancton tóxicas muestran diferentes respuestas a las condiciones ambientales presentes en el medio.

Materiales y métodos

Área de estudio

El sector oriental o saco del golfo de Cariaco está ubicado en la zona oriental de Venezuela ($10^{\circ}26'$ y $10^{\circ}31'N$ y $63^{\circ}38'$ y $63^{\circ}45'O$; figura 1a). Sus dimensiones son de aproximadamente 9 km de ancho y 17 km de largo. En esta área se encuentran las profundidades menores ($<40 \text{ m}$). Los ríos Carinicua y Cariaco desembocan en el extremo oriental, mientras que las quebradas Oricoto y López, en la parte sur, formando los mayores drenajes continentales y posiblemente la fuente abastecedora de gran parte de los compuestos sedimentarios que están almacenados en esta área (Caraballo, 1982).

El área de estudio presenta una estacionalidad acentuada a comienzo del año, que se puede distinguir por los parámetros físicos de la columna de agua causados por el desplazamiento estacional de la zona de convergencia intertropical (ITCZ), que provoca una variabilidad significativa en el régimen del viento, las corrientes y la descarga de ríos (Jury, 2017; Rueda-Roa *et al.*, 2018).

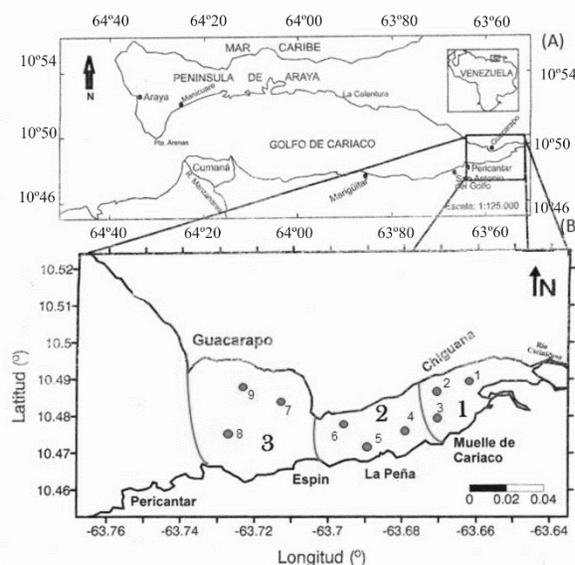


Figura 1. (a) Localización geográfica del golfo de Cariaco; (b) área de estudio con las estaciones de muestreo en el extremo oriental del golfo de Cariaco

Muestreo

El diseño empleado para tomar las muestras fue un muestreo por conglomerado bietápico con submuestra (Cochran, 1977). Este se basó en dividir el sector oriental del golfo en tres zonas, y dentro de cada zona se seleccionaron tres estaciones al azar (nueve muestras en total por muestreo): la zona 1 o interna comprendió las estaciones 1, 2 y 3, con profundidades entre 0-9 m; la zona 2 o intermedia fue conformada por las estaciones 4, 5 y 6, con profundidades entre 3-35 m, y la zona 3 o externa se constituyó por las estaciones 7, 8 y 9, con la zona más profunda entre 10-40 m (figura 1b).

Las muestras fueron recolectadas mensualmente entre junio de 2009 y mayo de 2010, asegurando la representatividad en el período de lluvias (junio-septiembre de 2009 y mayo de 2010) y sequía (octubre de 2009 a abril de 2010). Se midieron in situ la temperatura (°C), la salinidad (UPS) y el oxígeno disuelto (mL.L⁻¹) con una sonda multiparamétrica (YSI 556 MPS). También se tomaron muestras de agua superficial para las determinaciones de los nutrientes (nitrato, nitrito, amonio, fosfato y silicato) en botellas de polipropileno de 500 mL de capacidad, mantenidas refrigeradas hasta su procesamiento de acuerdo a la metodología de Parsons *et al.* (1984), las cuales se encuentran bien detalladas en Martínez *et al.* (2011) y Márquez-Rojas *et al.* (2017).

Paralelamente, se recolectaron muestras de agua superficial en botellas de polietileno (250 mL) para la abundancia microalgal y se fijaron con formalina al 4 %, neutralizada con hexametilentetramina. La Cl-*a* en la superficie se determinó según el método descrito por Lorenzen, modificado y mejorado por Parsons *et al.* (1984), para lo cual se empleó un espectrofotómetro Genesys 8 y se recolectaron muestras en botellas de polietileno oscuras (2 L).

Las muestras zooplanctónicas fueron recolectadas a nivel superficial (<30 m), con una red de 333 µm de abertura de malla y 60 cm de diámetro, a una velocidad de dos nudos durante 15 min. La red estaba equipada con un flujómetro para estimar el volumen de agua filtrado. Las muestras con el material biológico fueron depositadas en botellas de polipropileno de 500 mL de capacidad y conservadas en formalina tamponada con tetraborato sódico, manteniendo la concentración final al 5 %.

Trabajo en el laboratorio

La abundancia microalgal se determinó según el método de sedimentación de Utermöhl descrito por Edler y Elbrächter (2010). Por su parte, el fitoplancton se identificó según los

trabajos de Tomas (1997), Berard-Therriault *et al.* (1999) y Rivera-Tenenbaum (2006). Los cocolitoforidos *Emiliania huxleyi* y *Gephyrocapsa oceanica* se nombraron *Emiliania-Gephyrocapsa* porque la microscopía óptica empleada no permitió diferenciar sus cocolitos.

Para determinar la abundancia y la ubicación taxonómica de los copépodos, las muestras fueron concentradas (400 mL) con tres submuestras de 5 mL con una pipeta Stempel, y se procedió, bajo un microscopio estereoscópico 60 x, al conteo e identificación de los copépodos adultos y juveniles al más bajo nivel taxonómico posible. En este proceso se emplearon las claves de identificación especializadas de Campos-Hernández y Suárez-Morales (1994) y Bradford-Grieve *et al.* (1999), así como la base de datos de Razouls *et al.* (2021). El número de organismos contados se dividió entre el volumen de agua filtrada, por lo que los resultados se estandarizaron a ind.m⁻³.

Análisis estadístico

Se aplicó un modelo multifactorial de dos factores: períodos y zonas, con dos y tres niveles, respectivamente, con un error tipo I. En aquellos casos donde se hallaron diferencias significativas se aplicó la prueba a posteriori de diferencias mínimas significativas (DMS o LSD). En algunos casos, cuando los supuestos del modelo no se cumplían, se aplicó la transformación logarítmica (Zar, 1999). Como variables independientes se emplearon la localización (zonas) y los períodos estacionales (lluvia y sequía), y como dependientes, la Cl-*a*, la abundancia fitoplanctónica, la abundancia zooplanctónica y las variables ambientales. Se utilizó un nivel de significación de alfa= 0,05.

Para establecer la relación entre las especies predominantes de fitoplancton, Cl-*a* y copépodos, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) (Benedetti *et al.*, 2018), con datos transformados a raíz cuarta, en temporadas seca y lluviosa.

Resultados

Variables abióticas

Las variables salinidad, oxígeno disuelto, fosfato y silicato mostraron diferencias significativas al modelo de dos factores (temporal y espacial) con interacciones planteado en la presente investigación. Los resultados de estas variables se encuentran bien detallados en Márquez-Rojas *et al.* (2017).

La salinidad mostró marcada variabilidad mensual, con discrepancias de hasta seis unidades (34-40,2 UPS). Los valores

más bajos de todo el estudio se detectaron en junio, mientras que los más elevados se alcanzaron en mayo (figura 2a). Se detectaron diferencias significativas entre las tres zonas ($F=12,05$, $p<0,05$), y la prueba a posteriori reveló claramente

que la zona 3 es acentuadamente diferente de las otras dos (figura 2b). Además, se evidenció la existencia de interacciones significativas ($F= 4,85$; $p<0,05$), revelando que el factor temporal tuvo un comportamiento diferente de acuerdo con la zona.

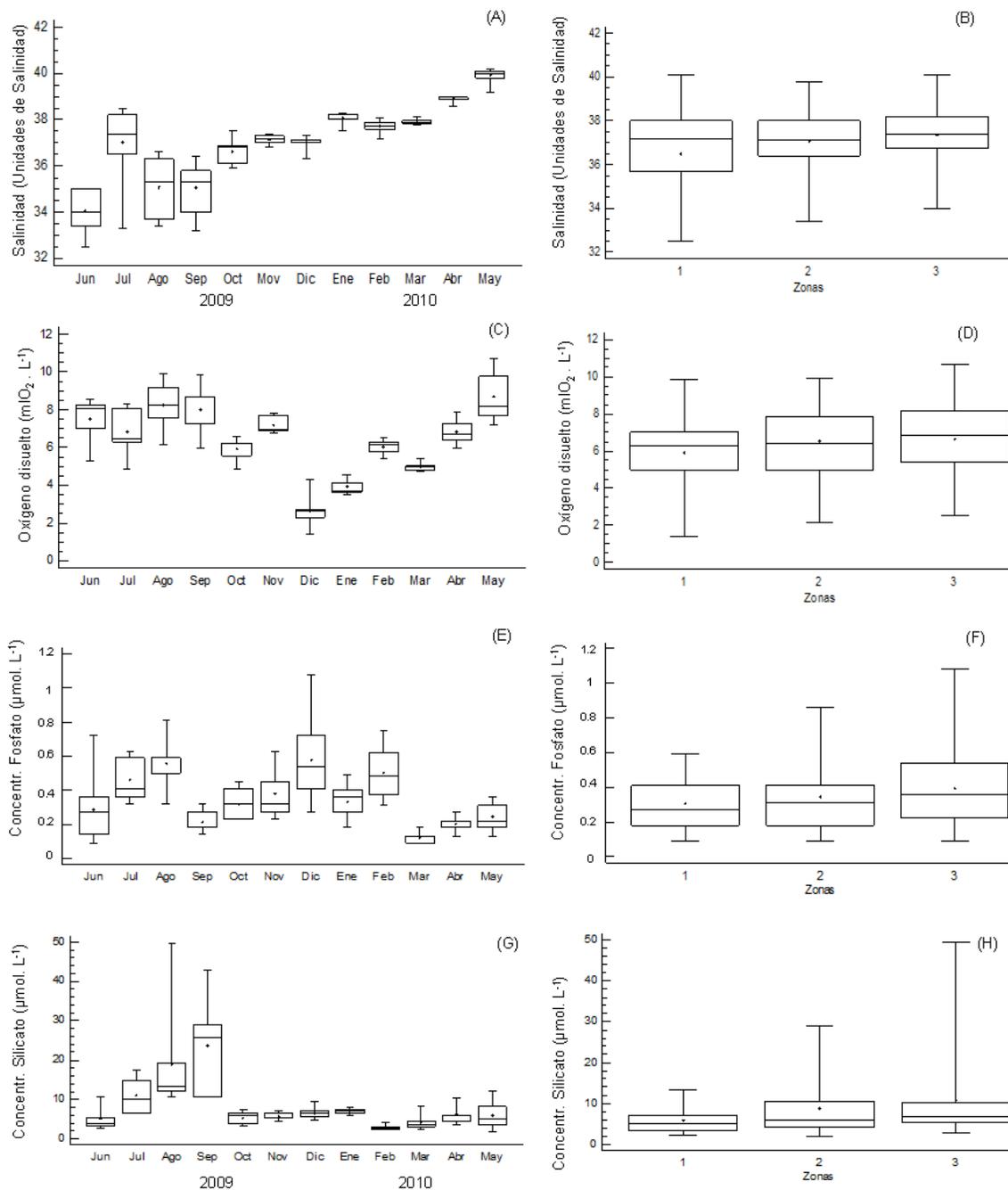


Figura 2. Diagramas de caja mostrando la variación temporal y estacional de la salinidad (a, b), la concentración de oxígeno disuelto (c, d), la concentración de fosfato (e, f) y la concentración de silicato (g, h) en el extremo oriental del golfo de Cariaco de junio de 2009 a mayo de 2010.

Entre junio y septiembre de 2009 se registraron concentraciones altas de oxígeno disuelto ($6,84-8,25 \text{ mL O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$), con evidentes fluctuaciones entre las estaciones, mientras que el valor más bajo ($2,67 \text{ mL O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$) se reportó en diciembre. En mayo de 2010,

las concentraciones de oxígeno disuelto aumentaron, alcanzando el valor más alto ($8,70 \text{ mL O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$) de todo el estudio (figura 2c). Se detectaron diferencias significativas entre las zonas ($F=3,41$; $p<0,05$), con la zona 1 siendo diferente de la zona

3 (figura 2d). También se comprobó la existencia de interacciones significativas entre los factores ($F=14,06$; $p<0,05$), donde la concentración del oxígeno disuelto en las zonas 1 y 2 siguió el mismo patrón, bajo en sequía y alto en lluvia, caso contrario al de la zona 3.

La concentración de fosfato exhibió marcada fluctuación ($0,09-1,08 \mu\text{mol.L}^{-1}$). Las concentraciones fueron en ascenso durante los tres primeros meses, hasta alcanzar en agosto valores altos (media: $0,56 \mu\text{mol.L}^{-1}$). A partir de septiembre se observó una marcada disminución en la concentración de fosfato, para luego aumentar progresivamente y alcanzar en diciembre la concentración más alta de todo el estudio (media: $0,58 \mu\text{mol.L}^{-1}$; figura 2e). Esta variable reveló diferencias significativas entre las zonas ($F=3,41$; $p<0,05$), y la prueba a posteriori indicó una clara diferencia de la zona 3 con respecto a las otras dos, con concentraciones más bajas (figura 2f). También se comprobó la existencia de interacciones significativas ($F=14,06$; $p<0,05$).

La concentración de silicato presentó marcada variabilidad entre las estaciones, con diferencias significativas ($p<0,05$) con amplio intervalo ($1,82$ y $49,58 \mu\text{mol.L}^{-1}$) durante el estudio. La media más alta se registró en septiembre 2009, y a partir de octubre hasta finales del muestreo las concentraciones de silicato fueron más bajas, con un rango entre $2,93-7,04 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (figura 2g). La media aritmética demostró la existencia de interacciones significativas ($F=12,53$; $p<0,05$; 2h), lo que sugiere que el patrón temporal del silicato en el agua tiene un comportamiento distinto entre las tres zonas.

Clorofila-*a* y abundancia fitoplanctónica

La concentración de Cl-*a* mostró marcada fluctuación con valores no detectables (ND) hasta $26,49 \text{ mg.m}^{-3}$. Las concentraciones más altas se apreciaron al comienzo del estudio, alcanzando el valor más elevado en julio 2009 (media: $17,61 \text{ mg.m}^{-3}$). Durante los meses subsiguientes, los valores medios de Cl-*a* fueron bajos, con fluctuaciones entre $0,91-5,30 \text{ mg.m}^{-3}$ (figura 3a). Se detectaron diferencias significativas entre los períodos ($F=11,12$; $p<0,05$; figura 3b), siendo la media aritmética mayor en la época de lluvia, sin interacciones espaciales significativas ($F= 0,44$; $p>0,05$).

La abundancia fitoplanctónica (tabla 1) presentó grandes fluctuaciones, con las mayores concentraciones en la temporada de lluvia e inicio de sequía, con valores entre 37 y $1,247 \text{ cel.mL}^{-1}$. A partir de diciembre 2009, los valores disminuyeron considerablemente en el resto de los meses, con oscilaciones entre $18-651 \text{ cel.mL}^{-1}$ (figura 3c). Esta variable, al igual que la Cl-*a*, reveló diferencias significativas entre los períodos ($F=6,93$;

$p<0,05$), y la prueba a posteriori indicó mayor abundancia en el período de lluvias (figura 3d). No se comprobaron interacciones espaciales significativas ($F= 0,80$; $p>0,05$).

La composición taxonómica del fitoplancton estuvo representada por los dinoflagelados (81 %), como el grupo más abundante ($88-4,544 \text{ cel.mL}^{-1}$) y dominante durante todo el estudio, con la mayor abundancia en la temporada de lluvia. Posteriormente, le siguieron las diatomeas (11 %) con abundancias entre $15-458 \text{ cel.mL}^{-1}$, registrando baja abundancia entre diciembre de 2009 y abril de 2010. Los cocolitofóridos ocuparon el tercer lugar (6,5 %) en abundancia entre $5-261 \text{ cel.mL}^{-1}$, con mayor representatividad en el período de lluvia. Las cianobacterias obtuvieron muy poca representación (0,5 %) y, por último, el grupo "otros" (1 %: clorofitas, criptofitas, euglenofitas y silicoflagelados) tuvieron siempre bajas abundancias ($<20 \text{ cel.mL}^{-1}$; figura 3e). Así, se identificaron 158 especies de fitoplancton: 66 fueron diatomeas; 73, dinoflagelados; tres, cocolitofóridos; cinco, cianobacterias, y 11 especies fueron agrupadas en "otros".

De todos los taxones identificados, 25 especies estuvieron presentes en diez o más muestras, lo que indica las especies residentes. En la tabla 1 se muestran la abundancia media, la frecuencia y la estacionalidad de estas especies. Los dinoflagelados y las diatomeas (16 y 8 especies, respectivamente) fueron los grupos mejor representados. El dinoflagelado *Prorocentrum mexicanum* fue la especie más abundante ($5,458 \text{ cel.mL}^{-1}$), seguido de los cocolitofóridos del grupo *Emiliana-Gephyrocapsa* (806 cel.mL^{-1}). Por otra parte, *Prorocentrum gracile*, el grupo *Emiliana-Gephyrocapsa* y *Prorocentrum cf. lima* fueron las especies más frecuentes (45 %, 43 % y 42 %, respectivamente). De las 25 especies residentes, 23 estuvieron presentes en ambos períodos climáticos. Sin embargo, es importante destacar la presencia de los dinoflagelados *Gymnodinium catenatum* solo en la época de lluvia y *Gyrodinium fusiforme* en sequía.

En la tabla 1 están señaladas además las especies de fitoplancton que forman floraciones algales no tóxicas y las nocivas, así como las especies epibentónicas y las indicadoras de materia orgánica fecal. Los dinoflagelados *Ceratium furca*, *Gonyaulax polygramma* y *Scrippsiella trochoidea* y los cocolitofóridos del grupo *Emiliana-Gephyrocapsa* spp. forman floraciones algales no tóxicas, a diferencia de *G. catenatum*, que constituyó una floración algal nociva durante la época de lluvia, principalmente en junio y julio. Asimismo, durante dicho período de lluvias se observaron organismos de agua dulce, como es el caso de *Anabaena* sp., *Oscillatoria salina*, *Oscillatoria*

sp., *Lyngbia* sp. y una cianobacteria filamentososa.

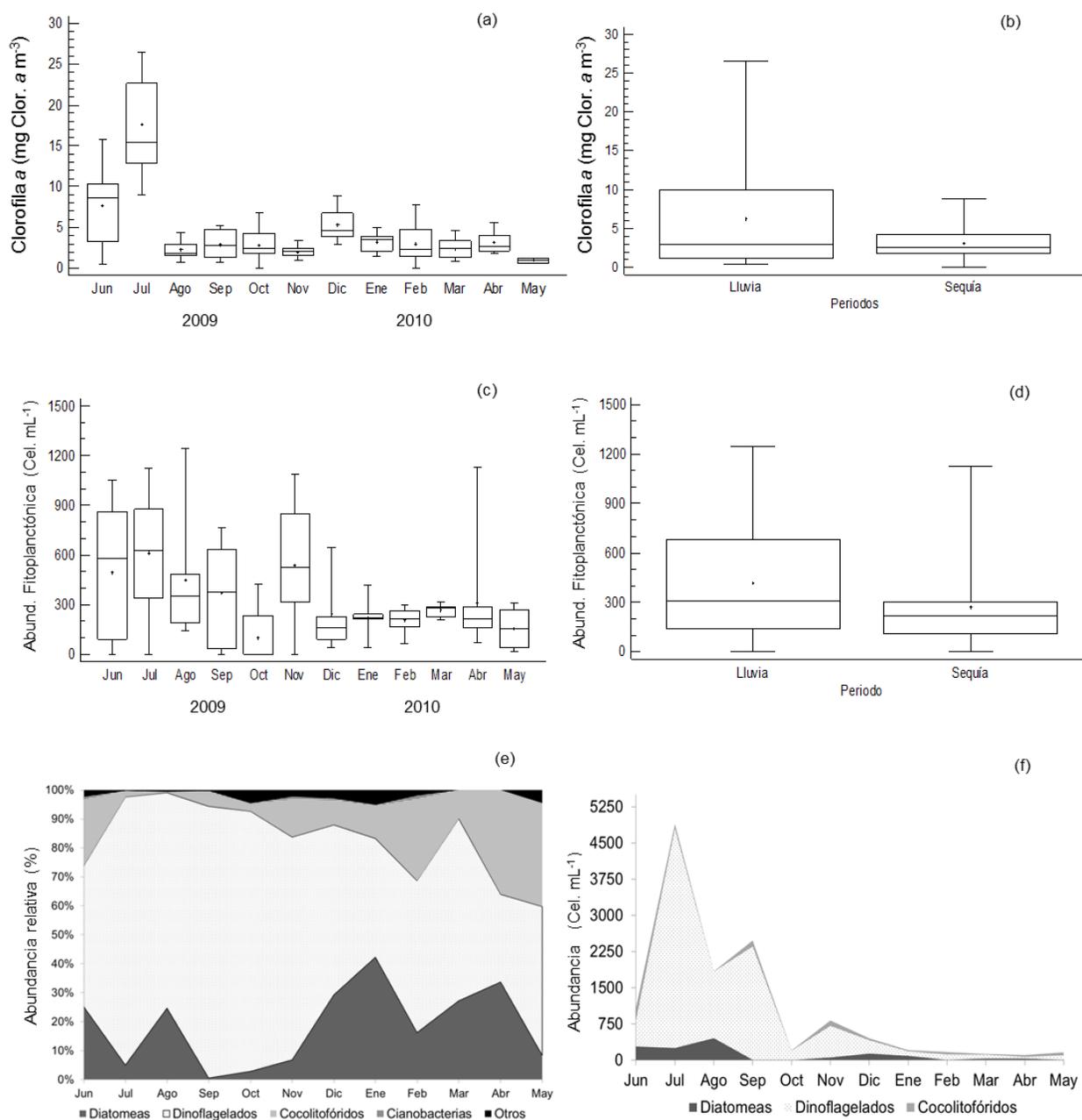


Figura 3. Diagrama de caja mostrando la variación temporal de la clorofila *a* (a, b) y la abundancia fitoplanctónica (c, d), así como la abundancia relativa (%) (e) y la variación temporal de los principales grupos fitoplanctónicos (f) en el extremo oriental del golfo de Cariaco.

Para ilustrar los patrones espacio-temporales, se consideraron los tres grupos taxonómicos de mayor abundancia (dinoflagelados, diatomeas y cocolitofóridos), incluyendo además las especies que proliferaron durante estos meses (figura 3f). De tal forma se observó la presencia de los tres componentes en la época de lluvia, aunque el dominio de los dinoflagelados entre julio y septiembre de 2009 superó el 80 % de la abundancia. Las especies más numerosas en esa época

correspondieron a *P. mexicanum*, *Prorocentrum minimum*, *P. cf. lima*, *Prorocentrum compressum*, *P. gracile*, *G. catenatum*, *S. trochoidea*, *Alexandrium cohorticola* y *Alexandrium monilatum*. Las diatomeas compartieron el dominio con los dinoflagelados, aunque en bajas proporciones, entre junio y agosto; luego, en este último mes disminuyeron los dinoflagelados y aumentaron significativamente las diatomeas, destacándose *Thalassiosira rotula*, *Thalassiosira nordenskioldii*, *Pseudonitzschia*

pseudodelicatissima, *Pseudonitzschia* cf. *lineola*, *Nitzschia fontifuga* y *Leptocylindrus danicus*. Los cocolitofóridos del grupo *Emiliana-Gephyrocapsa*, por su parte, tuvieron el mismo patrón de abundancia que el de los dinoflagelados, aunque con abundancias muy bajas. No obstante, fueron frecuentes y estuvieron presentes en el 70 % de las muestras (figura 3f).

En octubre disminuyó la abundancia de los tres grupos fitoplanctónicos. Sin embargo, dentro de los dinoflagelados se evidenció la presencia de *P.* cf. *lima* en grandes abundancias (165 cel.mL⁻¹). Entre noviembre y febrero, los dinoflagelados volvieron a ser abundantes, y las especies que se destacaron fueron *P. compressum*, *P.* cf. *lima*, *Prorocentrum balticum*, *S. trochoidea* y *A. monilatum*. Durante estos meses, los

dinoflagelados también compartieron el dominio con las diatomeas, especialmente en enero, destacándose *Thalassionema nitzschioides*, *Bacteriastrum* sp., *Coscinodiscus perforatus* y *Cyclotella* sp. (figura 3f).

A finales del período de sequía (febrero a abril), solamente estuvieron presentes, con muy baja abundancia, los dinoflagelados y los cocolitofóridos. Las especies dominantes de dinoflagelados fueron *P. compressum*, *A. monilatum*, *P.* cf. *lima* y *Alexandrium* sp. En el último mes del estudio (mayo de 2010), correspondiente a la temporada de lluvia, dominaron *P. gracile* y *Alexandrium* sp. (figura 3f).

Tabla 1. Abundancia, frecuencia y estacionalidad de las especies de fitoplancton residentes (>10 % de las muestras) en el extremo oriental del golfo de Cariaco (número de muestras: 97; + presencia; - ausencia). (* floraciones algales nocivas; Δ floración algal no tóxica; ● especies meroplanctónicas; ∂ especie indicadora de materia orgánica fecal).

Taxones	Abundancia (cel.mL ⁻¹)	Frecuencia (% aparición)	Período lluvia	Período sequía
Diatomeas				
<i>Coscinodiscus</i> sp.	25	15	+	+
<i>Navicula</i> sp.	41	33	+	+
<i>Nitzschia longissima</i>	16	15	+	+
<i>Nitzschia</i> sp.	17	21	+	+
<i>Pleurosigma</i> sp.	10	16	+	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	74	34	+	+
<i>Thalassiosira</i> sp.	356	25	+	+
Nanodiatomea céntrica	277	11	+	+
Dinoflagelados				
<i>Ceratium furca</i> Δ	168	37	+	+
<i>Ceratium fusus</i>	10	26	+	+
<i>Ceratium lineatum</i>	55	19	+	+
<i>Dinophysis caudata</i>	11	16	+	+
<i>Gonyaulax polygramma</i> Δ	16	11	+	+
<i>Gymnodinium catenatum</i> * ●	171	14	+	-
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	11	11	-	+
<i>Gyrodinium</i> sp.	28	37	+	+
<i>Prorocentrum compressum</i> ●	581	11	+	+
<i>Prorocentrum</i> cf. <i>lima</i> * ●	530	42	+	+
<i>Prorocentrum gracile</i> ●	131	45	+	+
<i>Prorocentrum micans</i> ●	7	13	+	+
<i>Prorocentrum mexicanum</i> * ●	5458	29	+	+
<i>Scrippsiella trochoidea</i> Δ	557	30	+	+
<i>Scrippsiella</i> sp.	96	31	+	+
Cocolitofóridos				
<i>Emiliana-Gephyrocapsa</i> sp. Δ	806	43	+	+
Euglenofitas				
<i>Eutreptiella</i> sp. ∂	32	23	+	+

Para el presente estudio solamente se tomaron en cuenta los copéodos de tamaño mayor que 333 μm. De manera general,

en ambos períodos estos organismos resultaron ser porcentualmente más abundantes, superando numéricamente

al resto de los grupos funcionales del zooplancton en ambas épocas, con abundancia relativa superior al 78 %.

La abundancia total (44,076 ind.m⁻³) de copépodos mostró grandes variaciones temporales (7-4,543 ind.m⁻³). Este grupo presentó cuatro máximos de abundancia, en julio de 2009 (media: 800 ind.m⁻³), septiembre de 2009 (688 ind.m⁻³), enero de 2010 (media: 743 ind.m⁻³) y febrero de 2010 (media: 751 ind.m⁻³). Además, ocurrieron descensos abruptos de abundancia en diciembre y marzo, con valores inferiores a 50 ind.m⁻³ (figura 4). No se hallaron diferencias significativas entre las zonas ni entre los períodos estudiados (F=3,01 y F=0,47, p>0,05).

Se identificaron 46 especies de copépodos, de las que solamente 16 estuvieron presentes en más del 50 % de las muestras y se consideraron como especies residentes. En la tabla 2 se muestran la abundancia, la frecuencia y la estacionalidad de dichas especies residentes. El orden Calanoida (siete especies) fue el grupo mejor representado. Dentro de este orden, *Acartia tonsa* fue la especie más abundante y frecuente

(85,86 %), seguida, con gran diferencia, por *Temora turbinata*, alcanzando un porcentaje de aparición del 22,52 % en la época de sequía. Las especies del orden Cyclopoida estuvieron representadas en muy bajas proporciones (<2 %), tanto en lluvia como en sequía.

De estas especies residentes, solamente cinco (*A. tonsa*, *T. turbinata*, *Paracalanus quasimodo*, *Subeucalanus subcrassus* y *Subeucalanus subtenuis*) se destacaron por su mayor abundancia y frecuencia. *A. tonsa*, como se mencionó, fue la especie más abundante en ambos períodos. Sin embargo, se contabilizó un ligero incremento en la abundancia total en el período de lluvia (17,354 ind.m⁻³). A esta le siguió, con una gran diferencia, *T. turbinata*, con abundancias totales mayores en sequía (5,008 ind.m⁻³). El tercer lugar le correspondió a *P. quasimodo*, con abundancia similar en ambos períodos. *S. subcrassus* y *S. subtenuis* ocuparon el cuarto y el quinto lugares en abundancia, y sus valores fueron muy similares en las épocas climáticas, si bien se apreció un ligero aumento en lluvia para ambas especies.

Tabla 2. Abundancia media, frecuencia y estacionalidad de las especies de copépodos residentes (>50 % de las muestras) en el extremo oriental del golfo de Cariaco (número de muestras: 97).

Especies	Período lluvia (ind.m ⁻³)	Frecuencia (% aparición)	Período sequía (ind.m ⁻³)	Frecuencia (% aparición)
Calanoida				
<i>Acartia tonsa</i>	17,354	85,86	15,741	70,79
<i>Centropages velificatus</i>	116	0,57	39	0,18
<i>Subeucalanus subcrassus</i>	164	0,81	93	0,42
<i>Subeucalanus subtenuis</i>	174	0,86	95	0,42
<i>Paracalanus aculeatus</i>	100	0,49	96	0,43
<i>Paracalanus quasimodo</i>	496	2,45	474	2,13
<i>Temora turbinata</i>	1,201	5,94	5,008	22,52
Poecilostomatoida				
<i>Agetus typicus</i>	19	0,09	51	0,23
<i>Corycaeus clausi</i>	44	0,22	22	0,10
<i>Corycaeus speciosus</i>	193	0,95	82	0,37
<i>Ditrichocorycaeus amazonicus</i>	94	0,47	140	0,63
<i>Onychocorycaeus catus</i>	89	0,44	120	0,54
Cyclopoida				
<i>Oithona nana</i>	63	0,31	5	0,02
<i>Oithona plumifera</i>	7	0,03	182	0,82
<i>Oithona setigera</i>	54	0,27	82	0,37
<i>Oithona similis</i>	44	0,22	7	0,03

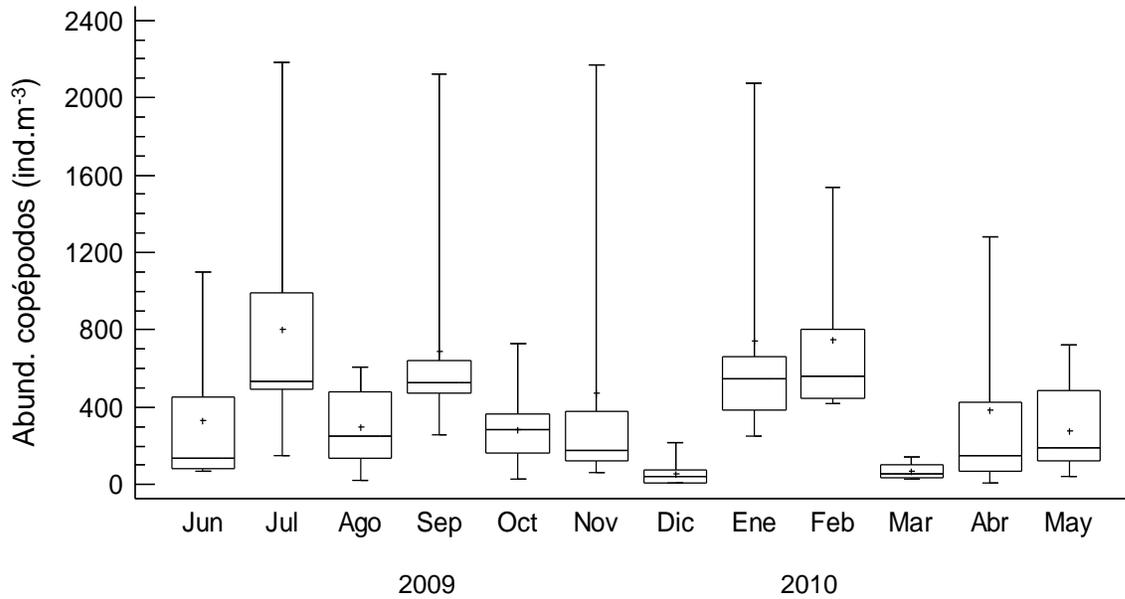


Figura 4.- Diagramas de caja de la variación temporal de la abundancia de copépodos en el extremo oriental del saco del golfo de Cariaco.

Relaciones entre clorofila *a*, fitoplancton y copépodos

Al inicio del período de lluvia, se pudo observar una concentración elevada de *Cl-a* que coincidió con una baja concentración de nitrato, fosfato y silicato. A partir de agosto se detectaron los valores más altos de los nutrientes, con una disminución de los silicatos en sequía, coincidiendo con los valores bajos de *Cl-a*. Los nitratos y los fosfatos presentaron valores fluctuantes durante la sequía (figura 5a).

La abundancia fitoplanctónica y de copépodos estuvo relacionada con la concentración de *Cl-a*, que fue tomada como el índice de floración o *bloom* algal (figura 5b). A principios de la época de lluvia, la *Cl-a* y la abundancia fitoplanctónica y de copépodos mostraron la misma tendencia, registrando valores elevados. A partir de agosto de 2009, las concentraciones de *Cl-a* disminuyeron hasta el final del estudio. Sin embargo, la abundancia fitoplanctónica y los copépodos se mantuvieron altos, con fluctuaciones en la mayoría de los meses, a excepción de diciembre de 2009 y marzo de 2010, cuando la abundancia de copépodos descendió notablemente.

En julio de 2009 ocurrió el único *bloom* algal durante el período de estudio. En este mes la concentración de *Cl-a* registró los valores máximos, con fluctuaciones entre 11,53-26,5 mg.m⁻³, superando el umbral de 20 mg.L⁻¹ para colorear el agua y definir

una floración algal nociva (FAN) según Padmakumar (2010).

Durante este *bloom*, las abundancias fitoplanctónica y de copépodos fueron relativamente altas, manteniendo la dominancia de los dinoflagelados y los copépodos. Sin embargo, un segundo pico de abundancias fitoplanctónica y de copépodos se alcanzó en noviembre de 2009, mientras que la concentración de *Cl-a* fue baja.

Se relacionaron las especies *G. catenatum*, *P. cf. lima* y *P. mexicanum* que forman floraciones algales nocivas con la abundancia y riqueza de los copépodos (figura 5c). Las abundancias de estos dinoflagelados oscilaron entre 2-3,000 cel.mL⁻¹. *P. mexicanum* y *G. catenatum* florecieron solamente en el período de lluvia. La primera especie fue abundante en julio de 2009 (3,018 cel.mL⁻¹) y en septiembre (1,966 cel.mL⁻¹), mientras que la segunda solamente se encontró al inicio de lluvia (junio-julio de 2009). El dinoflagelado *P. cf. lima* se desarrolló tanto en lluvia como en sequía; no obstante, su abundancia mayor ocurrió en lluvia (agosto de 2009).

En general, en julio y agosto 2009 se observó una relación inversa, donde la abundancia de los dinoflagelados tóxicos y la de los copépodos fueron altas, mientras que la riqueza fue relativamente baja, lo que se debe a la dominancia de más del 90 % de *A. tonsa* y *T. turbinata*.

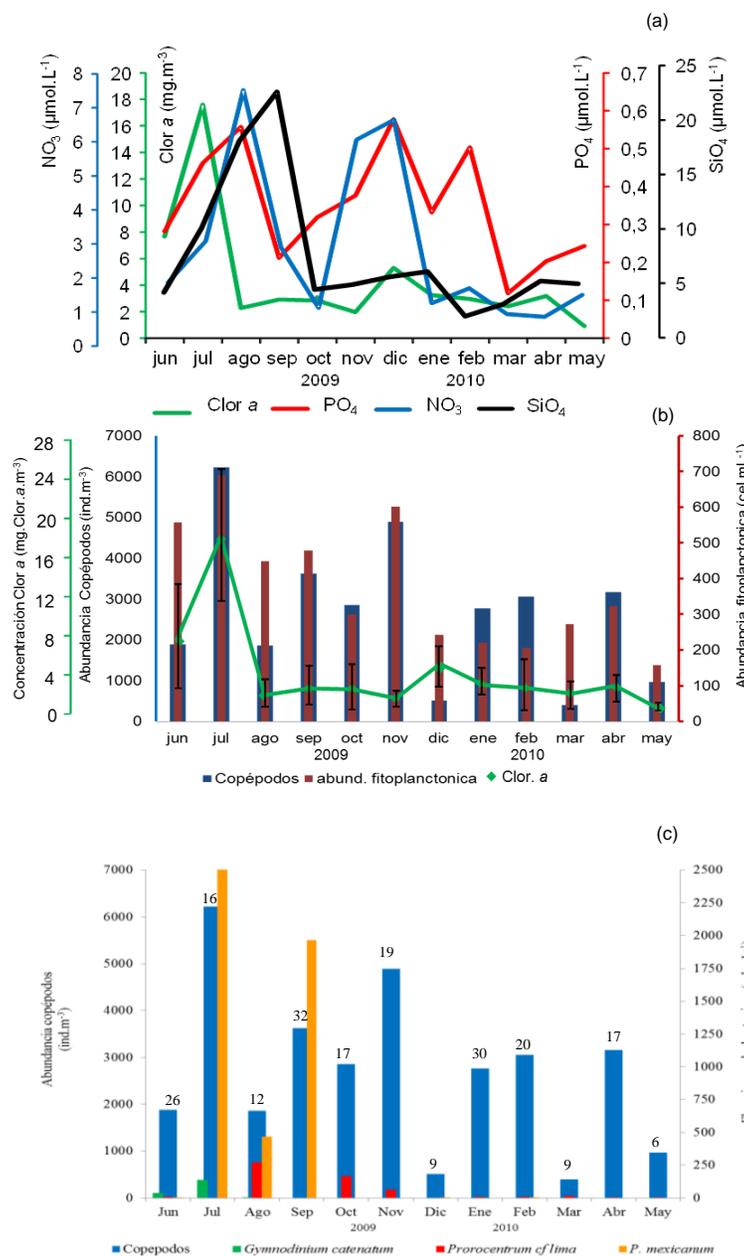


Figura 5. (a) Variación temporal de la cl-*a* superficial (mg.m⁻³) con los nutrientes, la abundancia mesozooplancónica (ind.m⁻³) y la abundancia fitoplanctónica (cel.mL⁻¹) (b), y (c) relación temporal de la abundancia de las floraciones algales nocivas con la abundancia y riqueza de los copépodos en el extremo oriental del golfo de Cariaco de junio de 2009 a mayo de 2010.

En la temporada de lluvias, el ACP mostró una varianza acumulada del 96 % en los tres primeros componentes. En el componente I, la correlación entre *A. tonsa*, *P. mexicanus*, *G. catenatum* y Cl-*a* es positiva, mientras que en el componente II hay correlación entre *T. tubinata* y *P. cf. lima* (figura 6a).

En la época seca el ACP mostró una varianza acumulada de 97

% en los tres primeros componentes.

En el componente I, la correlación es positiva entre *A. tonsa* y *P. cf. lima*, mientras que es negativa con la concentración de Cl-*a*. En el segundo componente, se halló correlación entre *T. tubinata* y *P. cf. lima* (figura 6b).

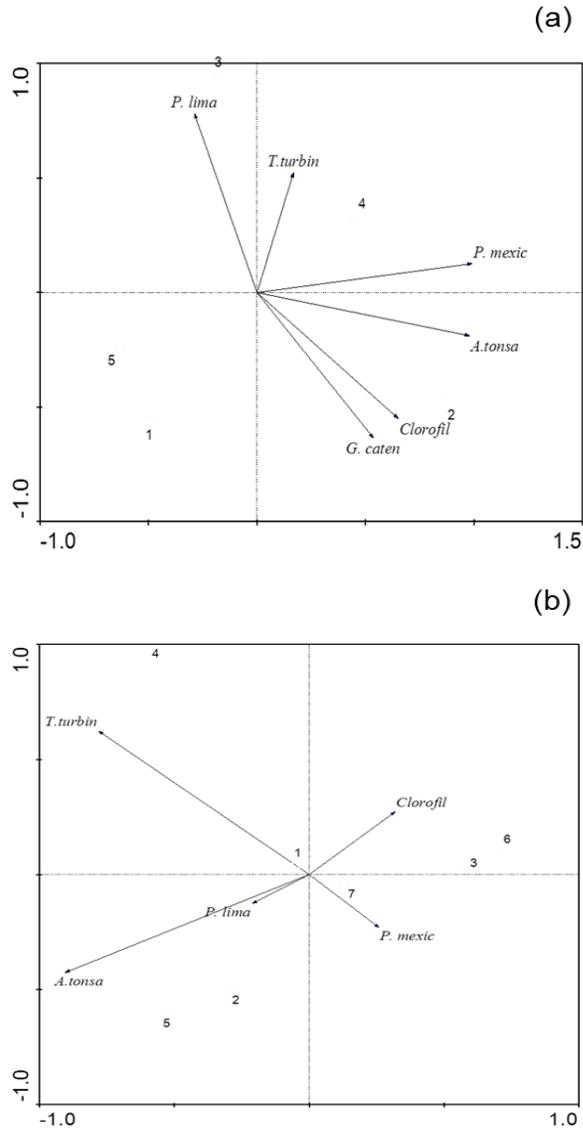


Figura 6. (a) Proyección ortogonal de los dos primeros componentes entre las especies fitoplanctónicas tóxicas, clorofila a y abundancia de copépodos en el período de lluvia y (b) para el período seco, en el extremo oriental del golfo de Cariaco de junio de 2009 a mayo de 2010.

Discusión

Las variaciones temporales y espaciales de la salinidad en el extremo oriental del golfo de Cariaco fueron descritas por Okuda *et al.* (1978a) y más recientemente por Martínez *et al.* (2011). La disminución de los valores de salinidad se debió principalmente a las precipitaciones acontecidas en el presente estudio entre junio y octubre de 2010 (época de lluvias), las cuales incrementan los caudales de los ríos Carinicua y Cariaco, afectando directamente a la zona 1.

Las concentraciones altas de oxígeno disuelto en la época de lluvias en las zonas 1 y 2 coincidieron con lo reportado por Okuda *et al.* (1978a) para el golfo de Cariaco. De igual manera, estas concentraciones altas de oxígeno disuelto en la superficie coincidieron a su vez con aumento de la temperatura. Por su parte, Martínez *et al.* (2011), en la zona oriental del golfo, reportaron valores semejantes ($2,97-9,87 \text{ mL.L}^{-1}$) a los detectados en la presente investigación. Por otro lado, los valores altos en sequía en la zona 3 podrían estar asociados con procesos de intercambio atmósfera-océano debido a la mayor intensidad de los vientos para ese lapso, ya que no se observó asociación con la intensidad de la actividad fotosintética, cuantificada esta última a través de las concentraciones de Cl-*a*.

En general, los mayores registros de las concentraciones de fosfatos se detectaron en sequía, coincidiendo con lo expuesto por Okuda *et al.* (1978a), quienes sugirieron que la renovación de las aguas del golfo se asocia con concentraciones elevadas de fosfato. Estos resultados también se ajustan a lo indicado por Kato (1961), quien afirmó que el golfo de Cariaco posee fosfatos elevados ($1-1,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$) debido a los sedimentos ricos de materia orgánica.

Las diferencias en la baja concentración de fosfatos registrada por Martínez *et al.* (2011) para la misma zona de estudio y la de este trabajo, según Okuda *et al.* (1978b), son complejas de explicar. Estos autores señalaron que es difícil dilucidar las variaciones horizontales ya que la estacionalidad en la disponibilidad del fosfato de las aguas superficiales está influenciada por la surgencia, las lluvias y las descargas de los ríos, así como por la oxigenación de las aguas, que por turbulencia y deficiencia de oxígeno promueve la transformación de fosfato a su forma reducida soluble en agua. Por otro lado, Thomas (1969) sugiere que concentraciones de $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$ son suficientes para mantener el crecimiento fitoplanctónico (los valores de la concentración de este nutriente fueron superiores en este estudio). Por lo demás, durante el desarrollo de la floración algal en este estudio (junio-julio de 2009) se registró un aumento en la concentración de Cl-*a* y de oxígeno disuelto y una disminución en la concentración de formas inorgánicas de nutrientes (principalmente fosfatos), sugiriendo una reducción o agotamiento por su incorporación en la biomasa algal (Springer *et al.*, 2005).

Las concentraciones elevadas de silicato en la época de lluvias confirmarían la naturaleza terrígena de este nutriente, debido a las precipitaciones y el drenaje terrestre. Las concentraciones elevadas durante la temporada de lluvias se registraron

principalmente en las zonas 2 y 3, mientras que en la época de sequía ocurrió lo contrario. Según Maybeck (1979), el silicio disuelto es el mayor constituyente en el agua de río, representando un 10 % del total de sólidos disueltos. Asimismo, el óxido de silicio es conocido por ser una parte esencial en las estructuras sólidas de los silicoflagelados, diatomeas, algunos radiolarios y esponjas.

La abundancia fitoplanctónica más elevada detectada en el período de lluvias ($37\text{-}1,247\text{ cel.mL}^{-1}$) es comparativamente inferior ($645\text{-}4,322$ y $1,174\text{-}2,300\text{ cel.mL}^{-1}$) a las señaladas por Ferraz-Reyes *et al.* (1987) y La Barbera-Sánchez *et al.* (1999) para el mismo golfo. Estas diferencias pueden ser atribuidas a la sucesión del fitoplancton, cuya composición florística fue dominada por las diatomeas, seguidas de los dinoflagelados en los trabajos mencionados anteriormente. Al contrario, en la presente investigación la dominancia correspondió a los dinoflagelados, la cual está condicionada a los valores altos de fosfatos provenientes de los aportes del río Carinicua y de las aguas servidas de la zona. En ese sentido, el crecimiento de las diatomeas está limitado por la turbidez inducida por los aportes del río, que limitan la penetración de la luz, promoviendo la sustitución de diatomeas por otras especies como dinoflagelados oportunistas. Flöder y Sommer (1999) mencionaron que las perturbaciones hidrodinámicas producen una disminución en la diversidad de organismos en una localidad dada, tal y como ocurrió en la presente investigación con la dominancia de *P. mexicanum*, *P. compressum* y *P. cf. lima*.

La presencia de dinoflagelados típicamente bentónicos como *P. cf. lima*, *P. mexicanum* y *P. compressum* en la columna de agua sugiere que, por efecto de turbulencia, se promueve su desplazamiento a la capa superficial en condiciones de disponibilidad de nutrientes. Estos organismos, considerados potencialmente tóxicos, son abundantes en zonas coralinas (Fukuyo, 1981; Gamboa-Márquez *et al.*, 1994; Sánchez-Suárez, 1994), en zonas de manglares e inclusive en superficies de desechos plásticos de las zonas costeras (Valerio-González y Díaz-Ramos, 2007; Navarro-Vargas *et al.*, 2014). Asimismo, se confirma la tolerancia de estos dinoflagelados epífitos a intervalos amplios de salinidad, por la presencia de ellos en las dos épocas estudiadas. Por otra parte, Sahraoui *et al.* (2013) indicaron que los *blooms* de *Prorocentrum* spp. pueden ocurrir principalmente en aguas eutróficas caracterizadas por alta concentración de Cl-*a*, con un ligero incremento de las precipitaciones y por tanto de los aportes de nutrientes (eutrofización natural), coincidiendo con lo reportado en la

presente investigación.

E. huxleyi y *G. oceanica* aparecen como las especies involucradas en la mayoría de las floraciones de cocolitofóridos mundial y se consideran cosmopolitas (Tyrell y Merico, 2004). Ciertas investigaciones recientes muestran que estas especies tienen una alta variabilidad genética, posiblemente con diferentes respuestas fisiológicas a diferentes condiciones oceanográficas (Brand, 1982; Hernández-Becerril *et al.*, 2007). La mayor abundancia en lluvia de los cocolitofóridos *Emiliania-Gephyrocapsa* coincide con lo mencionado anteriormente, ya que toleran grandes variaciones de temperatura y salinidad. Por su parte, Rhodes *et al.* (1995) sostuvieron que el mayor número de *E. huxleyi* se asocia a una fuente de agua dulce con altos niveles de silicato. De igual manera, Honjo (1976) ha señalado que la especie *G. oceanica* puede vivir en una gran variedad de hábitats, incluso en aguas empobrecidas o eutrofizadas, como es el caso del saco del golfo de Cariaco.

Además, se detectaron en este estudio especies fitoplanctónicas de agua dulce (*Anabaena* sp., *O. salina* y *Oscillatoria* sp.) durante el período de lluvias (junio, julio y septiembre de 2009), que son consideradas indicadores de la influencia de aguas continentales en esta zona.

Los dinoflagelados *P. mexicanum*, *P. minimum*, *P. gracile* y *G. catenatum*, reportados en la única proliferación algal en julio de 2009, han sido considerados como potencialmente tóxicos, y muchos de ellos se asocian a brotes de ciguatera en diferentes áreas subtropicales y tropicales (Band-Schmidt *et al.*, 2011; Hernández-Becerril, 2014). Sin embargo, en la costa nororiental de Venezuela, *P. cf. lima* ha sido el dinoflagelado epífito más frecuente y abundante y causante de *bloom* (Valerio-González y Díaz-Ramos, 2007).

Las especies de dinoflagelados que se han registrado como causantes de FAN en el golfo de Cariaco son: *Protogonyaulax tamarensis* (= *Alexandrium tamarensis*), *Protogonyaulax catenella* (= *A. catenella*), *G. catenatum*, *Pyrodinium bahamense*, *Noctiluca scintillans*, *Cochlodinium* sp., *Gonyaulax cf. sousa*, *Gonyaulax monilata* y otras especies de *Gonyaulax* y *Alexandrium* no identificadas (Ferraz-Reyes *et al.*, 1985; La Barbera-Sánchez *et al.*, 1991a,b). Por lo tanto, se adicionan *P. cf. lima*, *P. mexicanum*, *P. minimum* y *P. gracile*. En ese marco, es importante señalar que en el golfo, durante la temporada de lluvias, se generan las FAN, debido al aporte de nutrientes y, además, al mayor tiempo de residencia, que es uno de los factores que activan su formación.

La estabilidad de las aguas está influenciada acusadamente por la temperatura y la salinidad de las aguas superficiales debido a las lluvias y el drenaje de los ríos. Todos ellos son factores que determinan una fuerte estratificación, a la vez que establecen las condiciones favorables para la aparición de las FAN. Esto pudo ocurrir en la zona de estudio de la presente investigación, ya que estos factores posiblemente contribuyeron a la formación de la única FAN durante junio y julio de 2009 (época de lluvia). Ahora bien, dado que el muestreo fue puntual, no se conocen más detalles de su duración, extensión, ni magnitud, por lo que se requeriría más de un año de estudio para reafirmar la influencia de tales factores.

La composición porcentual dominada por los copépodos en ambos períodos coincide con lo reportado anteriormente, como el grupo más relevante del zooplancton por lo general, representado por el 60 % y el 95 % de la biomasa y la densidad total (Ruíz-Pineda *et al.*, 2016; Esquivel-Garrote *et al.*, 2020). La presencia y la abundancia de *A. tonsa*, *T. turbinata* y *P. quasimodo* coinciden con los antecedentes sobre los copépodos dominantes en la zona NE de Venezuela, fosa de Cariaco y golfo de Cariaco (Márquez-Rojas *et al.*, 2020), así como del mar Caribe general y Caribe suroriental (Legaré, 1964; Michael y Foyo, 1976) y sur del golfo de México (Campos-Hernández y Suárez-Morales, 1994; Ruíz-Pineda *et al.*, 2016). Por su parte, *A. tonsa* ha sido reportada como una especie que presenta un amplio ámbito de tolerancia de salinidad y temperatura (Ordóñez-López y Ornelas-Roa, 2003; Martínez-Barragán *et al.*, 2009). De igual manera, ha sido registrada con gran éxito en medios con altos contenidos de material vegetal debido a su capacidad omnívora, la cual le permite ingerir grandes células de fitoplancton que son comunes en medios con influencia de aguas continentales, y controlar a sus competidores potenciales depredando a sus nauplios y copepoditos (Paffenhöfer, 1991).

Varios estudios han investigado el efecto de los copépodos herbívoros en la dinámica de las FAN, así como los efectos de las FAN en las poblaciones de herbívoros (Turner y Tester, 1997). También se sabe que algunos copépodos consumen y controlan directamente las floraciones tóxicas (Watras *et al.*, 1985; Uye, 1986), y otros evitan la ingestión de algas tóxicas (Poulet y Marsot, 1978; Huntley *et al.*, 1983) o están fisiológicamente incapacitados para pastorear especies tóxicas (Ives, 1985; Sykes y Huntley, 1987). Asimismo, diversos estudios (Turner y Tester, 1997; Breier y Buskey, 2007; Lasley-Rasher *et al.*, 2016) han encontrado que copépodos herbívoros alimentados con algas tóxicas experimentan disminución del pastoreo (incapacidad

fisiológica, comportamiento evasivo o falta de estimulación) y disminución de la fecundidad (efecto tóxico *versus* efecto nutricional).

La riqueza baja de los copépodos durante la única floración algal en este estudio podría tener su explicación de acuerdo a la hipótesis de evasión, la cual sugiere que los copépodos que han tenido exposición previa a algas tóxicas han aprendido a evitar la ingestión de especies tóxicas o nutricionalmente inadecuadas. Por ejemplo, en el estudio de Turner y Tester (1989), *A. tonsa* ingirió preferentemente la diatomea *Skeletonema* y evitó la ingestión del dinoflagelado tóxico *Karenia brevis* cuando la diatomea estaba presente en el ensamblaje de la floración. Sin embargo, en el estudio de Breier y Buskey (2007) esta hipótesis no explica la disminución del pastoreo, ya que no se encontró diferencia en el pastoreo o la fecundidad entre los copépodos de *A. tonsa* alimentados con dietas mixtas de los dinoflagelados *K. brevis* y *Peridinium foliaceum* y los copépodos alimentados con 100 % de *P. foliaceum*. Por lo tanto, se cree que la falta de evasión de *K. brevis* supone que no es tóxico para *A. tonsa*.

En diversos estudios (Turner *et al.*, 1998; Teegarden, 1999) en los que *A. tonsa* experimentó efectos fisiológicos tóxicos por dinoflagelados, este organismo demostró ser muy bueno para distinguir químicamente entre algas nocivas y nutricionalmente viables. Esto concuerda con lo encontrado en el presente estudio, donde aparentemente los dinoflagelados *P. mexicanum* y *G. catenatum* no son tóxicos para *A. tonsa*, ya sea porque no los reconoció como una fuente de alimento o porque no es una fuente de alimento nutritivamente viable. De igual manera, Turner (2014) mantiene que los copépodos discriminan sus presas, como es el caso de *A. tonsa* y *T. turbinata*, por lo que habría que considerar que en el golfo de Cariaco las especies de copépodos estudiadas tienen afinidad a diferentes especies del fitoplancton. En ese sentido, *A. tonsa* y *T. turbinata* tendrían diferencias en la preferencia de consumo de especies comunes en el golfo como *G. catenatum* y las especies de *Prorocentrum* detectadas en el estudio, corroborado con los resultados del ACP.

Los copépodos cumplen un rol importante en la dinámica de las floraciones algales: pueden actuar como iniciadores de floración cuando al principio de una FAN evitan de forma selectiva el pastoreo de especies tóxicas y pastan activamente sobre otras algas de la floración (Teegarden, 1999; Teegarden *et al.*, 2001). También se encuentran los copépodos que pastan activamente en una especie tóxica sin efectos nocivos y suprimen la floración, especialmente en su inicio (Uye, 1986; Jeong, 1994). Asimismo,

se han reportado copépodos que experimentan un efecto tóxico que fisiológicamente previene el pastoreo en cualquier fitoplancton (Ives 1985; Huntley *et al.*, 1986), y los copépodos que no reconocen las algas como fuente de alimento, teniendo poco impacto en la floración.

Durante el muestreo de julio de 2009 en la zona de estudio, se observó espuma de color café oscuro distribuida en forma de franjas. Esta espuma es el resultado de la presencia de los dinoflagelados *Prorocentrum* spp. y, más específicamente, *P. mexicanum*, en una concentración superior a 2,500 cel.mL⁻¹, por lo que posiblemente se encontraba en desarrollo una floración algal de este dinoflagelado. *P. mexicanum*, en particular, es una especie cosmopolita, nerítica y estuarina en aguas tropicales y subtropicales con hábitat epibentónico (Cortés-Altamirano y Sierra-Beltrán, 2003; Coello *et al.*, 2010). Produce las toxinas hemolíticas y envenenamiento diarreico por consumo de mariscos (Aligizaki *et al.*, 2009; Hoppenrath *et al.*, 2013). Está asociada a eventos de mareas rojas en la bahía de Mazatlán (Cortés-Altamirano y Licea-Durán, 1999) y en la bahía de La Paz, Pacífico mexicano (Muciño-Márquez *et al.*, 2015), así como en aguas cubanas (Moreira-González, 2013) y en diferentes zonas costeras (Fukuyo *et al.*, 2003).

Otro dinoflagelado que causa efectos nocivos es *G. catenatum*, productor de toxinas paralizantes que ha sido asociado con eventos tóxicos en diversas partes del mundo, y además principal productos de las conocidas mareas rojas (Band-Schmidt *et al.*, 2010). Existen pocos registros sobre las condiciones físicas y químicas de los diversos ecosistemas relacionados con las FAN de *G. catenatum* en Venezuela (La Barbera-Sánchez y Gamboa-Márquez, 2001). Sin embargo, La Barbera-Sánchez *et al.* (2004) identificaron químicamente las toxinas causantes de un brote de PSP en Venezuela en mejillones en isla Margarita, confirmando la presencia de decarbamoyl saxitoxina (dcSTX) y decarba-moylgonyatouxin (dcGTX). Además, se puede mencionar que esta especie tolera un amplio intervalo de temperatura, salinidad y proporciones de N:P, lo que probablemente ha permitido su amplia distribución en el mundo (Band-Schmidt *et al.*, 2011).

Durante la FAN ocurrida en el golfo de Cariaco en el transcurso del presente estudio, existe una correlación positiva entre los máximos de abundancia del copépodo calanoide dominante *Acartia tonsa* y una mayor presencia de dinoflagelados, en particular de las especies productoras de toxinas paralizantes (PSP, por sus siglas en inglés), lo cual podría indicar un papel clave de *A. tonsa* como pastoreador natural sobresaliente en el medio natural. Esta especie es capaz de ingerir y utilizar

dinoflagelados tóxicos sin sufrir efectos letales aparentes (Guisande *et al.*, 2002). Así mismo, estos efectos pueden variar en función del tipo de toxina y de la capacidad de tolerar la ingesta de la especie tóxica o de evadirla (Colin y Dam, 2002a).

Las afirmaciones anteriores fueron confirmadas por Palomares-García *et al.* (2006) con el copépodo dominante *A. clausi* en la Bahía de Concepción. Este organismo es capaz de ingerir el dinoflagelado *G. catenatum*, productor de toxinas PSP, sin mostrar efectos adversos en la fecundidad, la tasa de eclosión ni la mortalidad en el corto plazo. De igual manera, Frangópulos *et al.* (2000) encontraron que *A. clausi* puede eliminar hasta 44 % de la ingesta diaria de toxinas y derivar alrededor de solo 1 % de estas hacia los huevos. En cambio, notaron un efecto negativo sobre la fecundidad y la producción de huevos en *A. clausi* cuando es alimentado con el dinoflagelado productor de toxinas PSP *Alexandrium minimum*, y sugieren que esta especie podría tener un umbral en su capacidad de asimilación de toxinas. Según Dutz (1998), esto puede deberse a que, al ingerir células con un mayor contenido de toxinas, parte de la energía obtenida es derivada a metabolizar o eliminar la toxina, y por tanto queda una menor cantidad de energía para la producción de huevos.

En definitiva, las especies de algas tóxicas usan defensas químicas o sustancias tóxicas para dañar a los consumidores herbívoros, conduciendo a la inanición o muerte de las poblaciones de estos últimos, lo cual puede tener un efecto cascada sobre la cadena trófica. En otros casos, cuando las especies tóxicas son consumidas por copépodos u otros herbívoros planctónicos, estos consumidores primarios pueden actuar como un vector de toxinas a través de la cadena trófica marina. No obstante, la FAN de color café oscuro reportada en el golfo de Cariaco durante la época de lluvias no pareció producir toxinas mortales, por lo que no se observaron organismos muertos flotando, ni tampoco hubo reportes oficiales de muertes de organismos.

En el golfo de Cariaco coexisten permanentemente el dinoflagelado tóxico *G. catenatum* y el copépodo *A. tonsa*, y dada la abundancia de este último, los resultados sugieren que el pastoreo de este copépodo podría desempeñar un papel relevante en el control de las poblaciones de *G. catenatum* y otros dinoflagelados. Esta afirmación se sustenta en la capacidad del copépodo para utilizar la gran calidad nutritiva del dinoflagelado (Colin y Dam, 2002b) sin presentar efectos adversos, dentro de ciertos límites. Por lo tanto, es recomendable hacer monitoreos regulares de la ocurrencia de estas microalgas tóxicas y de la presencia de toxinas en el agua.

También es importante medir la producción zooplanctónica y los moluscos en relación con *blooms* algales, para detener el impacto negativo de las FAN a los ecosistemas marinos y a la cadena trófica.

Hasta la fecha no hay manera de prevenir la ocurrencia de las FAN ya que son consecuencia de una compleja interacción entre factores químicos, físicos y biológicos que actúan a diferentes escalas espaciotemporales. Las FAN en el golfo de Cariaco han ocurrido históricamente, constituyendo un problema económico y social para las comunidades costeras afectadas. Se han realizado programas de monitoreo de las FAN y sus toxinas en el estado Sucre de Venezuela, reduciendo el riesgo de envenenamiento en la población. Sin embargo, todavía falta mucha más información que dé cuenta del efecto de estas microalgas sobre la cadena trófica marina. Por lo tanto, es importante continuar con monitoreos a largo plazo, que incluyan el mantenimiento de investigación científica multidisciplinaria con la colaboración de actores políticos y el público en general.

Hasta la fecha no hay manera de prevenir la ocurrencia de las FAN ya que son consecuencia de una compleja interacción entre factores químicos, físicos y biológicos que actúan a diferentes escalas espaciotemporales. Las FAN en el golfo de Cariaco han ocurrido históricamente, constituyendo un problema económico y social para las comunidades costeras afectadas. Se han realizado programas de monitoreo de las FAN y sus toxinas en el estado Sucre de Venezuela, reduciendo el riesgo de envenenamiento en la población. Sin embargo, todavía falta mucha más información que dé cuenta del efecto de estas microalgas sobre la cadena trófica marina. Por lo tanto, es importante continuar con monitoreos a largo plazo, que incluyan el mantenimiento de investigación científica multidisciplinaria con la colaboración de actores políticos y el público en general.

Conclusiones

Durante el curso de este estudio (junio de 2009 y mayo de 2010) se observó una sola floración algal durante el período de lluvia, dominada por los dinoflagelados. *P. mexicanum* y *G. catenatum* florecieron solamente en el período de lluvia, mientras que *P. cf. lima* se desarrolló tanto en lluvia como sequía. Sin embargo, su abundancia mayor ocurrió en lluvia. Se observó una correlación positiva entre los máximos de abundancia de *A. tonsa* y *T. turbinata* con la mayor presencia de dinoflagelados tóxicos. No obstante, se registró una baja riqueza de copépodos debido a la dominancia de más del 90 % de *A. tonsa* y *T. turbinata*.

Aparentemente, *A. tonsa* es capaz de ingerir estos dinoflagelados y utilizarlos sin sufrir efectos deletéreos aparentes.

Referencias

- Aligizaki, K., Nikolaidis, G., Katikou, P., Baxevanis, A.D. y Abatzopoulos, T.J. 2009. Potentially toxic epiphytic *Prorocentrum* (Dinophyceae) species in Greek coastal waters. *Harmful Algae* 8(2): 299-311. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.07.002>.
- Anderson, D.M., Andersen, P., Bricelj, V.M., Cullen, J.J. y Jack Rensel, J.E. 2001. Monitoring and management strategies for harmful algal blooms in coastal waters. *Intergovernmental Oceanographic Commission Technical Series*. Unesco, Paris.
- Anderson, D.M., Cembella, A.D. y Hallegraeff, G.M. 2012. Progress in Understanding Harmful Algal Blooms: Paradigm Shifts and New Technologies for Research, Monitoring, and Management. *Annual Review of Marine Science* 4: 143-76. Doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120308-081121>.
- Band-Schmidt, C.J., Bustillos-Guzmán, J.J., Gárate-Lizárraga, I., López-Cortés, D.J., Núñez-Vázquez, E.J. y Hernández-Sandoval, F.E. 2010. Ecological and Physiological Studies of *Gymnodinium catenatum* in the Mexican Pacific: A Review. *Marine Drugs* 8(6): 1935-61. Doi: <https://doi.org/10.3390/md8061935>.
- Band-Schmidt, C.J., Bustillos-Guzmán, J.J., López-Cortés, D.J., Núñez-Vázquez, E. y Hernández-Sandoval, F.E. 2011. El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica* 21(3): 381-413.
- Benedetti, F., Vogt, M., Righetti, D., Guilhaumon, F. y Ayata, S.D. 2018. Do functional groups of planktonic copepods differ in their ecological niches? *Journal of Biogeography* 45(3): 604-16.
- Bérard-Therriault, L., Poulin, M. y Bossé, L. 1999. *Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du Golfe du Saint-Laurent*. CNRC, Ottawa.
- Bradford-Grieve, J., Markoseva, E., Rocha, C. y Abichi, B. 1999. Copepoda. En: Boltovskoy, D., Editor. *South Atlantic Zooplankton*. Leiden: Backhuys Publishers, Kerkwerve
- Brand, L.E. 1982. Genetic variability and spatial patterns of genetic differentiation in the reproductive rates of the marine coccolithophorids *Emiliania huxleyi* and *Gephyrocapsa oceanica*. *Limnology and Oceanography* 27: 236-45.
- Breier, C.F. y Buskey, E.J. 2007. Effects of the red tide

- dinoflagellate, *Karenia brevis*, on grazing and fecundity in the copepod *Acartia tonsa*. *Journal of Plankton Research* 29(2): 115-26. Doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbl075>.
- Campos-Hernández, A. y Suárez Morales, E. 1994. Copépodos pelágicos del golfo de México y mar Caribe. 1. Biología y Sistemática. Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQROII), Conacyt, México.
- Caraballo, M. 1982. El golfo de Cariaco. Parte I. Morfología y batimetría submarina. Estructuras y tectonismo reciente. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 21(1-2): 13-35.
- Cloern, J.E. y Dufford, R. 2005. Phytoplankton community ecology: principles applied in San Francisco Bay. *Marine Ecology Progress Series* (285): 11-28.
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling Techniques*. Wiley, New York.
- Coello, D., Cajas, J., Macías, P. y Lindao, J. 2010. Floración algal ocasionada por *Prorocentrum mexicanum* en el canal de Jambelí. *Revista Ciencias Marinas y Limnología* 4(1): 25-33. Doi: <https://doi.org/10.31876/rcm.v11i1.35>.
- Colin, S.P. y Dam, H.G. 2002a. Latitudinal differentiation in the effects of the toxic dinoflagellate *Alexandrium* spp. on the feeding and reproduction of populations of the copepod *Acartia hudsonica*. *Journal Harmful Algae* 1: 113-25.
- Colin, S.P. y Dam, H.G. 2002b. Testing for toxic effects of prey on zooplankton using sole versus mixed diets. *Limnology and Oceanography* 47: 1430-7.
- Cortés-Altamirano, R. y Licea-Durán, S. 1999. Florecimientos de microalgas nocivas en estanques de cultivo semiintensivo de camarón en México. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 41: 157-66.
- Cortés-Altamirano, R. y Sierra-Beltrán, A.P. 2003. Morphology and taxonomy of *Prorocentrum mexicanum* and reinstatement of *Prorocentrum rathymum* (Dinophyceae). *Journal of Phycology* 39(1): 221-5. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2003.01112.x>.
- Dutz, J. 1998. Repression of fecundity in neritic copepod *Acartia* clause exposed to the toxic dinoflagellate *Alexandrium lucitanicum*: Relationship between feeding and egg production. *Marine Ecology Progress Series* 175: 97-107.
- Edler, L. y Elbrächter, M. 2010. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. En Bengt, K.C., Cusack, C. y Bresnan, E., Editores. *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*. Unesco, París.
- Esquivel-Garrote, O. y Morales-Ramírez, A. 2020. Estructura de la comunidad de zooplancton en arrecifes coralinos del Parque Nacional Isla del Coco, sitio Patrimonio de la Humanidad en el Pacífico Tropical Oriental. *Revista de Biología Tropical* 68(1): 248-56. Doi: <https://doi.org/10.15517/rbt.v68iS1.41188>.
- Falkowski, P.G. y Oliver, M.J. 2007. Mix and match: how climate selects phytoplankton. *Nature Reviews Microbiology* 5: 813-19. Doi: <https://doi.org/10.1038/nrmicro1751>.
- Ferraz-Reyes, E.G., Reyes-Vásquez, G. y De Oliveros, A. 1985. Dinoflagellates the genera *Gonyaulax* and *Protogonyaulax* in the Gulf of Cariaco, Venezuela. En: Anderson, D.M., White, A.W. y Baden, D.G., Editores. *Toxic Dinoflagellates*. Elsevier, New York.
- Ferraz-Reyes, E., Mandelli, E. y Reyes-Vásquez, G. 1987. Fitoplancton de la laguna Grande del Obispo, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 26(1-2): 111-24.
- Fistarol, G.O., Legrand, C. y Granéli, E. 2003. Allelopathic effect of *Prymnesium parvum* on a natural plankton community. *Marine Ecology Progress Series* 255: 115-25. Doi: <https://doi.org/doi:10.3354/meps255115>.
- Flöder, S. y Sommer, U. 1999. Diversity in planktonic communities: An experimental test of the intermediate disturbance hypothesis. *Limnology and Oceanography* 44(4): 1114-9.
- Frangópulos, M., Guisande, C., Maneiro, I., Rivero, I. y Franco, J. 2000. Short- and long-term effects of the toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum* on the copepod *Acartia clausi*. *Marine Ecology Progress Series* 203: 161-9.
- Fukuyo, Y. 1981. Taxonomical study on benthic dinoflagellates collected in coral reef. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries* 47: 967-78.
- Fukuyo, Y., Sako, Y., Matsuoka, K., Innai, I., Takahashi, M. y Watanabe, M. 2003. Biological character of red tide organisms. En: Okaichi, T., Editor. *Red Tides*. Kluwer Academic Publishers. Lodon.
- Gamboa-Márquez, J., Sánchez-Suárez, I. y La Barbera-Sánchez, A. 1994. Dinoflagelados (Pyrrhophyta) del Archipiélago Los Roques (Venezuela): Familias Prorocentraceae y Ostreopsidaceae. *Acta Científica Venezolana* 45: 140-52.
- Granéli, E. y Hansen, P.J. 2006. Allelopathy in harmful algae: a mechanism to compete for resources? En: Granaeli, E. y Turner,

- J.T., Editores. *Ecology of harmful algae*. Springer Verlag, Berlín.
- Guisande, C., Frangopulus, M., Carotenuto, Y., Maneiro, I., Riveiro, I. y Vergara, R. 2002. Fate of paralytic shellfish poisoning toxins ingested by the copepod *Acartia clausi*. *Marine Ecology Progress Series* 240: 105-15.
- Hernández-Becerril, D., Bravo-Sierra, E. y Aké-Castillo, J. 2007. Phytoplankton on the western coasts of Baja California in two different seasons in 1998. *Scientia Marina* 71(4): 735-43. Doi: <https://doi.org/10.3989/scimar.2007.71n4735>.
- Hernández-Becerril, D.U. 2014. Biodiversidad de algas planctónicas marinas (Cyanobacteria, Prasinophyceae, Euglenophyta, Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Eustigmatophyceae, Parmophyceae, Raphidophyceae, Bacillariophyta, Cryptophyta, Haptophyta, Dinoflagellata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 44-53. Doi: <https://doi.org/10.7550/rmb.32037>.
- Ho, K.C. y Hodgkiss, I.J. 1991. Red tides in subtropical waters. An overview of their occurrence. *Asian Marine Biology* 10: 77-94.
- Honjo, S. 1976. Coccoliths: production, transportation and sedimentation. *Marine Micropaleontology* 1: 65-79.
- Hoppenrath, M., Chomérat, N., Horiguchi, T., Schweikert, M., Nagahama, Y. y Murray, S. 2013. Taxonomy and phylogeny of the benthic *Prorocentrum* species (Dinophyceae). A proposal and review. *Harmful Algae* 27: 1-28. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2013.03.006>.
- Huntley, M.E., Barthel, K.G. y Star, J.L. 1983. Particle rejection by *Calanus pacificus*: discrimination between similarly sized particles. *Marine Biology* 74: 151-60.
- Huntley, M.E., Sykes, P., Rohan, S. y Marin, V. 1986. Chemically-mediated rejection of dinoflagellate prey by copepods *Calanus pacificus* and *Paracalanus parvus*: mechanism, occurrence and significance. *Marine Ecology Progress Series* 28: 105-20.
- Ives, J.D. 1985. The relationship between *Gonyaulax tamarensis* cell toxin levels and copepod ingestion rates. En: Anderson, D.M., White, A.W. y Baden, D.G., Editores. *Toxic Dinoflagellates*. Elsevier, Amsterdam.
- Jansen, S., Wexels-Riser, C., Wassmann, P. y Bathmann, U. 2006. Copepod feeding behavior and egg production during a dinoflagellate bloom in the North Sea. *Harmful Algae* 5: 102-12.
- Jeong, H.J. 1994. Predation effects of the calanoid copepod *Acartia tonsa* on a population of the heterotrophic dinoflagellate *Prorocentrum* cf. *divergens* in the presence of co-occurring red-tide dinoflagellate prey. *Marine Ecology Progress Series* 111: 87-97.
- Jury, M.R. 2017. Eastern Venezuela coastal upwelling in context of regional weather and climate variability. *Regional Studies in Marine Science* 18: 219-28. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2017.10.010>.
- Kato, K. 1961. Ocean chemical studies on the gulf of Cariaco. Chemical and hydrographical observations in January, 1961. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 1(1): 49-72.
- La Barbera-Sánchez, A., Hall, S. y Ferraz-Reyes, E. 1991a. *Alexandrium* sp., *Gymnodinium catenatum* and PSP in Venezuela. En: Smayda, T. y Shimizu, Y. Editores. *Toxic phytoplankton in the Sea*. Elsevier, New York.
- La Barbera-Sánchez, A., Reyes-Vásquez, G. Cabello, A. y Ferraz-Reyes, E. 1991b. Assessment of mussel toxicity caused by dinoflagellates in the Gulf of Cariaco, Venezuela from 1980-1988. *Revue Internationale d' Oceanographie Medicale* 101-104: 176-80.
- La Barbera-Sánchez, A., Gamboa-Márquez, J. y Senior, W. 1999. Fitoplancton del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 47: 57-63.
- La Barbera-Sánchez, A. y Gamboa-Márquez, J. 2001. Distribution of *Gymnodinium catenatum* Graham and shellfish toxicity on the coast of Sucre state, Venezuela, from 1989 a 1998. *Journal Shellfish Research* 20(3): 1257-61.
- La Barbera-Sánchez, A., Franco Soler, J., Rojas, L. y Chang-Yen, I. 2004. Paralytic Shellfish Poisoning (PSP) in Margarita Island, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 52 (Suppl. 1): 89-98.
- Lasley-Rasher, R.S., Nagel, K., Angra, A. y Yen, J. 2016. Intoxicated copepods: ingesting toxic phytoplankton leads to risky behaviour. *Proceedings Royal Society B* 283: 20160176. Doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.0176>.
- Legaré, H. 1964. The pelagic copepoda of Eastern Venezuela. 1. The Cariaco Trench. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela* 3(1/2): 15-81.
- Márquez-Rojas, B., Zoppi de Roa, E., Troccoli, L. y Montiel, E. 2017. Cambios estructurales del mesozooplancton en relación a las condiciones hidrográficas en el golfo de Cariaco, Venezuela. *Biota Colombiana* 18(1): 148-71. Doi: <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n01a9>.

- Márquez-Rojas, B., Zoppi De Roa, E. y Zegarra-Narro, J. 2020. An updated checklist of copepod species (Arthropoda: Crustacea) from the Gulf of Cariaco, Venezuela. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 15(3): 143-50.
- Martínez, G., Hernández, D., Quintero, A., Márquez, A., Senior, W. y González, A. 2011. Estudio físico-químico de las aguas del sector oriental del golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 50(2): 273-87.
- Martínez, A., Méndez, S., Fabre, A. y Ortega, L. 2017. Intensificación de floraciones de dinoflagelados marinos en Uruguay. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay* 13: 19-25. Doi: <https://doi.org/10.26461/13.02>.
- Martínez-Barragán, M., Medina-Calderón, J., Franco-Herrera, A. y Santos-Martínez, A. 2009. La comunidad de copépodos (Crustacea) en las islas de Providencia y Santa Catalina (Caribe colombiano) durante el período lluvioso de 2005. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 38(1): 85-103.
- Maybeck, M. 1979. Concentrations des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans. *Revue de géologie dynamique et de géographie physique* 21: 215-46.
- Michael, H.B. y Foyo, M. 1976. Caribbean Zooplankton. Part I. Shiphonophora, Heteropoda, Copepoda, Euphausiacea, Chaetognatha and Salpidae. Office of Naval Research Department of Navy, Bethesda, Maryland.
- Moreira-González, A. 2013. *Prorocentrum mexicanum* Osorio-Tafall y *Prorocentrum rathymum* Loeblich III, Sherley & Schmidt cohabitan en aguas cubanas. *Revista de Investigaciones Marinas* 33(1): 46-9.
- Muciño-Márquez, R.E., Gárate-Lizárraga, I. y López-Cortés, D.J. 2015. Variación estacional del género *Prorocentrum* (Dinophyceae) en dos granjas atuneras en la bahía de La Paz, México. *Acta Biológica Colombiana* 20(1): 195-206. Doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n1.42442>.
- Navarro-Vargas, G., Díaz-Ramos, J.R., Troccoli-Ghinaglia, L. y Subero-Pino, S. 2014. Dinoflagelados epibentónicos presentes en diferentes sustratos en la bahía Turpialito, golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 53(2): 161-170.
- Okuda, T., Bonilla, J., Benítez, J., García, A. y Cedeño, G. 1978a. Características hidrográficas del golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 17(1-2): 69-88.
- Okuda, T., García, A., Gamboa, B. y Fernández, E. 1978b. Variación estacional del fósforo y nitrógeno inorgánico en el golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 17(1-2): 89-104.
- Ordóñez-López, U. y Ornelas-Roa, M. 2003. Variación de la comunidad de copépodos plácticos en el gradiente estuarino-costero de Celestún, Yucatán, México. *Hidrobiológica* 13: 231-8.
- Padmakumar, K.B. 2010. Algal blooms and zooplankton Standing crop along the southwest Coast of India. Tesis de Doctorado, University of Science and Technology, India.
- Paffenhöfer, G. 1991. Some characteristics of abundant subtropical copepods in estuarine, shelf and oceanic waters. Proc. 4th International Conference on Copepoda. *Bulletin of the Plankton Society of Japan* 1: 201-16.
- Palomares-García, R., Bustillos-Guzmán, J., Band-Schmidt, C.J., López-Cortés, D. y Bernd-Luckas. 2006. Efecto del dinoflagelado tóxico *Gymnodinium catenatum* sobre el consumo, la producción de huevos y la tasa de eclosión del copépodo *Acartia clausi*. *Ciencias Marinas* 32(1B): 111-9.
- Parsons, T., Maita, Y. y Lally, C. 1984. A manual of chemical and biological methods of seawater analysis. Pergamon, Oxford.
- Poulet, S.W. y Marsot, P. 1978. Chemosensory grazing by marine calanoid copepods (Arthropoda: Crustacea). *Science* 200: 1403-5.
- Razouls, C., de Bovée, F., Kouwenberg, J. y Desreumaux, N. 2005-2021. Diversity and geographic distribution of marine planktonic copepods. Sorbonne University. URL: <http://copepodes.obsbanyuls.fr/en>. Consultado: 21 de febrero 2021.
- Rhodes, L.L., Peake, B.M., MacKenzie, A.L. y Marwick, S. 1995. Coccolithophores *Gephyrocapsa oceanica* and *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae = Haptophyceae) in New Zealand's coastal waters: Characteristics of blooms and growth in laboratory culture. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 29(3): 345-57. Doi: <https://doi.org/10.1080/00288330.1995.9516669>.
- Rivera-Tenenbaum, D. 2006. Dinoflagelados e tintinídeos da região central da Zona Econômica Exclusiva Brasileira: guia de identificação. Mus. Nac., Rio de Janeiro.
- Rueda-Roa, D.T., Ezer, T. y Müller-Karger, F. 2018. Description and Mechanisms of the Mid-Year Upwelling in the Southern

- Caribbean Sea from Remote Sensing and Local Data. *Journal of Marine Science and Engineering* 6(2): 36-42. Doi: <https://doi.org/10.3390/jmse6020036>.
- Ruíz-Pineda, C., Suárez-Morales, E. y Gasca, R. 2016. Copépodos planctónicos de la Bahía de Chetumal, Caribe Mexicano: variaciones estacionales durante un ciclo anual. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 51(2): 301-16. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572016000200008>.
- Sahraoui, D., Bouchouicha, H., Mabrouk, H. y Hlaili, S. 2013. Driving factors of the potentially toxic and harmful species of *Prorocentrum Ehrenberg* in a semi-enclosed Mediterranean lagoon (Tunisia, SW Mediterranean). *Mediterranean Marine Science* 14(2): 353-62. Doi: <https://doi.org/10.12681/mms.338>.
- Sánchez-Suárez, I. 1994. Ecología y dinámica del fitoplancton en arrecifes coralinos: Un estudio en los "Islotes Dos Mosquises", Parque Nacional Archipiélago de los Roques, Venezuela. Tesis de Doctorado, Universidad Central de Venezuela.
- Simon, N.A., Cras, L., Foulon, E. y Lemée, R. 2009. Diversity and evolution of marine phytoplankton. *Comptes Rendus Biologies* 332(2-3): 159-70. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.09.009>.
- Springer, J.J., Burkholder, J.M., Glibert, P.M. y Reed, R.E. 2005. Use of a real-time remote monitoring network and ship borne sampling to characterize a dinoflagellate bloom in the Neuse Estuary, North Carolina, USA. *Harmful Algae* 4: 533-51.
- Sykes, P.F. y Huntley, M.E. 1987. Acute physiological reactions of *Calanus pacificus* to selected dinoflagellates: direct observations. *Marine Biology* 94: 19-24.
- Teegarden, G.J. 1999. Copepod grazing selection and particle discrimination on the basis of PSP toxin content. *Marine Ecology Progress Series* 181: 163-76.
- Teegarden, G.J., Campbell, R.G. y Durbin, E.G. 2001. Zooplankton feeding behavior and particle selection in natural plankton assemblages containing toxic *Alexandrium* spp. *Marine Ecology Progress Series* 218: 213-26.
- Thomas, W. 1969. Phytoplankton nutrients enrichment of Baja California and in the Easter Equatorial Pacific Ocean. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 26: 1113-45.
- Citar como:** Márquez-Rojas, B., Troccoli, L. y Díaz-Ramos, R. 2021. Bloom algal y abundancia de copépodos en el golfo de Cariaco, Venezuela (Caribe Suroriental). *Intropica* 16(2): 133-152. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4010>.
- Tomas, C. 1997. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press, New York.
- Turner, J.T. 2014. Planktonic marine copepods and harmful algae. *Harmful Algae* 32: 81-93.
- Turner, J.T. y Tester, P.A. 1989. Zooplankton feeding ecology: copepod grazing during an expatriate red tide. En: Cosper, E.M., Bricelj, V.M. y Carpenter, E.J. Editores. *Novel Phytoplankton Blooms. Causes and Impacts of Recurrent Brown Tides and Other Unusual Blooms*. Springer-Verlag, Berlín.
- Turner, J.T. y Tester, P.A. 1997. Toxic marine phytoplankton, zooplankton grazers, and pelagic food webs. *Limnology and Oceanography* 42: 1203-14.
- Turner, J.T., Tester, P.A. y Hansen, P.J. 1998. Interactions between toxic marine phytoplankton and metazoan and protistan grazers. En: Anderson, D.M., Cembella, A.D. y Hallegraeff, G.M., Editores. *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. Springer-Verlag, Berlín.
- Tyrell, T. y Merico, A. 2004. *Emiliania huxleyi*: bloom observations and the conditions that induce them. En: Thierstein, H.R. y Young, J.R., Editores. *Coccolithophores. From Molecular Processes to Global Impact*. Springer-Verlag, Berlín.
- Uye, S. 1986. Impact of copepod grazing on the red-tide flagellate *Chattonella antiqua*. *Marine Biology* 92: 35-43.
- Valerio-González, L. y Díaz-Ramos, R. 2007. Dinoflagelados epífitos potencialmente tóxicos presentes en praderas de *Thalassia testudinum* en la isla La Tortuga, la bahía de Mochima y el golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 47(1): 47-58.
- Vaulot, D., Eikrem, W., Viprey, M. y Moreau, H. 2008. The diversity of small eukaryotic phytoplankton ($\leq 3 \mu\text{m}$) in marine ecosystems. *FEMS Microbiology Reviews* 32: 795-820. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2008.00121.x>.
- Watrás, C.J., Garcon, V.C. y Olson, R.J. 1985. The effect of zooplankton grazing on estuarine blooms of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. *Journal of Plankton Research* 7: 891-908.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Washington.

Estructura del fitoplancton según la condición metabólica de lagos andinos ubicados en diferente rango altitudinal

Structure of the phytoplankton according to the metabolic condition of andean lakes located in a different altitudinal range

Yaneth Viviana Hernández-Sierra* , Adriana Ximena Pedroza-Ramos  y Nelson Javier Aranguren-Riaño 

Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos (UDESA), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia

*Autor de correspondencia: yaneth.hernandez01@uptc.edu.co

Recibido: 27 de abril de 2021

Aceptado: 15 de agosto de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen

Palabras clave:
algas; altitud; metabolismo de lagos;
carbono orgánico disuelto;
Chl-*a*, cordillera Oriental

La estructura taxonómica de la comunidad fitoplanctónica se encuentra influenciada por múltiples factores, en su mayoría integrados en aspectos funcionales y del metabolismo del ecosistema. Con el objetivo de evaluar la variación en la estructura del fitoplancton según las condiciones limnológicas y los procesos metabólicos descritos a través de COD y Chl-*a*, se realizó un estudio en 12 lagos de la cordillera Oriental colombiana agrupados en diferente rango altitudinal (alta montaña tropical, andino y tierras bajas). Se hicieron mediciones de variables físicas y químicas, incluyendo descriptores del metabolismo de los lagos (COD y Chl-*a*), junto a la caracterización de la estructura taxonómica del fitoplancton. Según el análisis de componentes principales (ACP), los lagos se ordenaron en función de la combinación de factores geológicos, altitudinales y geomorfológicos asociados al rango altitudinal y el grado de mineralización. De acuerdo con los números de Hill, la expresión de la diversidad de la comunidad fitoplanctónica se organizó independientemente del factor altitudinal; y según el índice de Sorensen, los lagos andinos y de tierras bajas presentaron mayor similitud en la composición taxonómica de sus comunidades. En cuanto a la condición metabólica de los lagos y su asociación con la estructura de fitoplancton, se obtuvieron cuatro combinaciones: 1) predominio de sistemas mixtos con baja o intermedia concentración de COD y Chl-*a*, asociados con las clases Chlorophyceae y Zignematophyceae; 2) relevancia de la vía heterotrófica, con predominio de las clases Bacillariophyceae y Chlorophyceae; 3) sistema mixto con alta concentración de COD y Chl-*a*, asociado con las clases Cyanophyceae y Euglenophyceae, y 4) relevancia de la vía autotrófica, relacionada con las clases Cyanophyceae y Chlorophyceae.

Abstract

Key words:
algae; altitude; lakes metabolism;
dissolved organic carbon;
Chl-*a*, Eastern mountain range

The taxonomic structure of the phytoplankton community is influenced by multiple factors, mostly integrated into functional aspects and the metabolism of the ecosystem. To evaluate the variation in the structure of the phytoplankton in relation to the limnological conditions and metabolic processes described through COD and Chl-*a*, a study was carried out in 12 lakes of the Colombian Eastern Cordillera grouped in different altitudinal range (high tropical mountain, Andean and lowlands). Measurements of physical and chemical variables were made, including descriptors of lake metabolism (dissolved organic carbon and chlorophyll-*a*), together with the characterization of the taxonomic structure of phytoplankton. According to the Principal Component Analysis (PCA), the lakes were ordered based on the combination of geological, altitudinal and geomorphological factors associated with the altitudinal range and the degree of mineralization. According to the Hill Numbers, the expression of the diversity of the phytoplankton community was organized independently of the altitudinal factor; and according to the Sorensen index, the Andean and lowland lakes presented greater similarity in the taxonomic composition of their communities. Regarding the metabolic condition of the lakes and its association with the phytoplankton structure, four combinations were obtained: 1). The predominance of mixed systems with a low or intermediate concentration of DOC and Chl-*a*, associated with the Chlorophyceae and Zignematophyceae classes; 2). Relevance of the heterotrophic pathway, with a predominance of the Bacillariophyceae and Chlorophyceae classes; 3). Mixed systems with a high concentrations of DOC and Chl-*a*, associated with the Cyanophyceae and Euglenophyceae classes; 4). Relevance of the autotrophic pathway, related to the Cyanophyceae and Chlorophyceae classes.

Introducción

En los Andes tropicales los sistemas lénticos se caracterizan por expresar una gran diversidad biológica, explicada por una compleja historia geológica y una amplia heterogeneidad altitudinal (Richerson *et al.*, 1986; Donato *et al.*, 1996). En Colombia, esto se reconoce en sistemas de clasificación de los lagos como el propuesto por Donato (1998), quien agrupó los sistemas acuáticos colombianos en provincias limnológicas altitudinales: alta montaña tropical (ubicada por encima de los 3000 msnm), andina (entre los 3000-1000 msnm), tierras bajas (por debajo de los 1000 msnm) y costera (sobre el nivel del mar como estuarios y bahías, no consideradas en este estudio). Posterior a esta clasificación, se han llevado a cabo revisiones y estudios a cerca de la distribución, heterogeneidad y diversidad de ambientes acuáticos que también se expresan en los Andes, proporcionando información para proponer clasificaciones adicionales con variedad de enfoques y perspectivas (Ricaurte *et al.*, 2019).

En general, los lagos ubicados en la alta montaña se encuentran menos influenciados por actividad antrópica, siendo altamente sensibles a variaciones ambientales. Además, son considerados zonas de especiación, endemidad y excelentes centinelas de cambio climático tanto a nivel regional como global, relacionados directamente con el factor altitudinal (Lomolino, 2001; Körner, 2007; Adrian *et al.*, 2009; Catalan y Donato, 2016). En contraste, los lagos ubicados en tierras bajas presentan fluctuaciones en cuanto a sus condiciones tróficas, y algunos de ellos suelen estar altamente influenciados por actividad antrópica, aumento en la carga de nutrientes procedentes de las cuencas de drenaje y enriquecimiento de materia orgánica tanto autóctona como alóctona (Donato, 1998; Montoya y Aguirre, 2009; Hernández *et al.*, 2013). Las expresiones ambientales derivadas por cambios altitudinales permiten evaluar y comprender respuestas de los organismos y los ecosistemas frente a cambios macroespaciales y locales del medio (Sundqvist *et al.*, 2013), reflejados en la distribución, la riqueza y la abundancia de las comunidades acuáticas y, quizá de mayor relevancia, en el metabolismo y el funcionamiento de los lagos (Margalef, 1983; Machado *et al.*, 2016).

El fitoplancton desempeña un rol fundamental en los procesos ecosistémicos de los lagos como componente esencial de la producción primaria, considerado base para las redes tróficas en ecosistemas acuáticos (Escribano y Castro, 2004; Toro Castaño *et al.*, 2012). Existe una amplia diversidad en su tamaño, morfología y formación de colonias, y su crecimiento se

encuentra limitado principalmente por factores ambientales como la disponibilidad de nutrientes y la profundidad de la zona de mezcla, los cuales a la vez están controlados por factores externos (viento, precipitación, radiación solar) e internos (turbulencia, estratificación, tasa de renovación del agua) (Reynolds, 2006; Carreto *et al.*, 2007; Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 2008; Esteves, 2011). En Colombia, se ha reportado que el fitoplancton expresa diferencias en su estructura y composición relacionadas con barreras geográficas de la cordillera de los Andes, efectos del cambio climático, cambios en el uso de la tierra y aumento de la temperatura en los sistemas (Maldonado *et al.*, 2011).

Los patrones de diversidad de algas planctónicas dependen de factores bióticos y abióticos del sistema (Reynolds, 2006). Generalmente, en lagos oligotróficos de alta montaña se encuentra mayor riqueza de especies, aunque las bajas temperaturas limitan su crecimiento y proliferación, predominando clases como Dinophyceae, Zignemathophyceae y Bacillariophyceae, mientras que en lagos eutróficos de tierras bajas, caracterizados por presentar poca diversidad, las altas concentraciones de materia orgánica y la reducida transparencia de los sistemas provocan intensa reproducción de las clases Chlorophyceae, Euglenophyceae y Cyanophyceae (Donato *et al.*, 1996; González *et al.*, 2003; Hernández *et al.*, 2013; Catalan y Donato, 2016; Peraza Escarrá, 2017).

A través del estudio de la estructura de comunidades como el fitoplancton se facilita la comprensión del metabolismo de los ecosistemas acuáticos; es decir, permite entender el flujo de energía y el movimiento de nutrientes entre componentes y compartimentos, que a su vez indican la eficiencia del funcionamiento de los sistemas (Odum, 1972; Esteves, 2011). El metabolismo comprende tres etapas: producción (realizada por organismos capaces de sintetizar la propia materia orgánica), consumo (llevada a cabo por organismos que obtienen energía directa o indirectamente a partir de materia orgánica sintetizada por productores primarios) y descomposición (realizada por medio del bucle microbiano y la cadena de detritos) (Esteves, 2011). Este proceso puede darse por dos vías: la autótrofa, basada en la productividad autóctona llevada a cabo por el fitoplancton, que es capaz de abastecer la demanda de energía y nutrientes en el sistema, o la heterótrofa, la cual depende de contribuciones alóctonas de materia orgánica para subsistir (Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 2008). Variables como la clorofila *a* (Chl-*a*) y el carbono orgánico disuelto (COD) son consideradas indicadores del metabolismo en sistemas acuáticos debido a que se encuentran directamente

relacionadas con la estructura y la función de las comunidades planctónicas (Adrian *et al.*, 2009; De los Ríos *et al.*, 2010).

La Chl-*a* desempeña un papel fundamental en la recolección de energía luminosa para llevar a cabo la fotosíntesis, y su análisis proporciona información sobre la condición metabólica de los sistemas asociada a la vía autotrófica (Kuczynska *et al.*, 2015; Steinman *et al.*, 2017). En cuanto al COD, este puede ser alóctono o autóctono y provenir de plantas con metabolismo C4 (macrófitas) o C3 (fitoplancton, vegetación circundante) o del detritus, considerándose de gran importancia en la producción total de los lagos (Del Giorgio y Peters, 1994; Williamson *et al.*, 1999; Moore *et al.*, 2004; Torres-Bejarano *et al.*, 2014). Alguna fracción del COD puede provenir de bacterias e influir sobre la productividad, la abundancia y la composición del plancton, pues estas no solo liberan nutrientes que favorecen el desarrollo del fitoplancton, sino que también incorporan el COD, y su biomasa queda disponible para otros microorganismos (protozoos, microcrústaceos), actuando como una vía trófica alternativa en el metabolismo de los lagos (Coveney, 1982; Rejas *et al.*, 2005; Canosa y Pinilla, 2007; Caraballo-García *et al.*, 2012). Para el caso de lagos de montaña, cuando la relación entre COD y biomasa algal es estrecha, se considera que la actividad heterotrófica depende de procesos autóctonos con mayor relevancia de la vía autotrófica, a diferencia de aquellos sistemas con importantes aportes alóctonos, en donde dicha relación no es evidente y la vía heterotrófica tendría mayor relevancia (Jacobsen y Dangles, 2017).

Las investigaciones que asocian la estructura de fitoplancton con procesos ecosistémicos y variadas condiciones ambientales en lagos ubicados a diferente altitud son escasas (Dodson *et al.*, 2000; Moore *et al.*, 2004). Por tanto, incorporar análisis de asociación entre diferentes condiciones limnológicas y de procesos como el metabolismo con la estructura taxonómica de las algas planctónicas constituye un elemento esencial para comprender respuestas y la organización de las especies frente a cambios en la disponibilidad y concentración de fuentes de energía, vinculados con patrones altitudinales (Donato-Rondón, 2001; Moore *et al.*, 2004; Trudnowska *et al.*, 2018). En este contexto, se propuso evaluar la variación en la estructura de fitoplancton con relación a las condiciones limnológicas y los procesos metabólicos descritos a través de las concentraciones

de COD y Chl-*a* en 12 lagos andinos ubicados en diferente rango altitudinal. De este modo se deriva la hipótesis de que existen diferencias en la diversidad y estructura de la comunidad fitoplanctónica en los lagos a lo largo de los rangos altitudinales, asociadas principalmente con la vía metabólica relevante de los sistemas.

Materiales y métodos

Área de estudio

Para la realización de este estudio se seleccionaron 12 lagos de la cordillera Oriental colombiana, ubicados en tres categorías sobre un rango altitudinal que oscila entre 194 -3699 msnm, distribuidos en los departamentos de Boyacá, Caldas, Casanare y Cundinamarca (figura 1). Esta formación montañosa tiene una temperatura media atmosférica que varía desde 30 °C en zonas bajas hasta 9 °C en zonas altas (>4000 msnm). La precipitación anual típica presenta dos períodos lluviosos (abril-mayo y octubre-noviembre) y dos períodos secos (comienzo y final del año). En cuanto a la vegetación, esta se encuentra sujeta a variaciones de humedad, temperatura y ubicación altitudinal (Narváez-Bravo y León-Aristizábal, 2001; Guzmán *et al.*, 2014).

Diseño de muestreo y medición de variables físicas y químicas

Se realizó una toma de muestras por sistema entre diciembre de 2018 y enero de 2019. En la zona limnética de cada lago se hicieron mediciones in situ de: transparencia (disco Secchi), profundidad (ecosonda-ECOTEST), pH, temperatura, conductividad eléctrica (conductímetro YSI 85), oxígeno disuelto (método Winkler), alcalinidad y dureza (kits Aquamerck).

Para el análisis de nitrógeno total (NT), se tomaron muestras de 20 ml de agua, las cuales se filtraron, se preservaron con H₂SO₄ hasta un pH<2 y se refrigeraron a ~4 °C. Las muestras de COD, por su parte, se filtraron a través de filtros en microfibra de vidrio Advantec GF-75 de 0,47 μm de poro y se refrigeraron a -6 °C (Potter y Wimsatt, 2005). Estas muestras se analizaron en el laboratorio analítico de la Universidad de California en Davis (UC Davis).

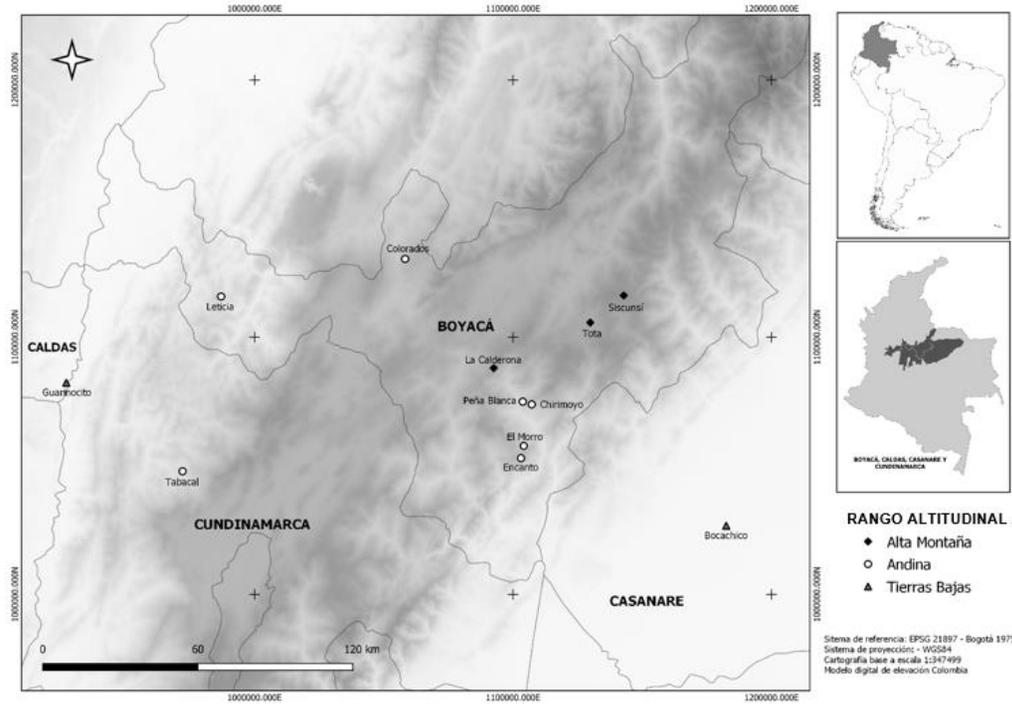


Figura 1. Ubicación geográfica de los 12 lagos en estudio, de acuerdo con su clasificación por rango altitudinal. Elaborado en QGIS.

Respecto al análisis de Chl-*a*, las muestras se filtraron a través de filtros en microfibras de vidrio Advantec GF-75 de 0,45 µm de poro. Los filtros se guardaron en bolsas de papel aluminio, se refrigeraron a -20 °C (Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 2008; Wetzel y Likens, 2013) y se trasladaron al laboratorio de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) para su análisis, siguiendo el método monocromático en espectrofotómetro descrito por Aminot y Rey (2000).

Muestreo y procesamiento de fitoplancton

Se tomaron muestras de 200 ml de agua utilizando una botella de tipo Van Dorn, se almacenaron en frascos ámbar y se fijaron con Lugol, adicionando 1 ml por cada 100 ml de muestra (Schwoerbel, 1975). La identificación de fitoplancton (género y/o especie) se realizó mediante el uso de claves taxonómicas (Parra *et al.*, 1982; Streble y Krauter, 1987; Bicudo y Menezes, 2006; Bellinger y Sigeo, 2015) y observaciones en un microscopio óptico (Nikon Eclipse E200).

Para la evaluación cuantitativa, se empleó el método de sedimentación en cámaras tubulares (Utermöhl, 1958). Se tomaron 10 ml de muestra (exceptuando del lago Bocachico, donde debido a su alta concentración se tomaron 2 ml), se dejaron sedimentar durante 1-4 h por mililitro de columna de sedimentación, y posteriormente fueron observadas en un microscopio invertido Olympus CKX41, con una magnificación

de 200X (Edler, 1979; Andersen y Thronsen, 2004). Se contaron campos al azar y se realizó una curva de acumulación de especies para cada lago, con el fin de garantizar que la mayoría de las especies fueran contadas por lo menos una vez (Ramírez, 2000).

Tratamiento y análisis de la información

Para establecer el ordenamiento de los lagos de acuerdo con la expresión de variables físicas, químicas e indicadores de metabolismo en función de la altitud, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) tipo correlacional (McCune *et al.*, 2002), empleando el paquete Vegan (Oksanen *et al.*, 2020) del software libre R (R Core Team, 2020).

En cuanto a la riqueza de morfoespecies, géneros y familias de acuerdo con los diferentes rangos altitudinales, se elaboró una lista sistemática de especies, y para describir los atributos de la diversidad genérica de la comunidad fitoplanctónica se estimaron los números de Hill (Jost, 2006) conocidos, así como los números efectivos de especies usando el paquete iNEXT, basado en rarefacción y extrapolación de diversidad de especies (Hsieh *et al.*, 2016). Posteriormente, la información obtenida para cada uno de los órdenes 0D (riqueza), 1D (especies comunes) y 2D (especies dominantes) se plasmó en un perfil de diversidad (figura 2) utilizando el programa Sigma Plot versión 12.0. La exclusividad se estimó como la proporción de taxones

únicos presentes en un sistema y aplica solamente a los lagos agrupados en cada rango altitudinal.

Se estimó el índice de Sorensen para medir la disimilitud en la composición de géneros entre los diferentes rangos altitudinales (Magurran, 1988), y se realizó un análisis de agrupamiento empleando el método *Average* para conformar los grupos (Borcard *et al.*, 2018). Los datos se analizaron usando el paquete Betapart (Baselga *et al.*, 2021) del software libre R (R Core Team, 2020).

También se llevó a cabo un análisis de correspondencia canónica (ACC) para identificar patrones de asociación entre las variables ambientales y las abundancias de las algas a nivel de

clase (Ter Braak, 1986; McCune *et al.*, 2002).

Se empleó el paquete Vegan (Oksanen *et al.*, 2020) del software libre R (R Core Team, 2020), con las funciones CCA y las funciones triplot y la transformación de variables ambientales, con media de cero y varianza unitaria, mientras que para las biológicas se usó Hellinger, un tipo de distancia euclidiana apropiado para análisis multivariados cuando se trabaja con abundancias de especies, en donde cada una de ellas se divide por la abundancia total del lugar y su resultado es transformado por raíz cuadrada (Legendre y Legendre, 2012). De esta forma, tanto las variables ambientales como las biológicas son estandarizadas.

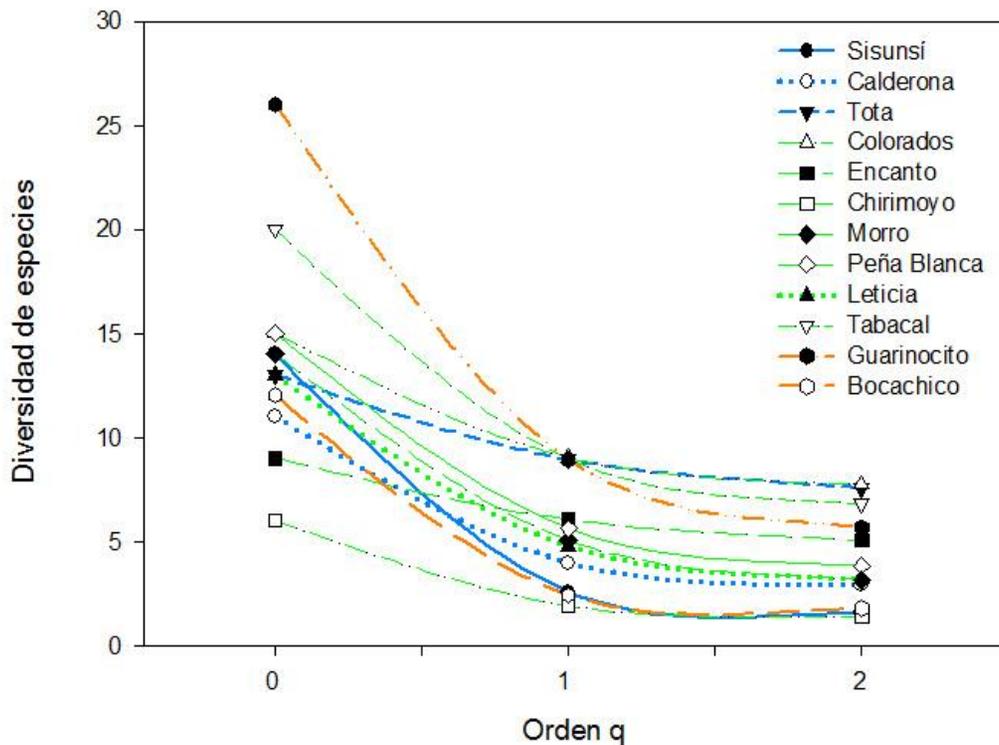


Figura 2. Valores de diversidad o números de Hill para los 12 lagos estudiados.

Asimismo, se elaboró un modelo conceptual cualitativo fundamentado en análisis de contingencia. Este tipo de modelo se caracteriza por una representación gráfica de las posibles asociaciones entre los componentes y la integración de diferentes niveles de información, con base en aproximaciones teóricas (Heemskerk *et al.*, 2003). De tal manera, cada lago se asignó en uno de dos niveles según la expresión cuantitativa de las variables COD y Chl-*a*, indicadoras de la condición metabólica. Se usó la mediana de cada serie como el valor de

referencia para separar los niveles en el modelo: en el caso de la concentración de Chl-*a*, el nivel bajo corresponde a lagos oligomesotróficos, y el nivel alto, a lagos eutróficos (Esteves, 2011). Se generaron cuatro categorías cualitativas en las que se clasificaron los lagos: 1) relevancia de vía autotrófica; 2) mixto con bajo nivel trófico; 3) relevancia de vía heterotrófica, y 4) mixto con alto nivel trófico. En cada una se incorporó información relevante acerca de características limnológicas y de la estructura del fitoplancton.

Resultados

Variables físicas y químicas

En la tabla 1 se reseñan los datos de condiciones limnológicas para los lagos por rango altitudinal. Los lagos con mayor profundidad, temperaturas menores a 18 °C y bajas concentraciones de COD y Chl-*a* corresponden al rango de alta montaña. Los lagos del rango andino, por su parte, presentaron transparencias medias entre 0,5-4 m, la concentración más alta de Chl-*a* (26,0 µg/l) y profundidades que oscilaron entre los 4-16 m. Luego, en el rango de tierras bajas se situaron los lagos menos profundos (<2,1 m), con temperaturas mayores a 29,8 °C y la concentración más alta de COD (12,1 ppm).

El ACP explicó el 64,32 % de la varianza para los dos primeros componentes: 36,35 % y 27,97 %, respectivamente. Para el primer componente, las variables más explicativas fueron

conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad, mientras que para el segundo fueron COD, transparencia y profundidad (figura 1, [material suplementario](#)).

El *biplot* mostró que en el componente uno los lagos se ordenaron independientemente de la altitud, pero presentaron una relación con el grado de mineralización del agua, agrupándolos con los valores más altos de conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad y pH. Por el contrario, el componente dos indicó una ordenación de los lagos en función de variables relacionadas con la altitud, agrupando, por una parte, los de tierras bajas y los andinos que presentaron alta temperatura, menor transparencia y baja profundidad, y por otra parte, lagos de alta montaña tropical y el restante de lagos andinos que presentaron alta profundidad, mayor transparencia y baja temperatura.

Tabla 1. Valores para las variables ambientales consideradas en cada lago: msnm=altitud; N=latitud; W=longitud; DS=transparencia Secchi en m; Prof=Profundidad en m; T=temperatura en °C; O₂=oxígeno disuelto en mg/l; Cd=conductividad eléctrica en µs/cm; Dur=dureza en mg/l; Alc=alcalinidad en mmol/l; NT=nitrógeno total en mg/l; COD=carbono orgánico disuelto en ppm; Chl-*a*=clorofila *a* en µg/l.

Rango altitudinal	Lago	msnm	N	W	DS	Prof	pH	T	O2	Cd	Dur	Alc	NT	COD	Chl- <i>a</i>
Alta montaña tropical	Siscunsi	3699	05°38'45,6"	72°47'17,1"	1,5	3,1	7,5	13,4	6,2	57,7	4,3	1	0,5	3,6	5,5
	La Calderona	3143	05°23'30"	73°14'32,9"	2,2	27	6,9	18	6,4	5,6	0,4	0,5	0,2	3,9	2,7
	Tota	3015	05°33'04"	72°54'18,6"	5	44	8,3	17,5	6,4	94,1	4,2	0,8	0,4	2,4	1,5
	Los Colorados	2430	05°46'33,1"	73°33'05"	0,6	4	6,7	20,6	7,5	10,3	0,5	0,3	0,4	8,2	5,8
	El Encanto	2178	05°04'28,6"	73°08'51,6"	4	6,2	6,0	16,8	6,5	15,4	0,9	0,3	0,2	1,9	10,5
	Chirimoyo	1984	05°15'50"	73°06'35,5"	1,3	5,6	4,7	22,1	3,6	12,2	0,3	0,9	0,4	8,6	5,1
	El Morro	1883	05°07'04,7"	73°08'17,4"	0,7	10	8,8	22,3	8,5	82,2	4	0,8	0,7	2,1	26,0
Andino	Peña Blanca	1679	05°16'24,8"	73°08'28,9"	1,6	4,2	5,9	21,2	8,8	16,4	0,9	0,8	0,3	1,5	7,9
	Leticia	1514	05°38'38,1"	74°11'39,2"	1,9	13,4	6,1	23	7	15,8	0,9	0,5	0,2	9,2	5,8
	Tabacal	1392	05°01'45,3"	74°19'43,0"	0,5	16,1	7,9	24,1	9,6	211,7	10,8	1,3	0,7	3,5	12,2
Tierras bajas	Guarinocito	202	05°20'25,9"	74°44'04,7"	0,5	2,1	7,1	31,5	4,9	168,9	6,6	1,7	0,4	6,7	24,6
	Bocachico	194	04°50'09,6"	72°25'56,7"	0	0,5	6,6	29,8	6,6	13,1	0,7	0,5	1,2	12,1	0,4

Diversidad beta 0.8395

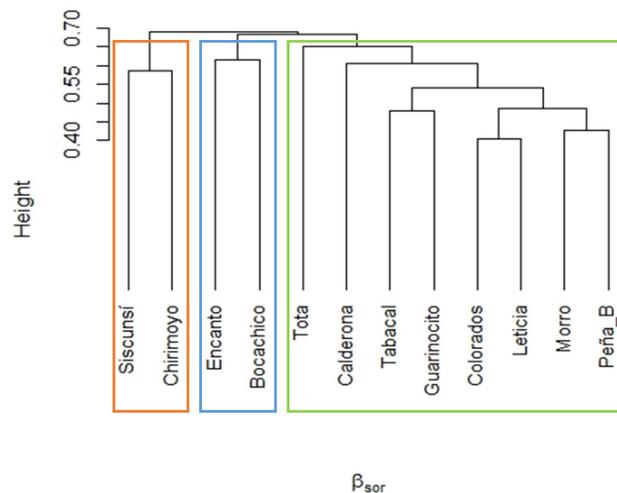


Figura 3. Dendrograma para la agrupación de los lagos con base en la disimilitud en la composición de géneros.

Estructura taxonómica y variación altitudinal

Se identificaron 159 morfoespecies distribuidas en 70 géneros, 41 familias, 25 órdenes, 11 clases y 8 divisiones. El rango altitudinal de tierras bajas presentó la mayor riqueza de géneros (37 %), seguido por el de alta montaña tropical (33 %), mientras que en el rango andino se estimó la menor riqueza (30 %).

Del total de géneros reportados, 30 fueron considerados como exclusivos con un 43 % para el rango de alta montaña tropical, seguido de los rangos andino y de tierras bajas con un 40 % y un 17 % respectivamente. Se destacaron los lagos Siscunsi (alta montaña) por presentar el mayor porcentaje de exclusividad (20 %) y Chirimoyo y El Morro (andinos) por expresar la menor exclusividad.

La expresión de la diversidad de la comunidad fitoplanctónica se organizó independientemente del factor altitudinal. Guarinocito presentó la mayor riqueza de taxones (orden 0) con 26 géneros, mientras que los valores para los taxones comunes y dominantes (orden 1 y 2) decrecieron. La menor riqueza la presentó Chirimoyo, del rango andino, con 6 géneros. La comunidad con mayor diversidad de taxones comunes (orden 1) fue Los Colorados; en cambio, la menos diversa para este orden fue Chirimoyo, ambos lagos del rango andino. En cuanto a diversidad de taxones raros (orden 2), la comunidad con mayores valores fueron Tota y Los Colorados; por su parte, la menor diversidad para este orden se presentó en Bocachico. En forma general, se observa mayor heterogeneidad en la abundancia de géneros de fitoplancton para los lagos del rango de tierras bajas (Guarinocito y Bocachico), con pendientes más pronunciadas, los cuales mostraron alta riqueza y baja dominancia; en contraste, lagos como El Encanto, del rango andino, y Tota, de alta montaña, se observan más homogéneos.

En cuanto a los resultados del índice de Sorensen, los lagos andinos y de tierras bajas presentaron mayor similitud en la composición taxonómica de sus comunidades con un valor de 0,62. El dendrograma muestra la conformación de tres grupos así: el primero asoció los lagos Siscunsi (alta montaña) y Chirimoyo (andino); el segundo conglomeró los lagos El Encanto (andino) y Bocachico (tierras bajas), y el tercero relacionó lagos de los tres rangos altitudinales: alta montaña (Tota, La Calderona), andino (Tabacal, Los Colorados, Leticia, El Morro, Peña Blanca) y tierras bajas (Guarinocito) (figura 3).

Relación entre las condiciones limnológicas y el fitoplancton

Teniendo en cuenta las abundancias relativas de las clases de

fitoplancton por lago (figura 2, material complementario), se puede observar que la clase Chlorophyceae fue la más abundante en los tres rangos altitudinales, mientras que Chrysophyceae, Klebsormidiophyceae y Xanthophyceae fueron poco abundantes. Las clases Cryptophyceae, Dinophyceae y Trebouxiophyceae fueron abundantes en lagos andinos tales como Tabacal, Leticia, El Encanto y Los Colorados. Por lo demás, clases como Bacillariophyceae, Cyanophyceae y Euglenophyceae fueron abundantes principalmente en los lagos de tierras bajas (Guarinocito y Bocachico) y algunos andinos (Tabacal y El Morro). En contraste, la clase Zignematophyceae fue abundante en los lagos La Calderona, Tota (alta montaña) y Peña Blanca, del rango andino.

El ACC indicó que las clases Cryptophyceae, Dinophyceae y Trebouxiophyceae se relacionaron principalmente con ambientes con bajas concentraciones de Chl-*a* y baja conductividad eléctrica. Por otra parte, clases como Bacillariophyceae, Cyanophyceae y Euglenophyceae se asociaron con altas concentraciones de Chl-*a* y COD, baja transparencia y alta temperatura, mientras que Klebsormidiophyceae y Zignematophyceae se vincularon a bajas concentraciones de Chl-*a* y COD, mayor profundidad y alta transparencia. Entretanto, la clase Chrysophyceae se asoció con bajo pH y alta transparencia (figura 4).

Condición metabólica de los lagos y asociación con estructura de fitoplancton

Con base en las mediciones de COD y Chl-*a*, se obtuvo la distribución de los lagos en las cuatro combinaciones posibles que reflejan las variantes metabólicas (figura 5). En la primera se ubicó el lago El Morro, del rango andino, el cual presentó la concentración más alta de Chl-*a* y la más baja de COD, lo que indica un lago con predominio de la vía autotrófica y prevalencia de las clases Cyanophyceae y Chlorophyceae.

La segunda combinación relacionó lagos de alta montaña tropical (Siscunsi, La Calderona, Tota) y algunos del rango andino (El Encanto, Peña Blanca, Tabacal) con bajas o intermedias concentraciones de COD y Chl-*a*, considerados sistemas mixtos que pueden expresar metabolismo asociado a vías autotróficas y heterotróficas, con predominio de las clases Chlorophyceae y Zignematophyceae.

La tercera agrupó al lago Bocachico (tierras bajas) y los restantes lagos del rango andino (Los Colorados, Chirimoyo, Leticia) que presentaron altas concentraciones de COD y bajas de Chl-*a*, lo que implica mayor relevancia de la vía heterotrófica. Estos se relacionaron con el predominio de las clases Bacillariophyceae,

Chlorophyceae y Dinophyceae. Por último, en la cuarta se ubicó el lago Guarinocito, del rango de tierras bajas, con altas concentraciones de Chl-*a* y COD, sistema con alto nivel trófico, también considerado mixto puesto que puede incorporar las

vías autotrófica y heterotrófica en su funcionamiento. Este cuerpo de agua se asoció con el predominio de las clases Cyanophyceae y Euglenophyceae.

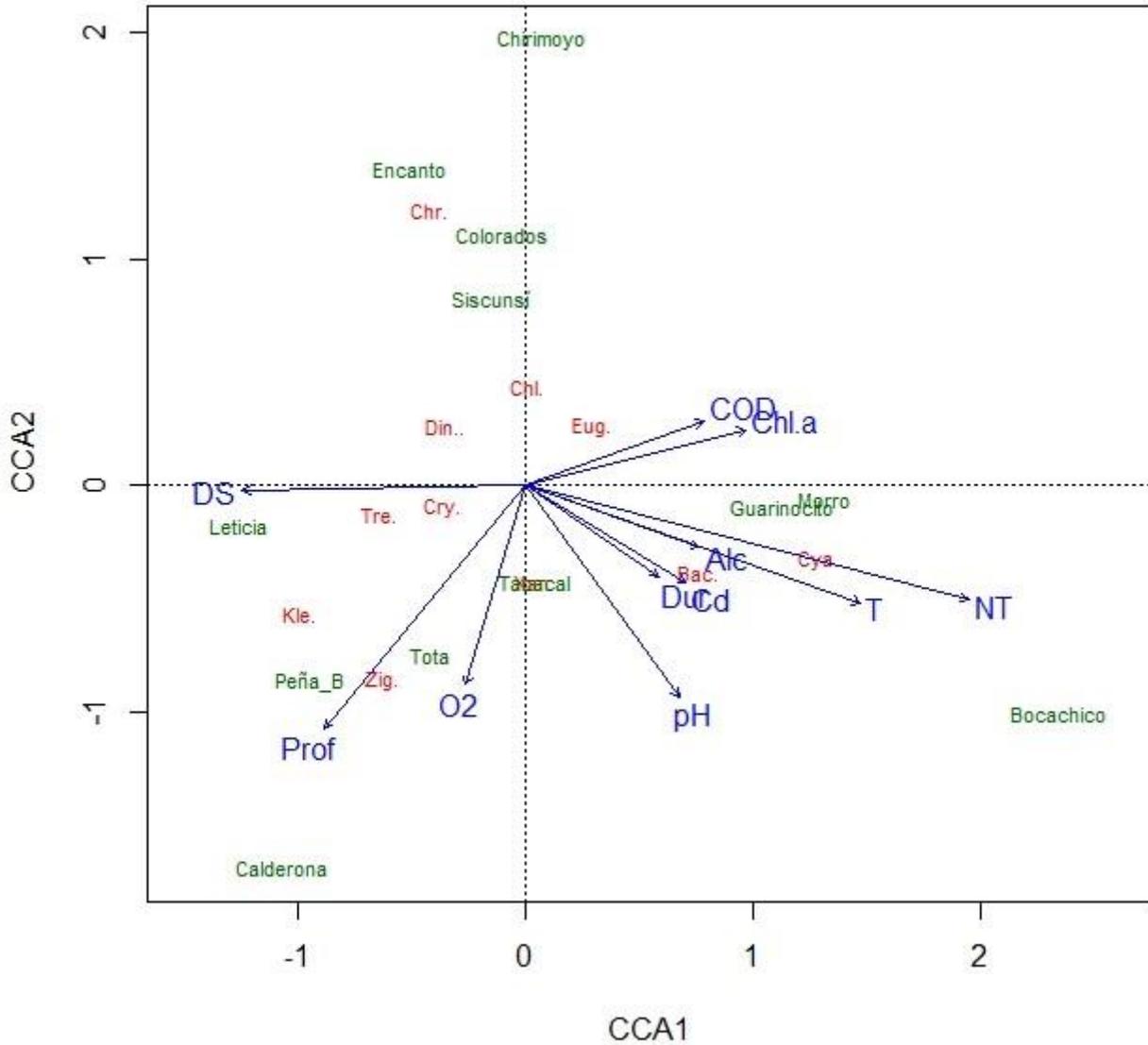


Figura 4. Análisis de correspondencia canónica (ACC) para las variables físicas, químicas, indicadores de metabolismo y clases de fitoplancton. DS: transparencia Secchi; Prof: profundidad; T: temperatura; O₂: oxígeno disuelto; Cd: conductividad eléctrica; Dur: dureza; Alc: alcalinidad; NT: nitrógeno total; COD: carbono orgánico disuelto; Chl-*a*: clorofila *a*; Bac: Bacillariophyceae; Chl: Chlorophyceae; Chr: Chrysophyceae; Cry: Cryptophyceae; Cya: Cyanophyceae; Din: Dinophyceae; Eug: Euglenophyceae; Kle: Klebsormidiophyceae; Tre: Trebouxiophyceae; Xan: Xanthophyceae; Zig: Zignematophyceae.

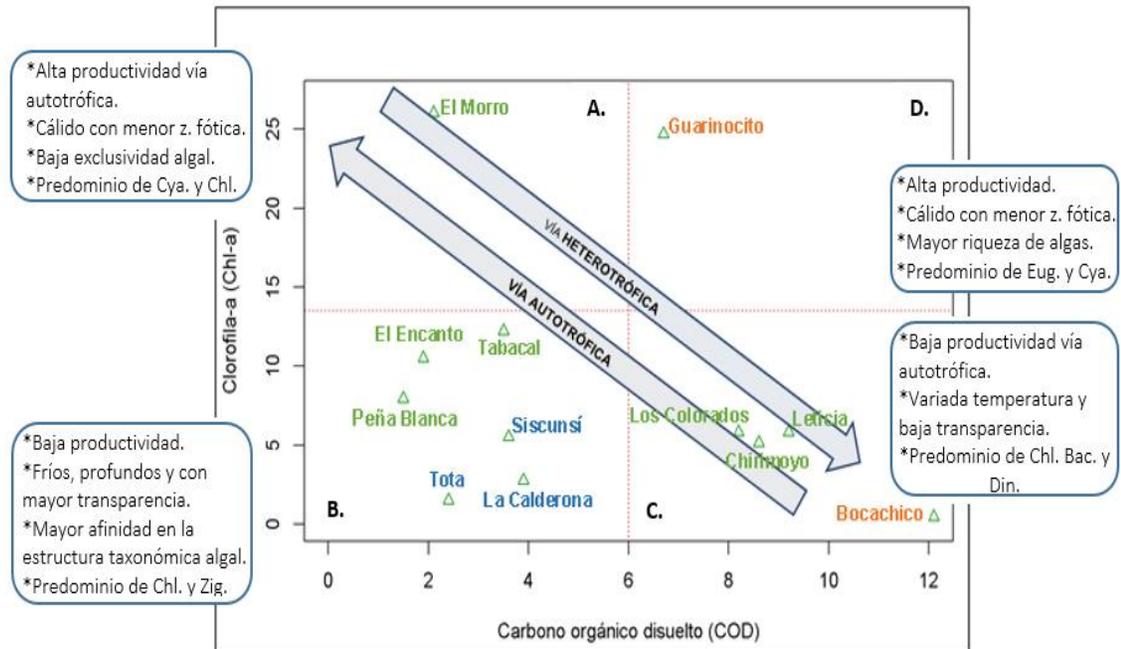


Figura 5. Modelo conceptual basado en la condición metabólica de los lagos y la asociación con estructura de fitoplancton. Azul: rango altitudinal de alta montaña tropical. Verde: rango altitudinal andino. Naranja: rango altitudinal de tierras bajas. Se usó la mediana de las variables COD y Chl-*a* como valor de referencia para separar los niveles en el modelo, generando cuatro categorías cualitativas para la clasificación de los lagos: 1) relevancia de vía autotrófica; 2) mixto con bajo nivel trófico; 3) relevancia de vía heterotrófica; 4) mixto con alto nivel trófico.

Discusión

Las diferencias en las condiciones físicas y químicas de los lagos se ajustan a las particularidades definidas por Donato (1998) para las provincias limnológicas altitudinales. Los lagos de alta montaña presentan altas transparencias y bajas temperaturas, con predominio de oligotrofia; los lagos andinos muestran una amplia variabilidad en sus características ambientales, con condiciones mesoeutróficas, y los lagos de tierras bajas cuentan con altas temperaturas y densas masas algales que ocasionan menor transparencia, con predominio de eutrofia (Donato-Rondón, 2001; Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 2008; Catalan y Donato, 2016).

Según el ACP, los lagos se ordenaron en función del grado de mineralización y la ubicación altitudinal. Esta ordenación concuerda con el diagrama de Gibbs (Gibbs, 1970), mediante el cual es posible señalar el factor de mineralización como determinante en los sistemas acuáticos. En el primer componente, las variables que presentaron mayor incidencia son de carácter geológico (conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad), mientras que en el segundo componente las

variables de mayor relevancia son de carácter altitudinal (temperatura) y geomorfológico (profundidad).

Aunque los lagos están siendo afectados por la combinación de aspectos geológicos, altitudinales y geomorfológicos, los primeros presentan mayor influencia, pues aguas ricas en sales son indicativas de la importancia de la precipitación como regulador de procesos de erosión y escorrentía en las cuencas, que provocan un alto grado de mineralización en los sistemas (Dorador *et al.*, 2003; Talling, 2009). La variación del COD se asocia a la expresión de variables relacionadas con la altitud (temperatura y profundidad), mientras que la Chl-*a* responde a la expresión de variables vinculadas con la mineralización (conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad).

En cuanto a la riqueza de géneros, se observa una tendencia positiva frente a las concentraciones de Chl-*a* de los sistemas, lo cual permite inferir que en gran medida la cantidad, la disponibilidad y la eficiencia en el uso de recursos regulan el número de especies coexistentes en un lago (Korhonen *et al.*, 2011). Es posible atribuir la exclusividad de géneros entre rangos altitudinales a condiciones locales de cada cuenca y/o a

barreras biogeográficas que pueden determinar diferentes orígenes de las comunidades (Hernández-Camacho *et al.*, 1992). En zonas de alta montaña, componentes del entorno como la perturbación suelen disminuir con el aislamiento, y este último permite la persistencia de poblaciones a lo largo del tiempo, generando zonas de endemidad y especiación (Lomolino, 2001), lo cual, en cierto grado, explica la exclusividad registrada en este rango altitudinal.

Los datos de Sorensen indican un grado medio-bajo de afinidad con base en la composición taxonómica de los géneros. De esta forma, para los lagos seleccionados se infiere la relevancia de factores locales más que los regionales para comprender la estructura del fitoplancton, entre ellos el grado de mineralización y el tipo de metabolismo predominante. También se puede pensar en los diferentes grados de alteración de las cuencas hídricas, la exposición a intervenciones antrópicas y el efecto de actividades como asentamientos, agricultura, ganadería y turismo en los sistemas (Donato, 1998).

Teniendo en cuenta las abundancias relativas, la clase Chlorophyceae presentó la mayor representatividad en los tres rangos altitudinales, lo cual concuerda con lo propuesto por Lewis y Riehl (1982), quienes afirman que es un grupo de amplia distribución y con mayor diversidad en lagos tropicales. Las dinofíceas y las criptofíceas son tolerantes a variedad de condiciones ambientales ya que pueden vivir tanto en ambientes pobres en nutrientes como en sistemas con alto contenido de materia orgánica (Donato *et al.*, 1996; De León y Chalar, 2003), lo que confirma su presencia en lagos del rango andino, caracterizados por poseer una amplia variedad de condiciones oligomesotróficas. Entretanto, la presencia de clases como Bacillariophyceae, Cyanophyceae y Euglenophyceae en lagos del rango de tierras bajas se explica por su alta capacidad de asimilación de compuestos que les posibilitan vivir en ambientes con limitación de luz, su relación con altas temperaturas y tolerancia a los diferentes cambios ambientales que se producen en el entorno donde habitan (Donato-Rondón, 2001; Esteves, 2011; López y Siqueiros, 2011; Peraza Escarrá, 2017). En cuanto a la clase Zygnemathophyceae, es un grupo característico de lagos poco mineralizados y se encuentra bien adaptado a radiaciones lumínicas elevadas (Reynolds, 1997; Donato-Rondón, 2001), lo que se refleja en su distribución en los lagos de alta montaña tropical y algunos del rango andino que presentan alta transparencia y baja conductividad eléctrica.

Los lagos mixtos con bajo nivel trófico predominaron respecto a las demás variantes metabólicas. En estos, las bajas

concentraciones de Chl-*a* pueden atribuirse a la limitación de nutrientes que afectan el crecimiento de las algas y a los gastos biológicos como la reducción de la densidad del fitoplancton por efecto potencial de la herbivoría, ocasionada particularmente por copépodos y cladóceros (Salas y Martino, 1990; Pedroza-Ramos, 2021). En cuanto a las bajas concentraciones de COD, suelen ser esperadas en sistemas que no reciben aportaciones alóctonas de materia orgánica y que dependen del florecimiento de fitoplancton como aporte de carbono para la red trófica (Alcocer *et al.*, 2014). Así pues, en estos lagos mixtos predominaron las clases Chlorophyceae y Zignematophyceae, adaptadas a condiciones de desmineralización, bajas temperaturas y bajas concentraciones de COD (Donato-Rondón, 2001; Henríquez Ramírez, 2018).

Respecto a los lagos con relevancia de la vía heterotrófica, en su mayoría pertenecientes al rango andino, el aumento de COD puede ocurrir en mayor medida por efecto de las precipitaciones y las cargas de materia orgánica generadas por escorrentía y/o modificaciones antrópicas de las cuencas (Wetzel, 1984). El predominio de la clase Bacillariophyceae en estos casos puede explicarse debido a que es uno de los grupos algales que poseen una gran valencia ecológica, lo que le permite tener representantes en diferentes condiciones tróficas, siendo más común en ambientes con presencia de materia orgánica, alta concentración de nutrientes y elevada eutrofia (Patrick, 1977; Donato *et al.*, 1996; Ortega-Mayagoitia y Rojo, 2000; Valdivia Huanca, 2019).

En el lago mixto con alto nivel trófico (rango de tierras bajas), las altas concentraciones de Chl-*a* y COD pueden deberse a eventos como el florecimiento de fitoplancton y los aportes de materia orgánica terrestre provenientes de la cuenca de drenaje (Del Giorgio y Peters, 1994; Onandia Bieco, 2015). De tal forma, el predominio de cianofíceas y euglenofíceas se puede atribuir a que son grupos conformados por organismos considerados como indicadores de ambientes eutrofizados con altas concentraciones de carbono orgánico disuelto alóctono (Duque y Donato, 1992; Peinador, 1999; Rivas Navarrete, 1999; Morales *et al.*, 2013).

La relevancia de la vía autotrófica en el lago andino El Morro puede ser el producto de la intensa proliferación de grupos de fitoplancton relacionados con sistemas altamente mineralizados, lo cual explica también las altas concentraciones de Chl-*a* y posiciona a la producción primaria autóctona como principal fuente metabólica en los sistemas (Alcocer *et al.*, 2014; Almanza-Marroquín *et al.*, 2016). El predominio de clorofíceas y cianofíceas se relaciona con altas durezas, condiciones turbias y

ambientes eutróficos (Jaramillo-Londoño y Aguirre-Ramírez, 2012; Muñoz-López *et al.*, 2017; Henríquez Ramírez, 2018).

De tal forma, se concluye que los factores de orden local, particularmente el grado de mineralización, fueron determinantes de la estructura del fitoplancton en los lagos seleccionados. En segundo término, se encuentran factores regionales como la temperatura asociada a la variación altitudinal. El efecto combinado con estos factores incide en la condición metabólica de los sistemas, lo que permitió ordenar los lagos en cuatro grupos, siendo los de carácter mixto, con evidencia de actividad autotrófica y heterotrófica, los más frecuentes; sin embargo, el efecto diferencial del estado trófico de estos lagos se refleja en la estructura del fitoplancton, tanto en la riqueza como en los grupos de mayor abundancia.

Agradecimientos

El estudio fue realizado en el marco del macroproyecto "Incidencia de la vía heterotrófica sobre aspectos funcionales de lagos andinos en un gradiente altitudinal" (cód. 2399), con financiamiento de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Referencias

Adrian, R., O'Reilly, C. M., Zagarese, H., Baines, S. B., Hessen, D. O., Keller, W., Livingstone, D. M., Sommaruga, R., Straile, D., Van Donk, E., Weyhenmeyer, G. A. y Winder, M. 2009. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography* 54 (6part2): 2283-2297. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.228.

Alcocer, J., Guzmán-Arias, A., Oseguera, L. y Escobar, E. 2014. Dinámica del carbono orgánico disuelto y particulado asociados al florecimiento de *Nodularia spumigena* en un lago tropical oligotrófico. En: Paz, F. y Wong, J., Editores. *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Programa mexicano del Carbono, Mérida, Yucatán.

Almanza-Marroquín, V., Figueroa, R., Parra, O., Fernández, X., Baeza, C., Yañez, J. y Urrutia, R. 2016. Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 44(2): 313-26. <https://doi.org/10.3856/vol44-issue2-fulltext-12>.

Aminot, A. y Rey, F. 2000. *Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods*. *International Council for the Exploration of the Sea* 112. ICES

Techniques in Marine Environmental Sciences, Copenhagen.

Andersen, P. y Thronsen, J. 2004. Estimating cell numbers. En: Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M., Cembella, A.D. y Enevoldsen, H.O. Editores. *Manual on harmful marine microalgae*. Monographs on Oceanographic Methodology, Unesco, París.

Baselga, A., Orme, D., Villeger, S., De Bortoli, J., Leprieur, F. y Logez, M. 2021. betapart: Partitioning Beta Diversity into Turnover and Nestedness Components. R package version 1.5.4. _URL: <https://CRAN.R-project.org/package=betapart>. Consultado: 15 de abril de 2021.

Bellinger, E. y Sigee, D. 2015. *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. Second Edición. John Wiley & Sons, New Jersey.

Bicudo, C. y Menezes, M. 2006. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil. Chave para identificação e descrições*. 2.a Edición. Rima Editora, São Carlos.

Borcard, D., Gillet, F. y Legendre, P. 2018. *Numerical ecology with R*. Springer. Nueva York.

Canosa, A. y Pinilla, G. 2007. Relaciones entre las abundancias del bacterioplancton y del fitoplancton en tres ecosistemas lénticos de los Andes colombianos. *Revista de Biología Tropical* 55(1): 135-46. <https://doi.org/10.15517/rbt.v55i1.6064>.

Caraballo-García, P.R., Forsberg, B.R. y Leite, R.G. 2012. Papel trófico del microbial loop en un lago de inundación en la Amazonía Central. *Acta Biológica Colombiana* 17(1): 103-16.

Carreto, J.I., Carignan, M.O., Montoya, N.G. y Cucchi Colleoni, A. D. 2007. Ecología del fitoplancton en los sistemas frontales del Mar Argentino. *El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros* 5: 11-31.

Catalan, J. y Donato, J. 2016. Perspectives for an integrated understanding of tropical and temperate high-mountain lakes. *Journal of Limnology* 75(s1): 215-34. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1372>.

Coveney, M. F. 1982. Bacterial Uptake of Photosynthetic Carbon from Freshwater Phytoplankton. *Oikos* 38(1): 8-20. <https://doi.org/10.2307/3544562>.

De León, L. y Chalar, G. 2003. Abundancia y diversidad del fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina-Uruguay). Ciclo estacional y distribución espacial. *Limnetica* 22(1-2): 103-13. <https://doi.org/10.23818/limn.22.07>.

De los Ríos, P., Soto, D. y Mansilla, A. 2010. Comunidades

- zooplanctónicas en lagos del Parque Nacional Torres del Paine: un nuevo enfoque de análisis de factores reguladores de su estructura comunitaria. *Anales del Instituto de la Patagonia* 38(1): 111-9. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2010000100008>.
- Del Giorgio, P.A. y Peters, R.H. 1994. Patterns in planktonic P:R ratios in lakes: influence of lake trophic and dissolved organic carbon. *Limnology and Oceanography* 39(4): 772-87. <https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.4.0772>.
- Dodson, S.I., Arnott, S.E. y Cottingham, K.L. 2000. The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. *Ecology* 81(10): 2662-79. [https://doi.org/10.1890/0012658\(2000\)081\[2662:TRILCB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012658(2000)081[2662:TRILCB]2.0.CO;2).
- Donato, J. 1998. Los sistemas acuáticos de Colombia: síntesis y revisión. En: Guerrero, E., Editor. *Una aproximación a los humedales en Colombia*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN)-Fondo FEN Colombia: Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis", Bogotá D.C.
- Donato-Rondón, J. 2001. *Fitoplancton de los lagos Andinos del norte de Sudamérica (Colombia)*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN)-Fondo FEN Colombia: Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis", Bogotá D.C.
- Donato, J., González, L. E. y Rodríguez, C. 1996. *Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Bogotá D.C.
- Dorador, C., Pardo, R., y Vila, I. 2003. Variaciones temporales de parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago de altura: el caso del lago Chungará. *Revista Chilena de Historia Natural* 76(1): 15-22. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2003000100002>.
- Duque, S. y Donato, J. 1992. Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. *Cuadernos divulgativos* 35: 1-21.
- Edler, L. 1979. Recommendations on methods for Marine Biological Studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and Chlorophyll. *Baltic Marine Biologists Publication* 5: 38.
- Escribano, R. y Castro, L. 2004. Plancton y productividad. *Biología Marina y Oceanografía. Conceptos y Procesos* 1: 289-312.
- Esteves, F. D. A. 2011. Fundamentos de limnología. 3.a Edición. Editorial Interciencia, Medellín.
- Gibbs, R.J. 1970. Mechanisms Controlling World Water Chemistry. *Science* 170(3962): 1088-90. <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>
- González, E.J., Ortaz, M., Peñaherrera, C., Montes, E., Matos, M. L. y Mendoza, J. 2003. Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos. *Limnetica* 22(1-2): 15-35.
- Guzmán, D., Ruiz, J.F. y Cadena, M. 2014. Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP). Informe Técnico. IDEAM, Bogotá D. C.
- Heemskerck, M., Wilson, K. y Pavao-Zuckerman, M. 2003. Conceptual Models as Tools for Communication Across Disciplines. *Conservation Ecology* 7(3): 8. <https://doi.org/10.5751/ES-00554-070308/>.
- Henriquez Ramírez, J.A. 2018. Actividad antioxidante de las microalgas *Chlamydomonas* sp. y *Pediastrum* sp. como respuesta a la radiación UV y altitud de origen. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Hernández, E., Aguirre, N., Palacio, J., Ramírez, J.J., Duque, S.R., Guisande, C., Aranguren, N. y Mogollón, M. 2013. Evaluación comparativa de algunas características limnológicas de seis ambientes leníticos de Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (69): 216-28.
- Hernández-Camacho, J., Hurtado, A., Ortiz, R. y Walschburger, T. 1992. Unidades biogeográficas de Colombia. En: Halffter, G., Editor. *La diversidad biológica de Iberoamérica*. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H. y Chao, A. 2016. iNEXT Interpolation and Extrapolation for Species Diversity: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/iNEXT/index.html>. Consultado: 15 de abril de 2021.
- Jacobsen, D. y Dangles, O. 2017. *Ecology of high altitude waters*. Oxford University Press, Oxford.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113(2): 363-75. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>

- Korhonen, J. J., Wang, J. y Soininen, J. 2011. Productivity-Diversity Relationships in Lake Plankton Communities. *PloS ONE* 6(8): e22041. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.002204>.
- Körner, C. 2007. The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecology & Evolution* 22(11): 569-74. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.09.006>.
- Kuczynska, P., Jemiola-Rzeminska, M. y Strzalka, K. 2015. Photosynthetic Pigments in Diatoms. *Marine drugs* 13(9): 5847-81. <https://doi.org/10.3390/md13095847>.
- Legendre, P. y Legendre, L. 2012. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam.
- Lewis Jr., W. y Riehl, W. 1982. Phytoplankton composition and morphology in Lake Valencia. Venezuela. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 67: 297-322.
- Lomolino, M. V. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10(1): 3-13. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2001.00229.x>.
- López, F. y Siqueiros, B. 2011. Las diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur, México. *Biodiversitas* 99: 8-11.
- Machado, K. B., Teresa, F. B., Vieira, L. C., Huszar, V. L. y Nabout, J. C. 2016. Comparing the effects of landscape and local environmental variables on taxonomic and functional composition of phytoplankton communities. *Journal of Plankton Research* 38(5): 1334-46. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbw062>.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey.
- Maldonado, M., Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega, H., Encalada, A. C., Carvajal-Vallejos, F. M., Rivadeneira, J. F., Acosta, F., Jacobsen, D., Crespo, A. y Rivera-Rondón, C. A. 2011. Biodiversity in aquatic systems of the Tropical Andes. En: Herzog, S., Martinez, R., Jorgensen, P. y Tiessen, H., Editores. *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), Montevideo.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Editorial Omega S. A., Barcelona.
- McCune, B., Grace, J.B. and Urban, D.L. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MJM Software Design, Gleneden Beach, Oregon.
- Montoya, Y. y Aguirre, N. 2009. Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables (Ciénagas) en Colombia. *Gestión y Ambiente* 12(3): 85-106 <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25323>.
- Moore, J. C., Berlow, E. L., Coleman, D. C., De Ruiter, P. C., Dong, Q., Hastings, A., Collins Johnson, N., McCann, K. S., Melville, K., Morin, P. J., Nadelhoffer, K., Rosemond, A.D., Post, D.M., Sabo, J. L., Scow, K.M., Vanni, M.J. y Wall, D.H. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters* 7(7): 584-600. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00606.x>
- Morales, E., Luna, V., Navarro, L., Santana, V., Gordillo, A. y Arévalo, A. 2013. Diversidad de microalgas y cianobacterias en muestras provenientes de diferentes provincias del Ecuador, destinadas a una colección de cultivos. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas* 34(1-2): 129-4. <https://doi.org/10.26807/remcb.v34i1-2.240>.
- Muñoz-López, C.L., Aranguren-Riaño, N.J. y Duque, S.R. 2017. Functional morphology of phytoplankton in a tropical high mountain lake: Tota Lake (Boyacá-Colombia). *Revista de Biología Tropical* 65(2): 669-83. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i2.23903>.
- Narváez-Bravo, G. y León-Aristizábal, G. 2001. Caracterización y zonificación climática de la región andina. *Meteorología Colombiana* 4: 121-6.
- Odum, E. 1972. *Ecología*. Interamericana, México D. F.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M.H., Szoecs, E. y Wagner, H. 2020. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-7. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>. Consultado: 15 de abril de 2021.
- Onandia Bieco, G. 2015. Ciclo del carbono y modelización biogeoquímica de un lago somero hipertrófico: la Albufera de Valencia. Tesis de Doctorado, Universidad de Valencia, Valencia, España.
- Ortega-Mayagoitia, E. y Rojo, C. 2000. Fitoplancton del Parque Nacional Las Tablas de Daimiel. III. Diatomeas y clorofitas. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 58(1): 17-38.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera P. y Orellana P. 1982. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales. Vol. I Cyanophyceae y Vol. II. Chrysophyceae. Universidad de Concepción, Concepción.

- Patrick, R. 1977. Ecology of freshwater diatoms and diatom community. En: Dietrich, W., Editor. *The Biology of Diatoms*. Blackwell Scientific Publications, Londres.
- Pedroza-Ramos, A. 2021. Análisis de la importancia del carbono orgánico disuelto en lagos andinos tropicales. Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia.
- Peinador, M. 1999. Las cianobacterias como indicadores de contaminación orgánica. *Revista de Biología Tropical* 47(3): 381-91.
- Peraza Escarrá, R. 2017. Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba). Tesis de Maestría, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- Potter, B.B y Wimsatt, J.C. 2005. Método 415.3. Medición de carbono orgánico total, carbono orgánico disuelto y absorbancia UV específica a 254 nm en agua de origen y agua potable. Inventario científico.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>. Consultado: 15 de abril de 2021.
- Ramírez, J. 2000. *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Editorial Universidad de Antioquia, Bogotá D. C.
- Rejas, D., Muylaert, K. y De Meester, L. 2005. Trophic interactions within the microbial food web in a tropical floodplain lake (Laguna Bufeos, Bolivia). *Revista de Biología Tropical* 53(1-2): 85-96.
- Reynolds, C.S. 1997. *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Ecology. Institute, Oldendorf.
- Reynolds, C.S. 2006. *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ricaurte, L.F., Patiño, J.E., Restrepo, D.F., Arias-G, J.C., Acevedo, O., Aponte, C., Medina, R., González, M., Rojas, S., Flórez, C., Estupiñán-Suárez, L. M., Jaramillo, Ú., Santos, A.C., Lasso, C.A., Duque Nivia, A.A., Restrepo, C.S., Vélez, J. I., Caballero Acosta, J. H., Duque, S. R., Núñez-Avellaneda, M., Correa, I.D., Rodríguez-Rodríguez, J.A., Vilardy, Q.S.P., Prieto-C, A., Rudas-LI, A., Cleef, A.M., Finlayson, C.M. y Junk, W. J. 2019. A Classification System for Colombian Wetlands: an Essential Step Forward in Open Environmental Policy-Making. *Wetlands* 39(5): 971-90. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01149-8>.
- Richerson, P. J., Neale, P. J., Wurtsbaugh, W., Alfaro, T. R. y Vincent, W. 1986. Patterns of temporal variation in Lake Titicaca. A high altitude tropical lake. I. Background, physical and chemical processes, and primary production. *Hydrobiologia* 138(1): 205-20. <https://doi.org/10.1007/BF00027241>.
- Rivas Navarrete, K.P. 1999. Importancia ecológica de la comunidad algal en el Lago Cocibolca. En: IX Congreso Científico UNAN-Managua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Roldán Pérez, G. y Ramírez Restrepo, J.J. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.
- Salas, H.J. y Martino, P. 1990. *Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima.
- Schwoerbel, J. 1975. *Métodos de hidrobiología*. Blume, Madrid.
- SigmaPlot Version 12.3 2013. Systat Software, Inc., San Jose, California. URL: <http://www.sigmaplot.co.uk/products/sigmaplot/produpdates/prod-updates18.php>. Consultado: 15 de abril de 2021.
- Steinman, A.D., Lamberti, G.A., Leavitt, P.R. y Uzarski, D.G. 2017. *Biomass and pigments of benthic algae. Methods in Stream Ecology*. Academia Press, Ghent.
- Streble, H. y Krauter, D. 1987. *Atlas de los microorganismos de agua dulce: la vida en una gota de agua*. Editorial Omega, Madrid.
- Sundqvist, M.K., Sanders, N.J. y Wardle, D.A. 2013. Community and Ecosystem Responses to Elevational Gradients: Processes, Mechanisms, and Insights for Global Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 44: 261-80. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135750>.
- Talling, J.F. 2009. Electrical Conductance – A Versatile Guide in Freshwater Science. *Freshwater Reviews* 2(1): 65-78. <https://doi.org/10.1608/FRJ-2.1.4>.
- Ter Braak, C. J. 1986. Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecology* 67(5): 1167-79. <https://doi.org/10.2307/1938672>.
- Toro Castaño, D. R., Jaramillo Salazar, M. T., Ocampo Serna, D. M., Correa, R. M. y Salgado, P. A. 2012. Estudio limnológico de la laguna negra. Zona amortiguadora del PNN Los Nevados.

Boletín Científico, Centro de Museos: Museo de Historia Natural 16(2): 23-38.

Torres-Bejarano, A.M., Duque, S.R. y Caraballo, P. 2014. Papel trófico del zooplancton a través del análisis de isótopos estables en un lago de inundación en la amazonia colombiana: The trophic role of zooplankton in a floodplain lake of Colombian amazon, through stable isotopes analysis. *Caldasia* 36(2): 331-44. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v36n2.47488>.

Trudnowska, E., Sagan, S. y Błachowiak-Samołyk, K. 2018. Spatial variability and size structure of particles and plankton in the Fram Strait. *Progress in Oceanography* 168: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.09.005>.

Utermöhl, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen* 9(1): 1-38.

Citar como: Hernández-Sierra, Y.V., Pedroza-Ramos, A.X. y Aranguren-Riaño, N.J. 2021. Estructura del fitoplancton según la condición metabólica de lagos andinos ubicados en diferente rango altitudinal *Intropica* 16(1): 153-167. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4029>.

<https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>.

Valdivia Huanca, J.C. 2019. Determinación del estado ecológico de la cuenca baja del Río Tambo; mediante bioindicadores biológicos Bacillariophyta (Diatomeas). Durante las épocas de estiaje 2018 y creciente del 2019. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

Wetzel, R. G. 1984. Detrital dissolved and particulate organic carbon functions in aquatic ecosystems. *Bulletin of Marine Science* 35(3): 503-9.

Wetzel, R.G. y Likens, G.E. 2013. *Limnological Analyses*. Springer Science & Business Media, New York.

Williamson, C. E., Morris, D. P., Pace, M. L. y Olson, O. G. 1999. Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: Resurrection of a more integrated paradigm. *Limnology and Oceanography* 44(3part2): 795-803. https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3_part_2.0795.

Material complementario

Análisis de Componentes Principales - scaling 1

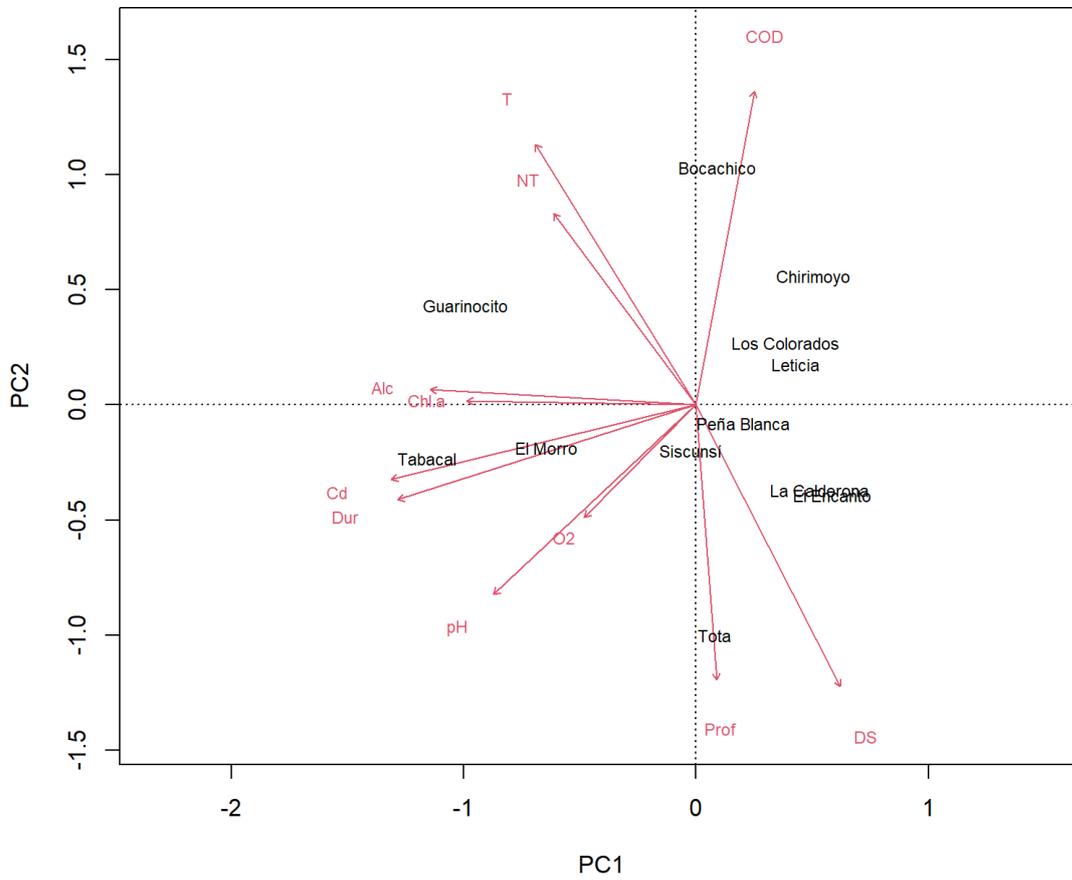


Figura 1. Análisis de Componentes Principales (ACP) para variables físicas, químicas e indicadores de metabolismo. DS: Transparencia Secchi; Prof: Profundidad; T: Temperatura; O2: Oxígeno disuelto; Cd: Conductividad eléctrica; Dur: Dureza; Alc: Alcalinidad; NT: Nitrógeno total; COD: Carbono orgánico disuelto; Chl.a: Clorofila-a.

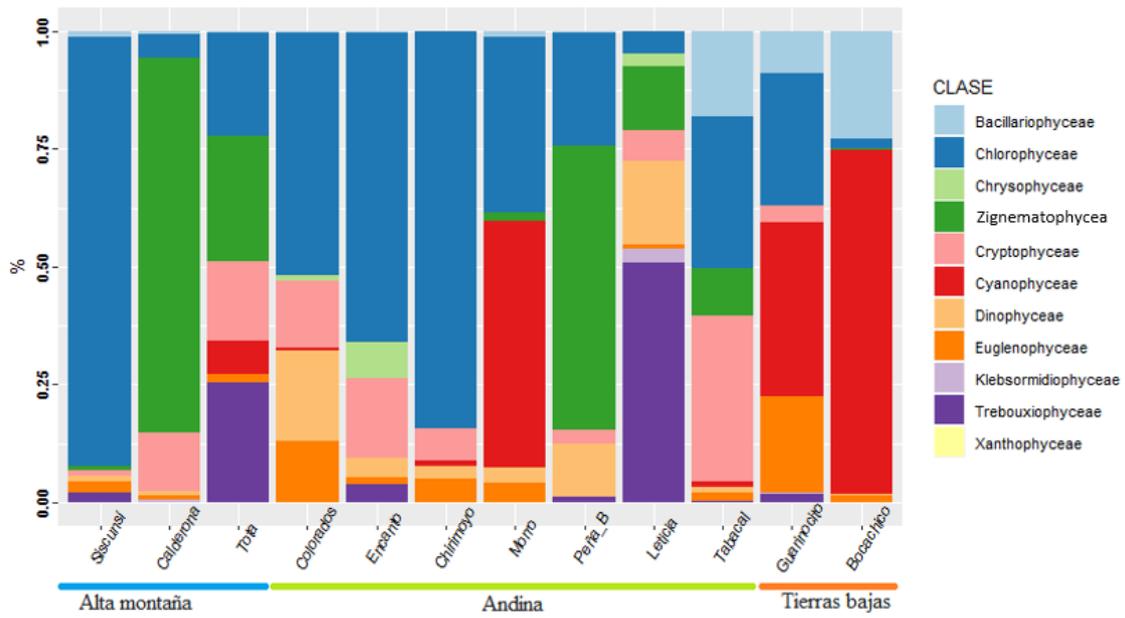


Figura 2. Abundancia relativa de las clases de fitoplancton reportadas en los 12 lagos estudiados.

Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia

Temporal variation of the phytoplankton composition and abundance in Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia

Martha Jeannette Torres-V¹ , Alejandro Henao-Castro²  y Laura Contreras-Vega^{*2} 

1. Grupo de Investigación GIBEAM, Biología Marina, Universidad del Sinú, Cartagena, Colombia

2. Grupo de Investigación de Biología descriptiva y aplicada, Programa de Biología, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia

*Autor de correspondencia: lcontrerasv@unicartagena.edu.co

Recibido: 14 de mayo de 2021

Aceptado: 27 de julio de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen

Palabras clave:
Bahía de Cartagena;
Ciénaga Honda; estuario;
fitoplancton

El fitoplancton es un grupo de organismos unicelulares fotosintetizadores que constituyen la base de las redes tróficas en todos los ecosistemas acuáticos y que, debido a su alta sensibilidad, pueden considerarse como bioindicadores de la calidad del agua. Con base a lo anterior, el propósito de esta investigación fue determinar posibles variaciones en la comunidad fitoplanctónica de Ciénaga Honda, Cartagena, durante un periodo de un año. Para esto, se realizaron muestreos en tres estaciones entre marzo y diciembre 2018, utilizando una red de 35 μm , con la que se filtraron 40 L de agua superficial. Las muestras se fijaron con formalina al 4 %. Adicionalmente, se registraron datos de temperatura (ambiente y del agua), salinidad, pH, oxígeno disuelto y velocidad del viento. Las muestras fueron sedimentadas durante 72 h, y se centrifugaron a 3000 rpm. La identificación taxonómica de los individuos se realizó hasta la categoría taxonómica más baja posible, y la densidad se expresó en cél/mL. Se identificaron cinco phyla: Chlorophyta, Ochrophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta. Las diatomeas (Ochrophyta) fueron las más representativas, seguidas de dinoflagelados. En cuanto a las condiciones ambientales, se evidenciaron variaciones significativas entre las épocas de muestreo, específicamente de temperatura del agua, salinidad y velocidad del viento. También se encontró que la salinidad fue una variable importante en las muestras recolectadas en septiembre, mientras que, para marzo, mayo y diciembre, incidieron la temperatura del agua y la velocidad del viento. La mayor presencia de células fitoplanctónicas se reportó durante los muestreos marzo y mayo de 2018, probablemente relacionados con la época climática debido a que hay menor entrada de agua continental y sedimentos, lo que favorece la penetración de luz y la fotosíntesis. La presente investigación complementa la información existente sobre fitoplancton en la Ciénaga Honda y, por lo tanto, de la bahía de Cartagena.

Abstract

Key words:
Cartagena Bay;
Ciénaga Honda;
estuary; phytoplankton

Phytoplankton is a group of photosynthesizing unicellular organisms that constitute the basis of the trophic networks in all aquatic ecosystems and due to their high sensitivity, they can be considered as bioindicators of water quality. Hence, the purpose of this research was to determine the possible variations in the phytoplankton community of Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia, during a one year period. Samplings were carried out in three stations from March to December 2018, using a 35 μm network, with which 40 L of surface water were filtered, and the samples were fixed with 4 % formalin. Additionally, data on temperature (ambient and water), salinity, pH, dissolved oxygen and wind speed were recorded. The samples were sedimented for 72 h, and then centrifuged at 3000 rpm. The taxonomic identification of the individuals was carried out up to the lowest possible taxonomic category, and the density was expressed in Cel/mL. Five phyla were identified: Chlorophyta, Ochrophyta, Cyanophyta, Dinophyta and Euglenophyta. Diatoms (Ochrophyta) were the most representative, followed by dinoflagellates. Regarding the abiotic parameters, significant variations between the sampling times were evidenced, specifically of the ambient temperature, salinity and wind speed. Additionally, it was found that salinity turned out to be an important variable in the samples collected in September, while, for March, May and December, it was the water temperature and the wind speed. The greatest presence of phytoplankton cells was reported for March and May, probably related to the climatic season, due to the fact that there is less entry of continental water and sediments, which favor the penetration of light and photosynthesis. This research complements the existing information on phytoplankton in Ciénaga Honda and, therefore, in the Bay of Cartagena.

Introducción

El fitoplancton se define como un grupo de organismos unicelulares acuáticos, los cuales se encuentran suspendidos en el agua y que, mediante corrientes, son transportados de manera pasiva. Algunas especies presentan una amplia distribución, aunque otras prefieren ambientes determinados (Báez-Polo, 2013). Estos microorganismos son los responsables de transformar la materia inorgánica en componentes orgánicos empleando la energía lumínica proveniente del sol mediante la fotosíntesis, constituyéndose en la base de la red trófica (Bravo-Sierra, 2004), por lo que son fundamentales para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos.

Debido a la alta sensibilidad que presentan estos organismos, se pueden considerar como bioindicadores de la calidad del agua (Cañón *et al.*, 2007; Báez-Polo, 2013) que, al analizarse con otros parámetros como oxígeno disuelto (OD), pH, entre otros, muestran el estado en el que se encuentra un cuerpo de agua (Pinilla *et al.*, 2010). Durante un ciclo anual, la composición taxonómica del fitoplancton puede cambiar debido a las variaciones ocurridas en las características fisicoquímicas y biológicas de la columna del agua, lo que a su vez genera fluctuaciones en cuanto a la abundancia total. Estas sucesiones en las comunidades fitoplanctónicas reflejan la capacidad que tienen las especies de responder a cambios estacionales en las variables fisicoquímicas de la columna de agua (disponibilidad de luz, nutrientes, velocidad del viento, entre otras) (Steel, 1976; Armi *et al.*, 2010; Báez-Polo, 2013; Gil-Aguilar *et al.*, 2013; Calvo-Trujillo *et al.*, 2015). Entre otros factores que pueden afectar tanto la densidad como la composición de especies de estas comunidades, se registran la velocidad del viento, el cual genera la resuspensión de sedimentos, el oleaje interno y las mareas suaves, y los procesos de mezcla vertical y la estratificación de la columna de agua (Guinder *et al.*, 2009; Pinilla *et al.*, 2010; Gil-Aguilar *et al.*, 2013; Calvo-Trujillo *et al.*, 2015).

En la literatura existen diversos estudios sobre fitoplancton de la bahía de Cartagena, la mayoría de ellos con un enfoque taxonómico (Arosemena *et al.*, 1973; Arias y Durán, 1984; García, 1987; Vidal y Carbonell, 1977; Gavilán *et al.*, 2005; Cañón *et al.*, 2005; Cañón *et al.*, 2007; Suárez, 2007; Osorio, 2010; Dimar-

CIOH, 2011). Sin embargo, no existen trabajos publicados referentes a este grupo de microorganismos presentes en Ciénaga Honda, por lo que conocer la composición de las microalgas planctónicas que habitan en este cuerpo de agua puede ser de utilidad para actualizar el conocimiento sobre la biodiversidad del fitoplancton existente allí, así como para registrar el estado en el que se encuentra el ecosistema. Teniendo en cuenta lo anterior, el propósito de esta investigación fue determinar las posibles variaciones en la comunidad fitoplanctónica de Ciénaga Honda, zona portuaria de gran importancia en la ciudad de Cartagena, Colombia.

Materiales y métodos

Área de estudio

Ciénaga Honda es un cuerpo de agua predominantemente estuarino, con entrada de agua dulce debido a la influencia del Canal del Dique (Castro, 1995). Esta ciénaga presenta una profundidad promedio registrada de 0,95 m y sedimento compuesto por material mixto de color claro, con cascajos y moluscos. Se encuentra ubicada a 18 km de la ciudad de Cartagena, y se puede acceder a ella por vía terrestre o marítima a través de la bahía de Cartagena o el Canal del Dique. Dentro del área se establecieron tres estaciones de muestreo, ubicadas a lo largo de la ciénaga (figura 1).

Las características climatológicas de la bahía de Cartagena están regidas por desplazamiento en sentido norte-sur de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) en época de lluvias y por la presencia de los vientos alisios en época seca, tal como ocurre en el resto del Caribe colombiano (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012). Típicamente, la época de lluvias comprende de agosto a noviembre y presenta un aumento en las precipitaciones, mientras que la época seca se extiende desde diciembre hasta abril, y en esta el viento presenta las velocidades más altas de todo el año (Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012). Además, existe una tercera época climática, conocida como época de transición, comprendida entre mayo y julio, con vientos débiles, en la cual se desarrolla el “veranillo de san Juan”, caracterizado por el incremento de la temperatura ambiente, cielo despejado, aumento del brillo solar y lluvias aisladas (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012).

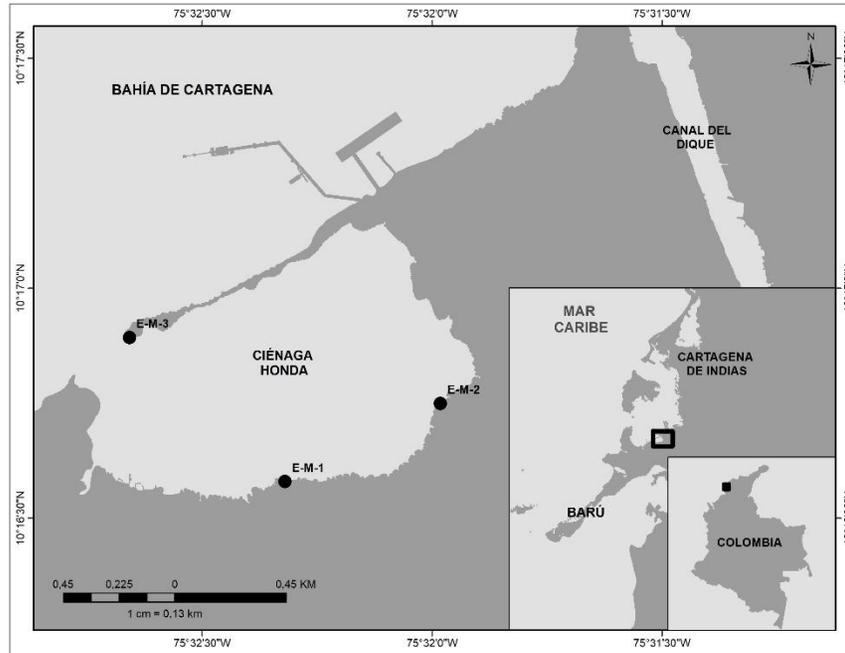


Figura 1. Área de muestreo en Ciénaga Honda. Se observa la ubicación de las tres estaciones de muestreo (E-M-1, E-M-2 y E-M-3)

Parámetros biológicos

Las muestras de fitoplancton fueron recolectadas en los meses de marzo, mayo, septiembre y diciembre de 2018 con el fin de abarcar los diferentes eventos climatológicos que se presentan en la zona de estudio a lo largo del año. El muestreo se realizó durante las horas de la mañana a nivel superficial (0,2 m de profundidad), filtrando 40 L con una red de poro de malla de 35 μ m. La fijación se efectuó inmediatamente con formalina al 4 %, con el fin de preservar el fitoplancton (Báez-Polo, 2013). Las muestras recolectadas fueron transportadas al laboratorio de la Universidad del Sinú, seccional Cartagena, debidamente almacenadas en un tiempo no mayor a una hora.

Para el procesamiento de las muestras, se empleó el método de sedimentación, dejando reposar por 72 h. Posteriormente, se centrifugaron a 3000 rpm (Ramírez, 1982; Reguera *et al.*, 2011). Para el análisis, se utilizó una cámara de conteo Neubauer y un microscopio biológico Olympus BH-2, con aumento de 400X y 1.000X. El número de células se calculó siguiendo lo descrito por Álvarez (1994) para convertirlo en número de células por mililitro según la ecuación de densidad celular:

$$Cel/mL = \frac{\sum(\text{cuatro cuadrantes de cámara Neubauer})}{4} * 10.000$$

La identificación se llevó a cabo hasta el nivel género. Para ello se utilizaron las claves taxonómicas Steidinger (1964), Bicudo y

Bicudo (1970), Prescott (1970), Bourrelly (1972), Dodge (1975), Balech (1977), Hasle y Syverstsen (1997), Vidal y Carbonell (1977), Bourrelly (1981), Corchuelo y Moreno (1983), Anagnostidis y Komarek (1986), Taylor (1987), Balech (1988), Mora, (1993), Hallegraef y Hara (2004), Vidal (2010) y Dimarcioh (2011). La sistemática se basó en la página electrónica Algaebase (Guiry y Guiry, 2017).

Parámetros fisicoquímicos

Durante la toma de muestras de fitoplancton, se realizó en paralelo la medición de parámetros fisicoquímicos. De este modo, en cada estación, para los cuatro muestreos, se obtuvieron datos de temperatura ambiente y del agua, salinidad, OD y pH con ayuda de sondas multiparamétricas (YSI-550A y Thermo-Orion StarTM). Para la velocidad del viento, se utilizó un anemómetro digital GT8907 con sensor portátil. Estos instrumentos fueron previamente calibrados según las recomendaciones del fabricante.

Análisis de datos

Comunidad fitoplanctónica

La información de composición fue recopilada en una matriz primaria de acuerdo con la clasificación taxonómica, lo que permitió valorar la composición por géneros y grupos mayores en cada estación. Consecutivamente, se estimó la densidad (cél/mL) por géneros. En ese sentido, se determinaron los

índices de diversidad de Shannon, dominancia de Simpson y uniformidad de Pielou (J') como herramientas para interpretar la relación entre el número de especies y su abundancia por época de muestreo (Ludwig y Reynolds, 1988; Ramírez, 2005).

Con el fin de comprobar la variación temporal de la composición de la comunidad fitoplanctónica en el cuerpo de agua, se aplicó un análisis de similaridad ANOSIM de una vía. Adicionalmente, se realizó un análisis de Bray-Curtis, complementado con un clúster y un escalamiento multidimensional no métrico (MDS), para observar la agrupación y la ordenación de las muestras analizadas (Digby y Kempton, 1987). Asimismo, se verificó la contribución porcentual de las especies mediante un análisis SIMPER. Todos los análisis fueron realizados a través del programa Primer V7 (Clarke y Gorley, 2015).

Parámetros fisicoquímicos

Con el fin de determinar diferencias estadísticas significativas de los parámetros fisicoquímicos entre épocas de muestreo, se aplicó la prueba estadística Kruskal-Wallis, previa comprobación de supuestos de normalidad y homocedasticidad con las pruebas Shapiro-Wilks y Levene, respectivamente, para cada parámetro (Zar, 1996). En caso de presentarse diferencias significativas, se realizó una prueba post hoc de Dunn para determinar dónde se encontraban. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (PCA) para determinar los parámetros ambientales que aportan mayor variabilidad a los datos y obtener una representación de la ordenación de las variables en relación con las épocas de muestreo. Todos estos análisis fueron ejecutados utilizando el programa estadístico Past versión 4.05 (Hammer *et al.*, 2001). Finalmente, para establecer las relaciones existentes entre los factores fisicoquímicos y la comunidad fitoplanctónica, todas las variables fueron estandarizadas para su respectivo rango de máximos y mínimos, siguiendo la metodología descrita en Guisande y Barreiro (2006). Asimismo, se aplicó una prueba de emparejamiento ambiente biota (BIOENV) por medio del programa Primer v7 (Clarke y Gorley, 2015).

Resultados

Comunidad fitoplanctónica

Se identificó un total de 30 géneros distribuidos en cinco *phyla* principales: Chlorophyta, Ochrophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta. Las diatomeas (Ochrophyta) presentaron la mayor riqueza, con 16 especies, seguidas de los dinoflagelados (Dinophyta), con ocho especies (tabla 1). En cuanto a densidad,

se registró un total de 5,100,869 cél/mL. Nuevamente, sobresalen las diatomeas con 3,615,550 cél/mL, seguidas de las clorófitas (Chlorophyta) con 473,759 cél/mL (tabla 1). Las especies *Coscinodiscus* sp. y *Chaetoceros* spp. presentaron las mayores abundancias en todo el estudio (421,600 y 319,100 cél/mL, respectivamente).

Tabla 1. Riqueza y abundancia general por grupos taxonómicos. N=abundancia (cél/mL). S=riqueza (N.º de especies).

Grupo	N	S
Clorophyta	473.759	3
Ochrophyta	3.615.550	16
Cianophyta	58.000	2
Dinophyta	919.860	8
Euglenophyta	33.700	1

La estación E-M-3 registró la mayor riqueza, con 30 especies, seguida de E-M-1 y E-M-2, en las que se observaron 26 especies. Diatomeas y dinoflagelados tuvieron la mayor frecuencia, así como la mayor riqueza de especies en todas las estaciones del estudio, mientras que las cianófitas y las euglenófitas fueron exclusivas en la estación E-M-3. En términos de densidad, sobresale la estación E-M-1 con 1.811.959 cél/mL, seguida de E-M-3 (figura 2). Las diatomeas dominaron en la estación E-M-1 (1.336.170 cél/mL), siendo la especie *Chaetoceros* spp. la más abundante, con 94.000 cél/mL; por su parte, en E-M-3 predominaron los dinoflagelados (318.600 cél/mL).

Los análisis de atributos ecológicos mostraron que la estación más diversa fue E-M-3 ($H'=2,82$), que a su vez presentó los valores más altos de uniformidad ($J'=0,96$) y el menor predominio ($\lambda=0,07$). A esta le siguen E-M-2 y E-M-1, respectivamente.

Para marzo, se identificó un total de 24 especies, siendo las diatomeas el grupo con la mayor riqueza ($S=16$), seguidas de los dinoflagelados, con cinco especies. Por otro lado, se obtuvo una densidad total de 1.442.363 cél/mL. Durante este mes, la estación E-M-1 presentó la mayor densidad, con 543.480 cél/mL (figura 3a), mientras que la mayor riqueza se observó en E-M-3 (22 especies). Las diatomeas sobresalen nuevamente con la mayor densidad, especialmente en la estación E-M-1, con 426,000 cél/mL (figura 3a), siendo *Chaetoceros* spp. la especie más abundante (94.000 cél/mL). Dinoflagelados, clorófitas, cianófitas y euglenófitas estuvieron presentes en menor proporción (253.760, 39.100, 24.300 y 20.600 cél/mL, respectivamente) (figura 3a).

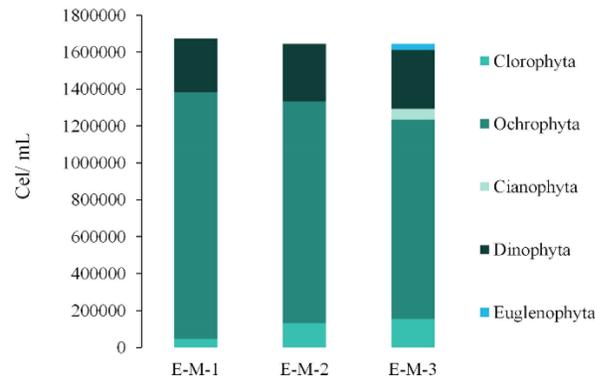


Figura 2. Densidad (cél/mL) de los grupos principales por estación de muestreo.

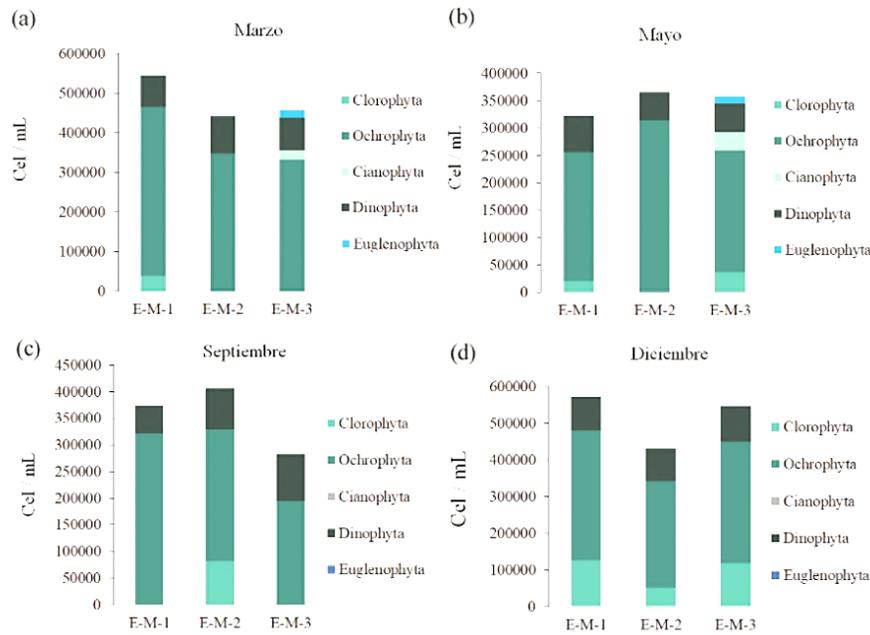


Figura 3. Densidad (cél/mL) por mes de muestreo. (a) marzo, (b) mayo, (c) septiembre, (d) diciembre.

En mayo se hallaron 21 especies y 1.045.500 cél/mL. La estación E-M-2 exhibió la mayor densidad (365.100 cél/mL) (figura 3b), mientras que la mayor riqueza se observó en E-M-3 (20 especies), con representantes de todos los grupos taxonómicos identificados para el estudio. Las diatomeas sobresalen en todas las estaciones en densidad y riqueza, seguidas de los dinoflagelados (figura 3b). La especie más abundante durante este mes fue *Pseudo-nitzschia* sp. con 87.000 cél/mL.

En septiembre se obtuvo la menor riqueza de todo el estudio (16 especies) y una densidad de 1.064.106 cél/mL. Similar a lo observado durante mayo, se registró la mayor densidad en la estación E-M-2 (406.900 cél/mL), así como la mayor riqueza, con 17 especies. Las diatomeas dominaron en todas las estaciones

(figura 3c), siendo las especies *Chaetoceros* spp., *Coscinodiscus* sp. y *Pleurosigma* sp. las más abundantes con 87.000 cél/mL cada una, seguidas de la clorófito *Eudorina* sp. con 70.000 cél/mL. Los dinoflagelados también fueron frecuentes en todas las estaciones (figura 3c).

En cuanto a diciembre, se obtuvo la mayor densidad del año (1.548.900 cél/mL) y se identificaron 22 especies, con representantes de tres grupos taxonómicos (diatomeas, dinoflagelados y clorófitas) (figura 3d). La estación E-M-1 registró la mayor densidad (572.170 cél/mL), mientras que la mayor riqueza se observó en E-M-3 (21 especies). Tal como se evidenció durante el resto del año, las diatomeas fueron el grupo dominante, con 977.150 cél/mL (figura 3d), sobresaliendo

las especies *Chaetoceros* spp., *Coscinodiscus* sp. y *Pinnularia* spp., todas con 87.000 cél/mL.

Los análisis de atributos ecológicos mostraron una mayor diversidad en marzo ($H'=2,78$), y la menor se dio en septiembre ($H'=2,43$). En general, los valores de uniformidad fueron altos durante todo el año ($J'>0,9$), y el predominio fue bajo ($\lambda<0,2$).

Adicionalmente, se identificaron dos géneros de cianobacterias reportados en la literatura como productoras de cianotoxinas, aunque no fueron abundantes ni predominantes en todos los muestreos: *Oscillatoria* sp. y *Microcystis* sp. Asimismo, se identificó en bajas densidades la especie *Pseudo-nitzschia* sp., la cual se conoce por producir una neurotoxina llamada ácido domoico, que es responsable de intoxicación en humanos por consumo de moluscos.

El análisis de similaridad de Bray-Curtis (índice cofenético=0,7209), apoyado con la prueba SIMPROF y complementado con el MDS (estrés=0,14), mostró la clara separación de cada uno de los meses muestreados (figura 4 a y b). Asimismo, el análisis

SIMPER evidenció una mayor contribución de la especie *Chaetoceros* spp. en marzo y mayo (8,55 % y 8,34 %, respectivamente), mientras que septiembre tuvo una mayor contribución de la especie *Pleurosigma* sp., con 9,73 %, y en diciembre se destacó la especie *Nannochloropsis* sp., con 7,42 %.

Parámetros fisicoquímicos

Ciénaga Honda se caracterizó por una temperatura promedio de $30,03 \pm 3,25$ °C y salinidad entre 19 y 32,5 ppm. Asimismo, el pH evidenció un ambiente alcalino ($8,18 \pm 0,64$), y el OD osciló entre 5,8 y 8 mg/L. Finalmente, durante el año de muestreo, la velocidad promedio del viento fue de $18,18 \pm 2,10$ km/h. Los valores más bajos se observaron en mayo para los parámetros de salinidad (20,50 ppm) y OD (7,33 mg/L), mientras que los mayores registros de salinidad se dieron en septiembre (31,70 ppm), y los de OD, en marzo (tabla 2).

Tabla 2. Condiciones ambientales registradas durante los cuatro muestreos en las tres estaciones en Ciénaga Honda. Temperatura del agua (T°H₂O), desviación estándar (DE), temperatura ambiente (T°amb.), salinidad (SAL), velocidad del viento (VelViento), oxígeno disuelto (OD) y pH.

Mes	T°H ₂ O (°C)	DE	T°amb. (°C)	DE	SAL	DE	OD (mg/L)	DE	pH	DE	VelViento km/h	DE
Marzo	31,00	3,46	29,10	0,00	20,50	0,50	8,00	0,00	8,33	0,58	19,30	0,00
Mayo	30,50	1,37	32,13	2,80	19,33	0,58	7,33	0,58	8,23	0,40	19,43	0,23
Septiembre	28,23	6,10	32,50	0,85	31,70	1,39	6,87	0,92	8,13	0,06	14,70	0,00
Diciembre	30,37	0,32	29,53	0,31	21,10	1,13	7,63	0,15	8,00	0,17	19,30	0,00

Tabla 3. Variaciones de condiciones ambientales entre épocas de muestreo a partir de prueba Kruskal-Wallis. Diferencias significativas (*).

Parámetro	H(3, N=12)	P valor
T°H ₂ O	0,2315	0,9723
T°amb.	8,3475	0,0394*
Salinidad	9,2187	0,0265*
Oxígeno disuelto	6,7579	0,08
pH	1,2406	0,7433
Velocidad viento	9,5000	0,0233*

Los resultados evidenciaron variaciones en las condiciones ambientales entre las épocas de muestreo, específicamente en la temperatura ambiente, la salinidad y la velocidad del viento (tabla 3). En el caso de la primera, se hallaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre diciembre ($29,53 \pm 0,31$) y septiembre ($32,50 \pm 0,85$), marzo ($29,10 \pm 0$) y mayo ($32,13 \pm 2,80$), y marzo ($29,10 \pm 0$) y septiembre ($32,50 \pm 0,85$). Para la

salinidad y la velocidad del viento, por su parte, los valores más alto y más bajo, respectivamente, se registraron en septiembre ($31,70 \pm 1,39$ y $14,70 \pm 0$, en ese orden), contrastando con las otras épocas.

A partir del análisis de emparejamiento ambiente-biota (BIOENV), se encontró que el conjunto de variables que mejor explicó la abundancia de las especies de microalgas en la

Ciénaga Honda fueron la salinidad ($r= 0,134$), el pH ($r= 0,126$) y la velocidad del viento ($r= 0,124$).

En cuanto al análisis de componentes principales, se encontró que los primeros dos componentes explicaron el 92,74 % de variación de los datos. En estos componentes, se encontró que los parámetros ambientales que contribuyeron con mayor variación fueron la salinidad, la temperatura del agua y la

velocidad del viento. Adicionalmente, se evidenció que la salinidad resultó ser una variable importante en las muestras obtenidas en septiembre, mientras que en marzo, mayo y diciembre los parámetros ambientales que contribuyeron con una mayor influencia fueron la temperatura del agua y la velocidad del viento (figura 5).

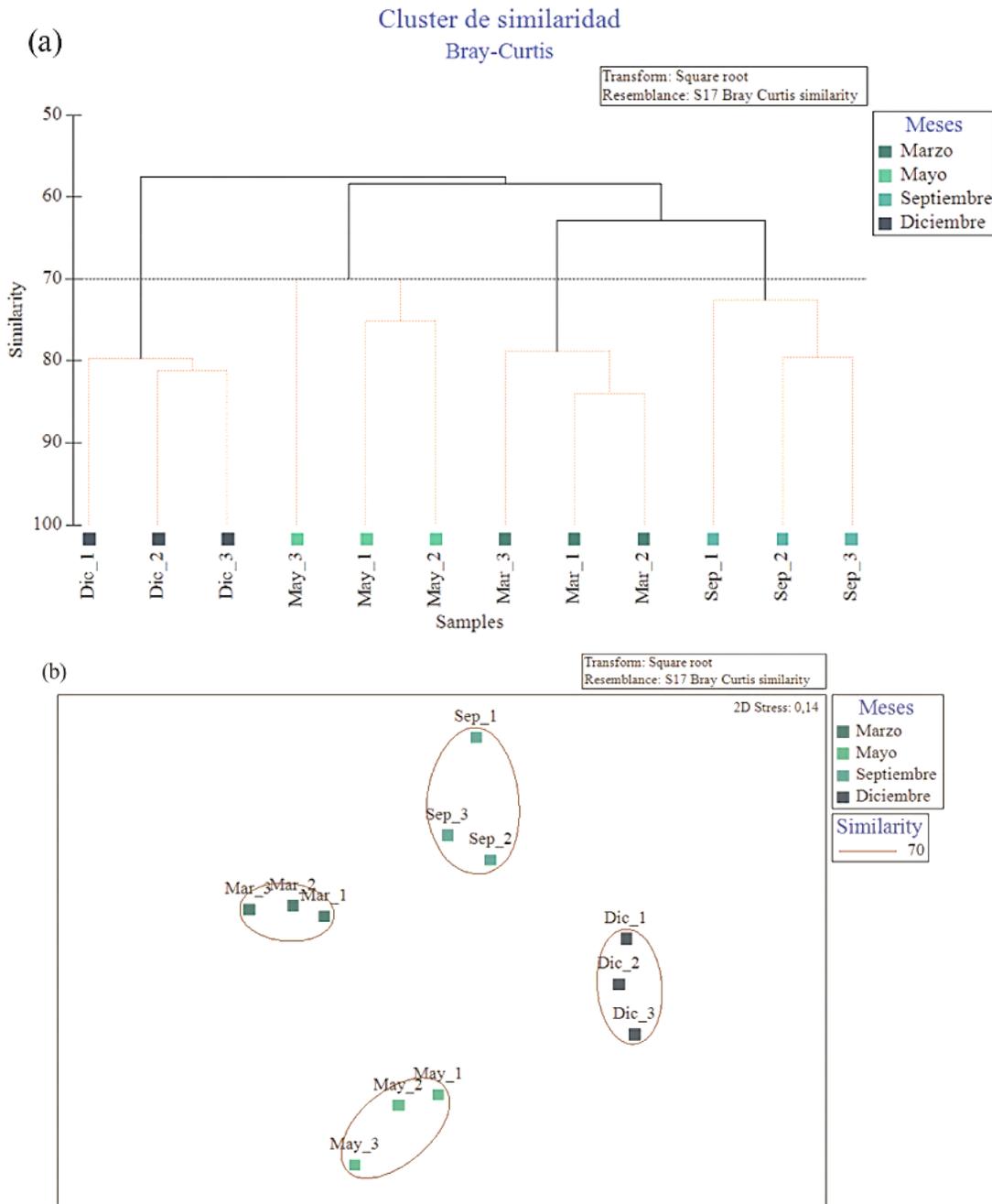


Figura 4. Gráficos de clasificación y ordenación. (a) Dendrograma de similaridad Bray-Curtis; (b) escalamiento multidimensional no métrico.

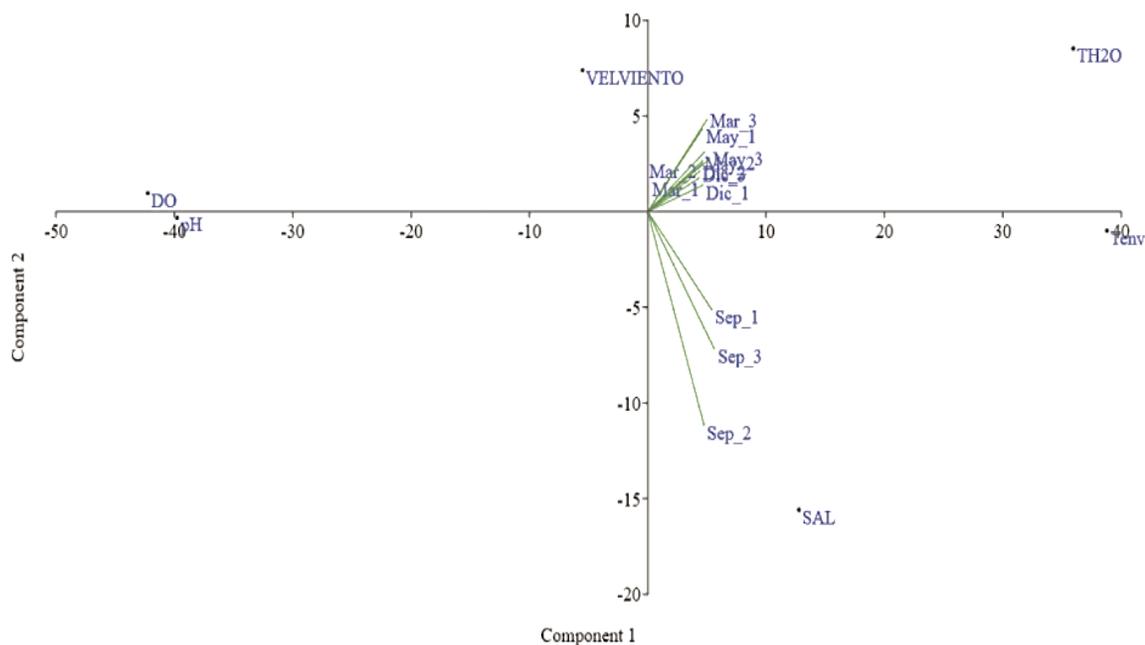


Figura 5. Gráfico de componentes principales. Se observa la influencia de la salinidad en septiembre, mientras que la velocidad del viento tiene mayor influencia en marzo, mayo y diciembre.

Discusión

Las diatomeas son el grupo más abundante y evidente de las aguas marinas (Lalli y Parsons, 1997), tal como se observó en el presente estudio (figura 2 y 3), ya que en cada uno de los meses muestreados se obtuvo una dominancia absoluta de este grupo taxonómico, seguido por la abundancia de los dinoflagelados, considerados como el segundo grupo más representativo del fitoplancton (Balech, 1977). Así pues, mientras que estos dos han sido reportados como los grupos más frecuentes en la bahía de Cartagena, las cianófitas y las clorófitas se registran en menor abundancia y por épocas (Suárez, 2007), en especial en cuerpos de agua dulce, neríticos y estuarios (Dawes, 1991); además, estas últimas son consideradas indicadores de procesos de eutrofización (McLusky y Elliot, 2004). En estudios anteriores realizados en la bahía de Cartagena por Tigreros (2002), Cañón *et al.* (2005), Suárez (2007), Suárez *et al.* (2007) y Osorio (2010), también se evidenció este hecho.

Para la zona costera del departamento del Magdalena, Ramírez-Barón *et al.* (2011) también reportan densidades considerablemente altas y frecuentes de diatomeas en la totalidad del periodo de los muestreos, con densidades promedio superiores a 2,000 cél/L y notable dominancia de

once géneros: *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, *Guinardia*, *Bacteriastrum*, *Leptocylindricus*, *Helicotheca*, *Thalassionema*, *Asterionellopsis*, *Pseudo-nitzschia* y *Nitzschia*. Igualmente, para la bahía de Taganga, el grupo de las diatomeas mostró una alta presencia lo largo del estudio (Cárdenas, 2012).

El género más representativo en la presente investigación fue *Chaetoceros*, el cual se distribuye ampliamente en aguas oceánicas y, adicionalmente, presenta especies cuyas afloraciones pueden ser peligrosas (Sunesen *et al.*, 2008). *Coscinodiscus* sp. también fue representativo en el estudio, y es un género que se caracteriza por ser indicador de condiciones de alta cantidad de nutrientes y/o eventos de surgencia.

Las concentraciones de microalgas tóxicas fueron bajas en comparación con otros estudios en los que especies del género *Pseudo-nitzschia* sp. dominan en la comunidad fitoplanctónica (44 % de representatividad) en épocas de lluvias (Córdoba-Mena *et al.*, 2020). No obstante, es importante mantener la vigilancia de estas especies, sobre todo en zonas cercanas a fuentes de entrada de nutrientes y materia orgánica como es el caso de Ciénaga Honda (Pinilla *et al.*, 2010).

Por su parte, el dendrograma de similitud de Bray-Curtis mostró la separación de cada uno de los meses estudiados,

posiblemente influenciada por los marcados eventos climatológicos característicos del área de estudio. De este modo se observaron mayores densidad y riqueza en marzo, mayo y diciembre, considerados como típicamente secos debido a sus bajas precipitaciones y altas temperaturas y velocidad de viento, contrario a lo observado en septiembre, cuando empieza a aumentar la frecuencia de las precipitaciones (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012). La mayor presencia de células fitoplanctónicas se reportó durante los muestreos efectuados en marzo y mayo de 2018, probablemente relacionada con la época climática debido a que hay menor entrada de agua continental y sedimentos, lo que favorece la penetración de luz y la fotosíntesis (Franco-Herrera, 2005).

Lo anterior puede complementarse con los resultados obtenidos en los análisis de parámetros fisicoquímicos (Kruskal-Wallis, BIO-ENV y PCA), los cuales muestran una marcada relación de la salinidad, la temperatura del agua y la velocidad del viento con los parámetros biológicos. La primera es más baja en septiembre, mientras que las dos últimas se presentaron en mayor proporción para marzo, mayo y diciembre, tal como se ha reportado para las épocas seca y lluviosa (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012).

La velocidad del viento, con las turbulencias, permite la suspensión de organismos planctónicos, garantizando su permanencia en la columna de agua, especialmente las diatomeas, que tienden a exhibir sus mayores abundancias cuando este parámetro es relativamente constante durante el año (Calvo-Trujillo *et al.*, 2015), tal como se observa en el presente estudio. Asimismo, se ha establecido que en la época de lluvias la velocidad del viento disminuye, lo que ocasiona una estabilidad de la columna de agua que, asociada a los cambios en la salinidad, genera variaciones en la composición de las comunidades (Quintero y Terejova, 2010; Salazar-Gómez *et al.*, 2011). Lo mismo ocurre con el aumento en la temperatura en los meses secos (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012), lo cual también pudo influir en la separación de los meses de muestreo.

Las características fisicoquímicas reportadas en la presente investigación (tabla 2) son consistentes con reportes previos. Si bien son pocos los estudios sobre este cuerpo de agua, una investigación de Pinilla *et al.* (2010) en el complejo de ciénagas del bajo Canal del Dique, a través de la articulación de diferentes indicadores ecológicos, entre estos OD y pH (6 mg/L y 7,99, respectivamente), reporta que Ciénaga Honda presenta un índice de estado limnológico aceptable (IEL= 52,95). De esta manera dicho cuerpo de agua cobra relevancia para la región,

sobre todo si se considera que es destacado como una zona de importancia pesquera para los pobladores locales. En ese orden de ideas, se debe continuar con investigaciones que permitan hacer seguimiento de las condiciones fisicoquímicas y las comunidades acuáticas, haciendo énfasis en el fitoplancton ya que responde rápidamente a cambios ambientales y es comúnmente usado como un bioindicador del estado de salud de los ecosistemas acuáticos (Hemraj *et al.*, 2017).

Conclusión

En el presente estudio se realizó una descripción detallada de la composición de la comunidad fitoplanctónica de Ciénaga Honda y de su dinámica durante un año. Además, se logró establecer las variables ambientales que presentan mayor incidencia sobre esta comunidad.

Para los periodos de muestreo considerados, la comunidad fitoplanctónica de la Ciénaga Honda se caracterizó por la dominancia de las diatomeas. Las variaciones más bajas en la composición de la comunidad ocurrieron principalmente entre muestreos de septiembre, mientras que los cambios entre los demás meses fueron menos intensos. Las variables fisicoquímicas que tuvieron cambios significativos entre muestreos fueron la temperatura ambiente, la salinidad y la velocidad del viento, lo que se atribuye al patrón climático para la zona de estudio.

Se identificaron dos géneros de cianobacterias reportados en la literatura como productoras de cianotoxinas (*Oscillatoria* sp. y *Microcystis* sp.), así como la especie *Pseudo-nitzschia* spp., productora de una neurotoxina, por lo que se recomienda hacer nuevos estudios que permitan monitorear el estado del cuerpo de agua y así prevenir posibles problemas de salud pública. La presente investigación complementa la información existente sobre fitoplancton de la Ciénaga Honda y, por lo tanto, de la bahía de Cartagena (Bolívar).

Agradecimientos

A la empresa Sociedad Portuaria Puerto Bahía por la cofinanciación y el apoyo logístico. A la Universidad del Sinú y a la Escuela de Biología Marina por el apoyo en el procesamiento y análisis de las muestras. A María Paula Molina por la ayuda en la elaboración del mapa de área de estudio. Agradecemos a todas las personas que apoyaron durante los muestreos y a los evaluadores por sus comentarios y sugerencias que

contribuyeron significativamente con la mejora del manuscrito.

Referencias

- Álvarez, H. 1994. *Introducción al Método Ficológico*. Capítulo III. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- Anagnostidis, K. y Komarek, J. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes Oscillatoriales. *Archiv für hydrobiologie supplement* 50-53: 327-472.
- Arias, F. y Durán, J. 1984. Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena para 1980. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena, Colombia.
- Armi, Z., Trabelsi, E., Turki, S., Béjaoui, B. y Maiz, N.B. 2010. Seasonal phytoplankton responses to environmental factors in a shallow Mediterranean lagoon. *Journal of Marine Science and Technology* 15(4): 417-26. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00773-010-0093-y>
- Arosemena, D., Cárdenas, H., Garzón, F., Ibáñez, F., Moreno, C. y Sierra, J. 1973. Algunos dinoflagelados y diatomeas de la bahía de Cartagena y alrededores. Informe Museo del Mar.
- Báez-Polo, A. 2013. *Manual de métodos de ecosistemas marinos y costeros con miras a establecer impactos ambientales. Convenio para establecer el fortalecimiento de los métodos de investigación marina para actividades costa afuera por parte del sector de hidrocarburos*. Invemar-ANH, Santa Marta.
- Balech, E. 1977. *Introducción al fitoplancton marino*. Universitaria, Buenos Aires
- Balech, E. 1988. *Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografía*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Bicudo, C.E.M. y Bicudo, R.M.T. 1970. *Algas de águas continentais brasileiras. São Paul o Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências*. Do Instituto de Botânica. Editora Da Universidade De São Paulo, Brasil.
- Bourrelly, P. 1972. *Les Algues d'Eau Douce. N. Boubée et Cie*, Paris. Tomo I. Les Vertes Algues, París.
- Bourrelly, P. 1981. *Les Algues d'Eau Douce. Tome II. Les Algues Jauneset Brunas, Chromophycees, Chrysophycees, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées*. Segunda edición. N. Boubéeet Cie, París.
- Calvo-Trujillo, A., Díaz-Ramos, J., Subero-Pino, S., Charzeddine-Charzeddine, L., Rincones-Reyes, K., Troccoli-Ghinaglia, L., Elguezabal-Mendez, M., Marin, B. y -Marquez, B. 2015. Variación a corto plazo del fitoplancton en la bahía de Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela, durante la época de lluvias. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 53(1): 13-24.
- Bravo-Sierra, E. 2004. Fitoflagelados potencialmente tóxicos y nocivos de costas del Pacífico mexicano. *Revista de Biología Tropical* 52: 5-16.
- Cañón, M. L., Vanegas, T., Gavilán, M., Morris, L.F. y Tous, G. 2005. Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la bahía de Cartagena y buques de tráfico internacional. *Boletín Científico CIOH* 23: 46-59. Doi: https://doi.org/10.26640/01200542.23.46_59.
- Cañón, M. L., Tous, G., López, K., López, R. y Orozco, F. 2007. Variación espacio temporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico de la bahía de Cartagena. 2007. *Boletín Científico CIOH* 25: 120-134.
- Cárdenas García, A.C. 2012. Variación Espaciotemporal de la Composición en la Comunidad fitoplanctónica en la bahía de Taganga, Caribe colombiano. Tesis de pregrado, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Castro L.A. 1995. Estudio de la contaminación microbiológica y su relación con los parámetros fisicoquímicos en la bahía de Cartagena (Sector Laguito-Bocagrande). *Boletín Científico CIOH* 16: 73-90. Doi: <https://doi.org/10.26640/22159045.79>.
- Clarke, K.R. y Gorley, R.N. 2015. *Getting started with PRIMER V7*. PRIMER-E, Plymouth, Reino Unido.
- Córdoba-Mena, N., Flórez-Leiva, L., Atehortúa, L. y Obando, E. 2020. Changes in phytoplankton communities in a tropical estuary in the colombian Caribbean Sea. *Estuaries and Coasts* 43: 1-22. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00750-z>.
- Corchuelo, C. y Moreno, G. 1983. Contribución al conocimiento del fitoplancton y algunos tintinidos del Pacífico colombiano. Tesis de doctorado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.
- Dawes, C.J. 1991. *Botánica Marina*. Primera edición. Editorial Limusa, México D.F.
- Digby, P. y Kempton, R. 1987. *Multivariate Analysis of Ecological Communities*. Chapman and Hall, Londres.
- Dimar-CIOH. 2011. *Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete del Caribe y agua de Lastre*. Dimar, Serie de Publicaciones Especiales CIOH, Cartagena.

- Dodge, R. 1975. The Porocentrales (Dinophyceae). II. Revision of taxonomy within the genus *Prorocentrum*. *Biological Journal of the Linnean Society* 71: 103-25. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1975.tb02449.x>.
- Franco-Herrera, A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira. El rodadero, más que un centro turístico en el Caribe Colombiano. Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- García, R. 1987. Composición, distribución vertical y abundancia de tintínidos y dinoflagelados en la bahía de Cartagena entre septiembre y diciembre de 1984. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena, Colombia.
- Gavilán, M., Cañón, M. y Tous, G. 2005. Comunidad fitoplanctónica en la bahía de Cartagena y en aguas de lastre de buques de tráfico internacional. *Boletín Científico CIOH* 23: 60-75. Doi: https://doi.org/10.26640/01200542.23.60_75
- Gil-Aguilar, J., Labastida-Estrada, E., Mineros-Ramírez, R., Ramírez-Pérez, E., Tenorio-Romero, R.M. 2013. Chautengo Lagoon, Guerrero (February 2009): estimation of primary production and phytoplankton biomass and their association to some environmental conditions. *Revista Digital del Departamento* 2(4): 1-14.
- Guinder, V.A., Popovich, C.A. y Perillo, G.M.E. 2009. Particulate sus-pended matter concentrations in the Bahia Blanca Estuary, Argentina: implication for the development of phytoplankton blooms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85: 157-65. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.05.022>.
- Guiry, M. y Guiry, G. 2017. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. _URL_ <http://www.algaebase.org>. Consultado 10 de octubre del 2020.
- Guisande, C. y Barreiro, A. 2006. *Tratamiento de datos*. Ediciones Díaz de Santos, Galicia.
- Gutiérrez-Moreno, C., Marrugo, M. y Adrade, C. 2012. Respuesta del ambiente marino a algunos eventos meteorológicos sinópticos medidos sobre los arrecifes de San Andrés y de las Islas del Rosario, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 41(1): 219-28.
- Hallegraeff, G.M. y Hara, Y. 2004. Taxonomy of harmful marine raphidophytes. En: Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M.A.D., Cembella, Editores. *Manual on Harmful Marine Microalgae*. Segunda edición. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization Publishing, París.
- Hammer, O., Harper, D. y Ryan, P. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1-9.
- Hasle, G.R. y Syvertsen, E.E. 1997. Marine Diatoms. En: Tomas, C.R., Editor. *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press Inc, California.
- Hemraj, D.A., Hossain, A., Ye, Q., Qin, J. y Leterme, S. 2017. Plankton bioindicators of environmental conditions in coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 184: 102-14. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.10.045>.
- Lalli, C. y Parsons, T. 1997. *Biological Oceanography: an introduction*. Segunda edición. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Ludwig, J.A. y Reynolds, J.F. 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. Wiley-Interscience Pub, Nueva York.
- McLusky, D.S. y Elliot, M. 2004. *The estuarine ecosystem ecology. Threats and management*. Tercera edición. Oxford University Press.
- Mora, M.A. 1993. Contribución al conocimiento de los dinoflagelados de las zonas de surgencia. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena, Colombia.
- Osorio, J.S. 2010. Dinámica espacio-temporal del fitoplancton en la bahía de Cartagena y su relación con parámetros fisicoquímicos en un ciclo climático anual. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.
- Pinilla, G., Duarte, J. y Vega, L. 2010. Índice de estado limnológico (IEL) para evaluar las condiciones ecológicas de las ciénagas del Canal del Dique, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 15(2): 169-88.
- Prescott, G.W. 1970. *The fresh water algae*. W.M.C. Brown Company Publishers, Washington, D.C.
- Quintero, A. y Terejova, G. 2010. Brisas de mar y tierra al norte de la península de Araya, estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 49(1): 41-52.
- Ramírez, J.J. 1982. El fitoplancton: métodos de muestreo, concentración, recuento y conservación. *Actualidades Biológicas* 11(39): 30-6.
- Ramírez, A. 2005. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico.

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Ramírez, J.J. 1982. El fitoplancton: métodos de muestreo, concentración, recuento y conservación. *Actualidades Biológicas* 11(39): 30-6.

Ramírez, A. 2005. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Ramírez-Barón, J.S., Franco-Herrera, A., García-Hoyos, L.M. y López, D.A. 2011. La comunidad fitoplanctónica durante eventos de surgencia y no surgencia, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 9(2): 233-63.

Reguera, B., Alonso, R., Moreira, A. y Méndez, S. 2011. Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas. Manuales y Guías 59. Comisión Oceanográfica Intergubernamental, París y Viena.

Salazar-Gómez, Y., Díaz-Ramos, J., Rincones-Reyes, K., Charzeddine-Charzeddine, L., Subero-Pino, S., Troccoli-Ghinaglia, L., Márquez, B., Marín, B., Márquez, A., Hernández, D. 2011. Cambios diarios de la biomasa fitoplanctónica en la bahía de Mochima, Venezuela, durante la época de lluvias. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 50(1): 69-77.

Steel, J.H. 1976. Patchiness. En: Cushing, D.H. y Walsh, J.J., Editores. *The ecology of the seas*. Blackwell Scientific Publications, Londres.

Steidinger, K. 1964. *Leaflet series: Plankton*. Florida Board of Conservation, St. Petersburg, Florida.

Suárez, V. 2007. Biodiversidad de fitoplancton en aguas de lastre de buques de tráfico internacional y en los principales muelles cargueros de la bahía de Cartagena, Colombia. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.

Suárez, V., Franco-Herrera, A. y Cañón, M. 2007. El microfitoplancton en los principales muelles de la Bahía de Cartagena, Caribe colombiano, vectores posibles de floraciones microalgales. *Boletín Científico CIOH* 25: 135-49. Doi: https://doi.org/10.26640/01200542.25.135_149.

Sunesen, I., Hernández-Becerril, D. y Sar, E. 2008. Marine Diatoms from Buenos Aires coastal waters (Argentina). V. Species of the genus *Chaetoceros*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43(2): 303-26. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-19572008000200009>.

Tigreros, P. 2002. Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre buques tráfico internacional fase I. Centro de Investigaciones e Hidrográficas CIOH, Armada Nacional de Colombia, Cartagena.

Vidal, L. 2010. Manual del fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Vidal, L. y Carbonell, M. 1977. Diatomeas y dinoflagelados de la bahía de Cartagena. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena, Colombia.

Zar, J. 1996. *Biostatistical analysis*. Tercera edición. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, Nueva Jersey.

Citar como: Torres-V M.J, Henao Castro A. y Contreras-Vega, L. 2021. Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia *Intropica* 16(1): 168-179. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4065>

Variación temporal del zooplancton durante 2017 y 2018 en el sureste de Isla Margarita, Venezuela

Temporal variation of zooplankton during 2017 and 2018 in the southeast of Isla Margarita, Venezuela

Alfredo Gómez Gaspar 

Museo Marino de Margarita y Universidad de Oriente (Nueva Esparta), Venezuela

*Autor de correspondencia: agomezgaspar@yahoo.com

Recibido: 27 de abril de 2021

Aceptado: 07 de julio de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen

Palabras clave:
zooplancton; abundancia;
biomasa; Caribe; Venezuela

En el sureste de isla Margarita (Venezuela), durante dos años (2017 y 2018), se estudió la abundancia del zooplancton en dos estaciones fijas a cinco millas de la costa. Se recolectaron muestras nocturnas (7:00-8:00 p.m; total: 72) utilizando una red con diámetro de 1,7 m y longitud de 3,5 m (abertura de malla de 400 micras), arrastrada horizontalmente durante 20 minutos a profundidad de 10-15 m. La temperatura varió entre 24,3 y 29,1 °C; la salinidad, entre 35,12 y 37,68, y el oxígeno disuelto, entre 3,38 y 4,72 mL/L. No se determinó diferencia estadística entre estaciones en la abundancia del zooplancton, pero sí entre los años ($p < 0,01$). La abundancia en densidad del zooplancton varió entre 26,84 y 398,09 ind/m³; su biomasa seca, entre 0,12 y 5,05 mg/m³, y el volumen sedimentado, entre 0,01 y 0,72 mL/m³. La abundancia promedio anual en 2017 fue de 110,33±94,36 ind/m³; la biomasa seca fue de 0,88 ± 0,74 mg/m³, y el volumen sedimentado, de 0,10±0,09 mL/ m³, mientras que en 2018 los registros fueron de 128,97± 87,13 ind/m³, 1,37±1,15 mg/m³ y 0,20±0,17 mL/m³ respectivamente. Estos valores son intermedios entre periodos de menor abundancia del zooplancton (años 2002-2004 y 2014-2016) y el de mayor abundancia durante los años de la crisis sardinera (2005-2013). Los años 2017 y 2018 fueron de transición entre esos periodos.

Abstract

Key words:
zooplankton; abundance;
biomass; Caribbean; Venezuela

In the southeast of Margarita Island (Venezuela) the abundance of mesozooplankton was studied for two years (2017 to 2018) in two fixed stations five miles from the coast. Nocturnal samples (total 72) were collected by hauls using a net with a diameter of 1.7 m and a length of 3.5 m (mesh size of 400 microns) towed horizontally at a depth of 10 to 15 m for 20 minutes. The temperature ranged from 24.3 to 29.1°C; salinity between 35.12 and 37.68 and oxygen from 3.38 to 4.72 ml/L. In the two years and in the stations, the abundance of nocturnal zooplankton does not have a statistical difference. In the samples the density ranged between 26.84 and 398.09 ind/m³; the dry biomass ranged from 0.12 to 5.05 mg/m³ and the displacement plankton volume ranged from 0.01 to 0.72 ml/m³. The annual mean abundance of zooplankton in 2017 was 110.33 ind/m³±94,36; the dry biomass was 0.88 ± 0.74 mg/m³, and the sediment volume, 0,10±0,09 mL/ m³, while in 2018 were 128.97± 87.13 ind/m³, 1.37±1.15 mg/m³ y 0.20±0.17 mL/m³ respectively. These values are intermediate values between the lower abundance of zooplankton in years 2002-2004 and 2014-2016; and high abundance during years of sardine crisis (2005-2013). The years 2017 and 2018 were of transition between those periods.

Introducción

El plancton es fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas marinos, por una parte, por constituir el recurso alimenticio más importante en la dinámica trófica pelágica (Beaugrand, 2005) y, por otra parte, por su rol en los ciclos biogeoquímicos de los océanos (Roemmich y McGowan, 1995). Se reconoce que los cambios en la abundancia y composición del zooplancton indican que ocurren modificaciones en el ecosistema (Möllman *et al.*, 2015) y que, por sus ciclos de vida cortos, estos organismos responden rápidamente a las variaciones ambientales (Hays *et al.*, 2005). Así se considera que el zooplancton es gran indicador del cambio climático (Reid y Edwards, 2001; Beaugrand y Reid, 2003), más que las variaciones físicas (Perry *et al.*, 2004). De tal forma, las alteraciones en el clima generalmente están acompañadas por modificaciones zooplanctónicas (Mackas *et al.*, 2001; Beaugrand y Reid, 2003) que afectan la estructura y función de las comunidades planctónicas (De Young *et al.*, 2008; Scheffer 2009; Mölmann y Diekmann, 2012; Möllman *et al.*, 2015).

El recurso pesquero más importante de Venezuela es la sardina *Sardinella aurita* Valenciennes 1847, que se captura en el oriente del país, en los estados Sucre y Nueva Esparta. En este último (isla Margarita) comenzó la pesquería (1927) y el enlatado en 1934 (Gómez *et al.*, 2008), de manera que esta especie se ha explotado durante más de 90 años. En 2003-2004, particularmente, la captura nacional de sardina fluctuó alrededor de 200,000 t, pero en el 2005 disminuyó apreciablemente, lo que marca el inicio de una crisis sardinera que se atribuye a los pescadores por sobrepesca (González *et al.*, 2007; Mendoza, 2015; Rueda *et al.*, 2017), si bien esto no ha ocurrido en Nueva Esparta (Gómez, 2018a), donde la captura se hace mediante chinchorro playero. Desde el inicio de la crisis se mencionaron causas ecológicas (Gómez, 2006, 2007; Gómez *et al.*, 2008) que ocasionaron la disminución de la fertilidad regional (Gómez *et al.*, 2012, 2014; Taylor *et al.*, 2012; Gómez y Barceló, 2014; Pinckney *et al.*, 2015), afectando la población sardinera, como ha ocurrido también en otras áreas marinas con recursos pelágicos pequeños.

Margarita, la principal zona de pesca sardinera, se localiza al sureste, entre las localidades de Pampatar (Punta Ballena) y La Isleta. Esta zona es considerada el caladero de pesca más importante de Venezuela porque en los años 2003 y 2004 se pescaron 68,431 y 72,141 t respectivamente, aunque en el año 2005 se capturaron 24,549 t, y en el 2006, ya acentuada la crisis pesquera de la sardina, 3,990 t (Gómez, 2006). En esos años se

planteó que en el área los cardúmenes no se aproximaron a las aguas costeras como consecuencia de notorios cambios ambientales, entre ellos, posiblemente, la abundancia del zooplancton, que se considera constituye el alimento básico de recursos pesqueros explotables como los clupeidos (Márquez *et al.*, 2006).

En dicha región, desde 2002 se iniciaron estudios sobre la abundancia y composición del zooplancton nocturno, y las colectas realizadas hasta el 2016 permitieron plantear que la crisis sardinera tuvo relación con un cambio de régimen que ha ocurrido en el ecosistema (Gómez, 2018b, 2019). Los muestreos continuaron hasta el 2018, cuando fueron concluidos. En la presente investigación se presentan los resultados sobre la abundancia del zooplancton obtenido en los dos últimos años (2017 y 2018) de la serie de tiempo.

Materiales y métodos

Área de estudio

La región nororiental de Venezuela incluye los estados Sucre y Nueva Esparta, este último constituido por las islas Margarita, Coche y Cubagua. Es la región marina más productiva del mar Caribe (Gómez, 1996, 2001; Rueda, 2012), principalmente por la surgencia de aguas subtropicales durante los primeros meses del año, por lo que ha sido objeto de numerosas investigaciones oceanográficas (Gómez y Barceló, 2014). Margarita, concretamente, se localiza en el centro del área del afloramiento regional (Gómez, 1996) y está rodeada por aguas con excepcional productividad que originan una considerable riqueza pesquera (Margalef, 1965; Gómez, 2001).

Recolecta de muestras

De enero de 2017 a diciembre de 2018 (24 meses), a bordo de una embarcación pesquera artesanal de madera (eslora de 9 m), se visitaron dos estaciones (figura 1) localizadas a cinco millas de la costa suroriental de Margarita (11°03'19" N, 63°45'53" W y 10°52'13" N, 63°50'29" W), ambas con una profundidad que alcanza 30 m. Los muestreos fueron quincenales (2017) y mensuales (2018), para un total de 72 colectas, y se hicieron entre las 7:00 p. m. y las 8:00 p. m., utilizando una red con diámetro de 1,7 m y longitud de 3,5 m (apertura de malla de 400 micrómetros), arrastrada horizontalmente a profundidad de 10-15 m durante 20 minutos.

Se estimó que en cada arrastre se filtró un volumen aproximado de 650 m³ de agua (según distancia recorrida por la embarcación), con la misma red utilizada desde el 2002. Debido

a que durante los primeros años se empleó un contador de flujo que permitió verificar la relativa constancia en el volumen por tiempo de arrastre y con marcas de campo precisas, los registros de esta investigación se ajustaron a igual volumen nominal. Esta situación es corriente en series de tiempo de larga duración como la conocida WEC (occidente del canal inglés), iniciada a comienzos del siglo XX (Blackett *et al.*, 2014). Las muestras se conservan en el Museo Marino de Margarita (formol 5 %).

Trabajo en laboratorio

La muestra se subdividió en dos partes mediante un separador de plancton Folsom I: una para estimar la abundancia total del zooplancton, y otra para estudiar la composición y la densidad de los principales grupos del zooplancton, lo que constituye un trabajo aparte.

La abundancia se determinó estimando la densidad total (ind/m³) por el conteo directo (dos alícuotas de 5 mL extraídas

con pipeta Hensen/Stempel y extrapolación) sobre cámara de conteo Bogorov. Para el peso seco (mg/m³) y el volumen sedimentado (mL/m³ usando como Imhoff), se empleó igual metodología que en trabajos precedentes (Gómez 2015, 2016, 2018b, 2019) según pautas generales (Boltovskoy, 1981).

Para la hidrografía se tomaron muestras de agua (1 y 25 m de profundidad) con botella tipo Van Dorn para determinar la temperatura con termómetro digital, la salinidad con salinómetro de inducción (Beckman®RS10) y el oxígeno disuelto según el método de Winkler (Strickland y Parsons, 1972). Con estos dos últimos valores se calculó el promedio para la columna de agua.

Los resultados fueron comparados mediante análisis de varianza (una vía), a través del programa estadístico Statgraphics18®. Luego, con un análisis de componentes principales (ACP) se determinaron las relaciones simples entre variables hidrográficas y la abundancia del zooplancton.

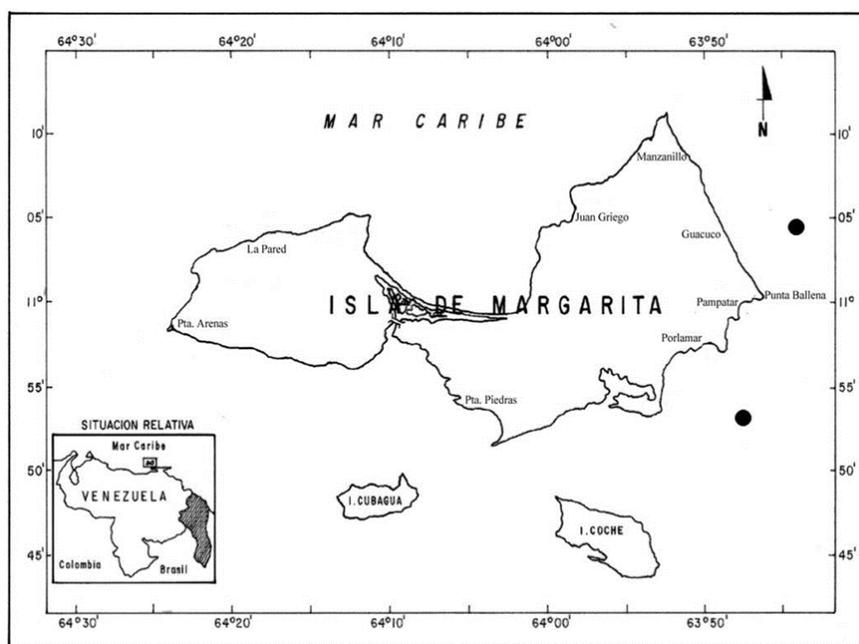


Figura 1. Estaciones de muestreo (●) al sureste de isla Margarita, Venezuela.

Resultados

El estudio consideró muestreos realizados durante 2017 y 2018, y se analizaron 72 recolectas de zooplancton. El análisis de varianza multifactorial simple y con datos transformados (log n+1) indicó diferencia estadística significativa entre los años de estudio ($p < 0,01$), pero no entre las estaciones ($p = 1,00$), por lo cual estas se analizaron en conjunto.

Abundancia de zooplancton

Densidad

La densidad varió entre 26,84 y 398,09 ind/m³ en mayo y septiembre de 2017, respectivamente. En dicho año la densidad promedio mensual fluctuó entre 35,88 y 315,72 ind/m³, con promedio anual de 110,33 ±94,36 ind/m³. En 2018, por otra parte, el promedio mensual osciló entre 34,92 y 272,67 ind/m³,

con promedio anual de $128,97 \pm 87,13 \text{ ind/m}^3$, sin determinar diferencia estadística entre los años ($F= 0,50$; $p= 0,482$). Las mayores concentraciones ($>200 \text{ ind/m}^3$) fueron cuantificadas en

septiembre-octubre de 2017 y en enero-marzo de 2018, mientras que durante los otros meses la densidad fue $<170 \text{ ind/m}^3$ (tabla 1, figura 2).

Tabla 1. Abundancia promedio y desviación estándar del zooplancton en 2017 y 2018 al este de isla Margarita, Venezuela. Valores mínimo y máximo en paréntesis.

Año	n	Densidad (ind/m^3)	Peso seco (mg/m^3)	Volumen sed. (mL/m^3)
2017	48	$110,33 \pm 94,36$ (26,84-398,09)	$0,88 \pm 0,74$ (0,12-2,64)	$0,10 \pm 0,09$ (0,01-0,32)
2018	24	$128,97 \pm 87,13$ (30,22-367,63)	$1,37 \pm 1,15$ (0,38-5,21)	$0,20 \pm 0,17$ (0,03-0,72)

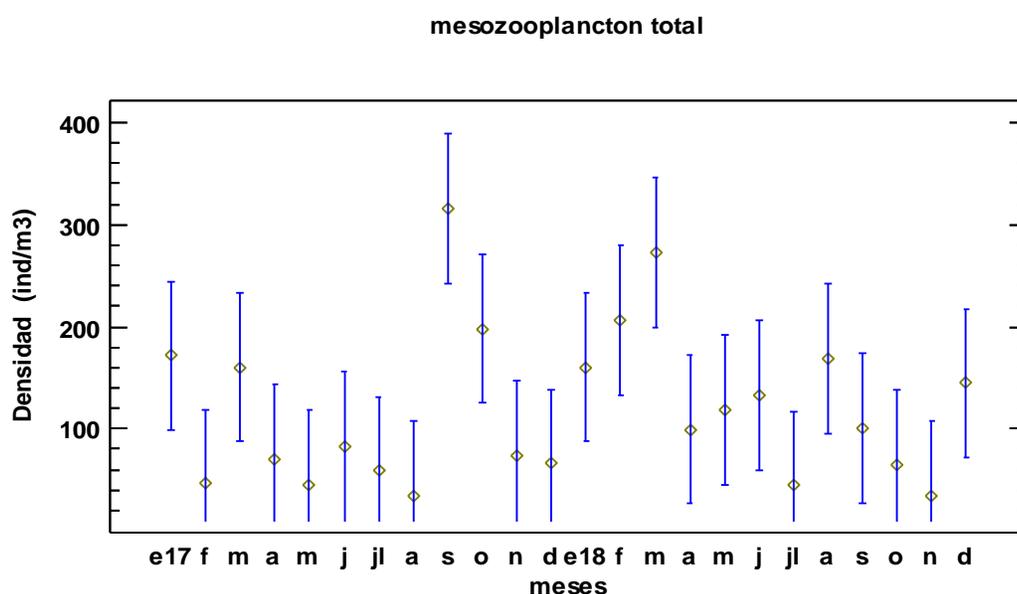


Figura 2. Variación mensual de la densidad total (ind/m^3) del zooplancton al sureste de isla Margarita, Venezuela (años 2017 y 2018).

Peso seco

La biomasa zooplanctónica estimada por el peso seco varió entre $0,12$ y $5,05 \text{ mg/m}^3$ en mayo y marzo de 2017. En dicho año la biomasa mensual promedio fluctuó entre $0,24$ y $2,86 \text{ mg/m}^3$, con promedio anual de $0,89 \pm 0,74 \text{ mg/m}^3$, mientras que en 2018 osciló entre $0,50$ y $3,66 \text{ mg/m}^3$, con promedio anual de $1,37 \pm 1,15 \text{ mg/m}^3$, sin encontrarse diferencia estadística entre los años ($F= 2,43$; $p= 0,126$). Los mayores valores ($2,86$ y $3,66 \text{ mg/m}^3$) se obtuvieron en marzo de 2017 y 2018 (tabla 1, figura 3).

Volumen sedimentado

El volumen de zooplancton varió entre $0,01$ y $0,72 \text{ mL/m}^3$. Los mínimos se registraron en febrero, julio y agosto de 2017, y el máximo, en febrero de 2018. En 2017 el promedio mensual del volumen varió entre $0,04$ y $0,16 \text{ mL/m}^3$, con promedio anual $0,10 \pm 0,09 \text{ mL/m}^3$. En 2018, varió entre $0,03$ y $0,72 \text{ mL/m}^3$, con promedio anual de $0,20 \pm 0,17 \text{ mL/m}^3$, y se encontró diferencia estadística entre los años ($F=0,26$; $p=0,016$). Los mayores valores ($0,36$ y $0,50 \text{ mL/m}^3$) se obtuvieron en febrero y marzo de 2018 (tabla 1, figura 4).

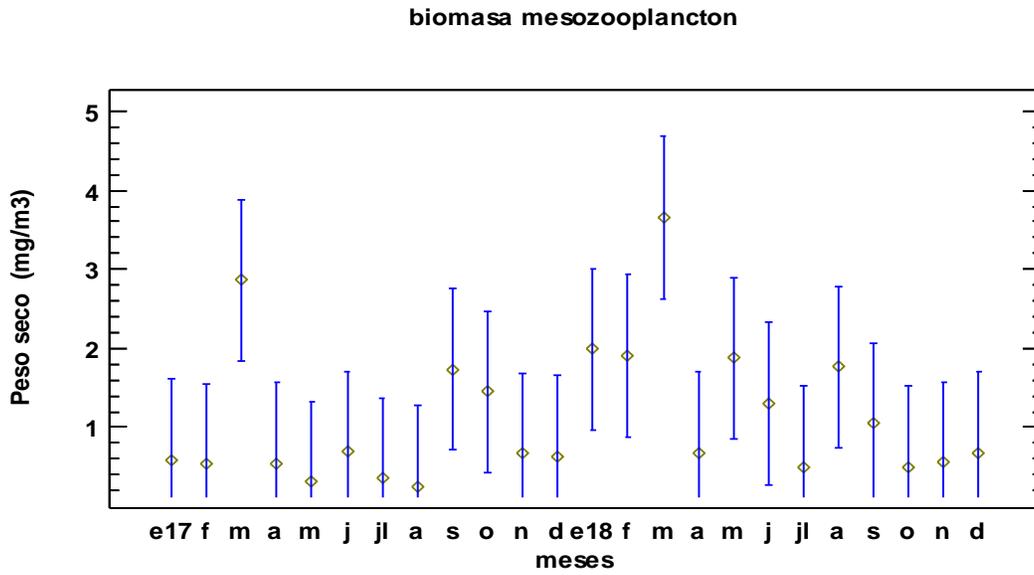


Figura 3. Variación mensual de la biomasa (peso seco mg/m³) del zooplancton al sureste de isla Margarita, Venezuela (años 2017 y 2018).

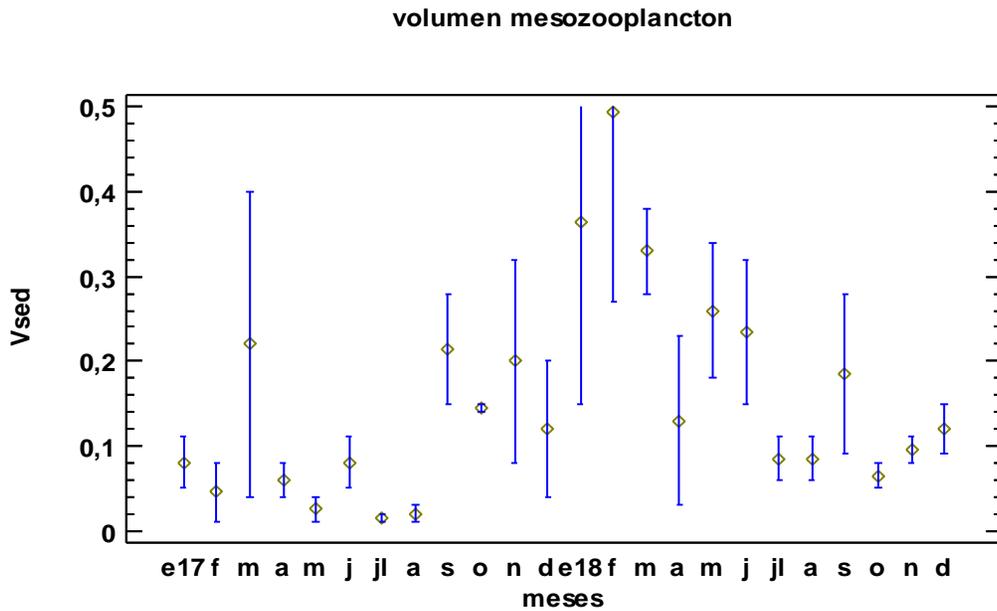


Figura 4. Variación mensual del volumen sedimentado (mL/m³) del zooplancton al sureste de isla Margarita, Venezuela (años 2017 y 2018).

Hidrografía

En 2017 la temperatura en la columna de agua (0 a 25 m) varió entre 26,15 y 29,10 °C, con promedio de 27,54±0,96 °C, mientras que en 2018 osciló entre 24,30 y 28,90 °C, con promedio de 26,13± 1,41 °C, y se verificó diferencia estadística entre los años (F=15,75; p=0,00). En 2018, durante los primeros meses (surgencia), la temperatura fue menor que en el 2017, y los valores máximos se determinaron entre septiembre y octubre. En 2017, la salinidad varió entre 35,12 y 37,68, con promedio de 35,62± 1,17. En el 2018, esta variable fluctuó entre 35,48 y 37,05, con promedio de 35,98±1,15, y no se encontró diferencia

estadística entre los años (F=1,08; p= 0,305). En 2017, el oxígeno disuelto osciló entre 3,67 y 4,72 mL/L, con promedio anual de 4,12±0,35 mL/L, mientras que en 2018 varió entre 3,38 y 4,45 mL/L, con promedio anual de 3,98± 0,27 mL/L, sin verificarse diferencia estadística entre los años (F= 2,32; p= 0,134).

Con relación al ACP, los tres primeros componentes explicaron el 79,04 % de variabilidad de los datos (tabla 3). En el componente uno, la abundancia del zooplancton (densidad, biomasa y volumen) tuvo correlación negativa con la temperatura y ligeramente positiva con el oxígeno disuelto. Finalmente, en el componente dos, la salinidad muestra baja correlación negativa con la temperatura (tabla 4, figura 5).

Tabla 2. Valores promedios y desviación estándar de variables hidrográficas en columna de agua (0-25 m) medidos en el este de isla Margarita (2017 y 2018). Valores mínimo y máximo en paréntesis.

Año	n	Temperatura °C	Salinidad UPS	Oxígeno mL/L
2017	48	27,54± 0,96 (26,15-29,10)	35,62± 1,17 (35,12-37,68)	4,12± 0,35 (3,67-4,72)
2018	24	26,13± 1,41 (24,30-28,90)	35,98± 1,15 (35,48-37,05)	3,98± 0,27 (3,38-4,45)

Tabla 3. Porcentaje de variación de tres primeros componentes del análisis de componentes principales en el sureste de isla Margarita, Venezuela (años 2017 y 2018).

Componente	Autovalores	% varianza	% acumulado
1	2,59047	43,174	43,174
2	1,13324	18,887	62,062
3	1,01846	16,974	79,036

Tabla 4. Peso de tres primeros componentes principales expresados por correlaciones con la hidrografía y el zooplancton en el sureste de isla Margarita (años 2017-2018). (D=densidad; V=volumen; Ps=peso seco; temperatura; salinidad; oxígeno disuelto).

	Componente 1	Componente 2	Componente 3
D/m3	0,54	-0,22	0,08
V. sed/m3	0,54	-0,06	-0,10
Ps/m3	0,57	-0,09	-0,12
Temperatura	-0,26	-0,59	0,04
Salinidad	0,09	0,73	0,31
Oxígeno	0,07	-0,22	0,92

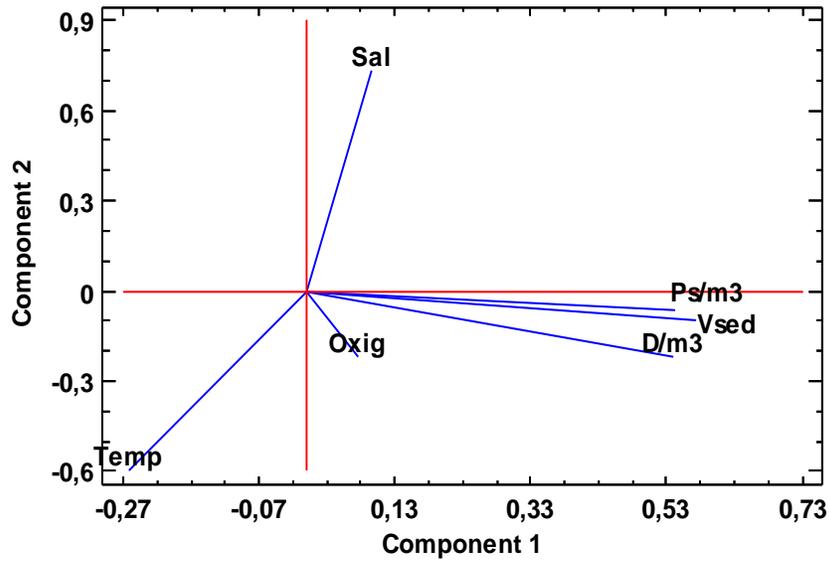


Figura 5. Proyección en los dos primeros componentes de la abundancia del zooplancton e hidrografía en el sureste de isla Margarita, Venezuela (años 2017 y 2018). (D=densidad; V=volumen; Ps=peso seco; temperatura; salinidad; oxígeno disuelto).

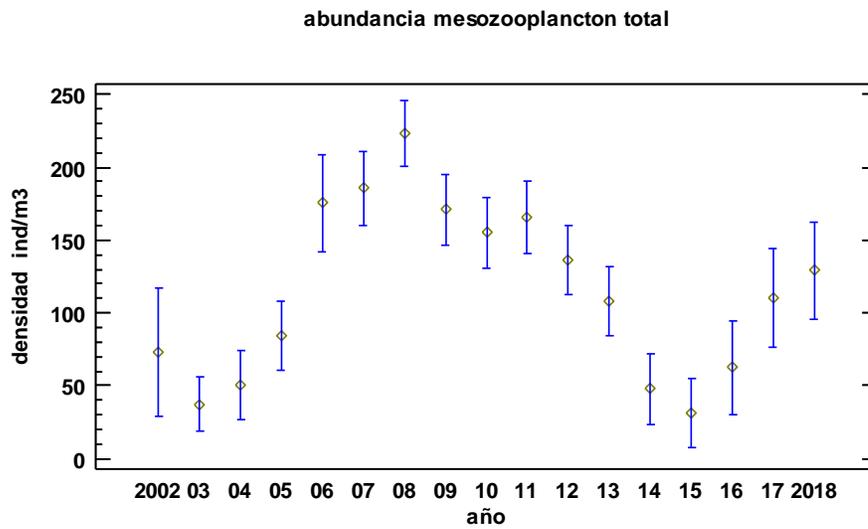


Figura 6. Variación del promedio anual de la abundancia del zooplancton (ind/m³) en el sureste de isla Margarita, Venezuela (periodo 2002-2018, valores hasta el año 2016 tomados de Gómez, 2018b).

Discusión

En el sureste de Margarita, durante los años 2017 y 2018, la abundancia mensual promedio del zooplancton nocturno y el promedio anual (tabla 1) tuvieron valores inferiores a los obtenidos previamente durante el periodo entre 2006 y 2013, cuando los promedios anuales en densidad alcanzaron un máximo de 223,27 ind/m³ y hasta 3,76 mg/m³ de biomasa seca y 0,43 mL/m³ de volumen sedimentado. Esto contrasta con lo determinado en los años 2002 a 2004 y 2014 a 2016 (Gómez, 2018a), cuando se encontraron menores promedios anuales de abundancia (densidad máxima de 72,90 ind/m³ y hasta 2,57 mg/m³ de biomasa seca y 0,12 mL/m³ de volumen sedimentado).

La anterior diferencia también fue verificada por Gómez y Hernández (2008) en muestreos diurnos y con red más pequeña (diámetro de 80 cm), donde encontraron menor abundancia de zooplancton en el periodo 2002 - 2004 y un aumento en el 2005, el cual podría tener relación con la disminución de la sardina en el área y, en consecuencia, en el consumo de zooplancton. En cambio, durante los años previos (2003 - 2004) las capturas sardineras fueron cuantiosas por la gran abundancia del recurso (Gómez, 2006), por lo que ocurrió un mayor consumo planctónico, que se expresó en una menor concentración del zooplancton.

Lo expuesto se muestra claramente en la figura 6, donde los menores valores de la densidad de zooplancton obtenidos en los años 2013 a 2016 son comparables con los obtenidos entre 2002 y 2004. Sin embargo, los valores anuales obtenidos en el presente estudio (2017 - 2018) son mayores, lo que indica que la densidad del zooplancton aumenta a valores intermedios cuando se compara con densidades determinadas en el periodo 2006-2012.

Se ha considerado que los valores altos en la densidad o abundancia del zooplancton indican la ocurrencia de un cambio de régimen (Gómez, 2018b, 2019). En consecuencia, es posible suponer que las variaciones observadas en el ecosistema durante alrededor de una década (Gómez, 2018a) aún se están manifestando, pues las alteraciones en la producción secundaria y en la composición del plancton pueden persistir un tiempo y afectar la dinámica trófica pelágica (Checkley *et al.*, 2017). Por ejemplo, a nivel general, es reconocido que en el fitoplancton las diatomeas grandes experimentan mayor disminución en su abundancia que otros tipos de fitoplancton (Marinov *et al.*, 2010), lo que también fue verificado en el área de surgencia de Venezuela (Pinckney *et al.*, 2015). Este fenómeno tiene

implicaciones en especies de peces pequeños pelágicos planctófagos, como las sardinias y las anchovias, que tienen diferente selectividad alimenticia del plancton que consumen (Van der Lingen *et al.*, 2006).

En el presente estudio la abundancia del zooplancton también fue menor a la registrada en el sur de Margarita y la península de Araya (octubre 2007 a marzo 2009), donde se obtuvieron valores mensuales de abundancia de hasta 1,032,8 ind/m³ en densidad, 7,32 mg/m³ en peso seco y 0,38 mL/m³ en el volumen sedimentado. Asimismo, en las islas de Cubagua y Coche se determinaron densidades mayores, de hasta 1.225,29 ind/m³ (Gómez, 2016). De tal manera se evidencia que la mayor abundancia de zooplancton en isla Margarita durante los años de crisis de la sardina también ocurrió en la península de Araya, que es una importante área sardinera (Gómez, 2018a). Además, se confirma que la abundancia alta o baja del zooplancton puede tener relación con la sardina que transita por las áreas de pesca (Gómez y Hernández, 2008) y que ocurre con frecuencia en regiones sardineras (Verheye y Richardson, 1998; Cury *et al.*, 2000; Möllmann *et al.*, 2000; Reid *et al.*, 2000; Verheye 2000; Möllmann y Koster, 2002).

Se reconoce la dificultad de establecer comparaciones entre estudios que utilizan redes muy diferentes en tamaño (diámetro, longitud y poro) y que varían la hora de los muestreos y su periodicidad, por lo cual se sugiere realizar investigaciones con una menor escala espacial y temporal (Hernández y Gómez, 2014) e intentar estandarizar el tamaño de las redes con objeto de disminuir la enorme variación. Cuando se emplean redes pequeñas, <50 cm, se determinan valores muy bajos (Márquez-Rojas *et al.*, 2007), mientras que utilizando redes más grandes aumentan los valores de abundancia (Márquez-Rojas *et al.*, 2008, 2011, 2018; Hernández y Gómez, 2014). También cabe considerar que, con fines de estimar la abundancia potencial del recurso sardinero en Venezuela mediante la colecta de huevos, tienen que utilizarse redes más grandes (diámetro >1 m) y colectas subsuperficiales y nocturnas (Gómez, 2006, 2016).

Conclusión

En el sureste de isla Margarita (Venezuela), la abundancia promedio anual de zooplancton determinada en 2017 y 2018 tiene valores intermedios o de transición entre la alta abundancia durante los años de crisis sardinera (2006-2013) y los bajos registros de los periodos 2002-2005 y 2014-2016.

Agradecimientos

Se agradece a los pescadores sardineros del Morro de Porlamar por facilitar embarcación para los muestreos desde 2002 hasta 2018, realizados con el Sr. Simplicio Rosales. El Museo Marino de Margarita brindó su laboratorio para los análisis. También es necesario mencionar el apropiado y sentido homenaje que esta revista hace a Luis Alfonso Vidal (*), sencillo y valioso pionero, desde muy joven, de los estudios de fitoplancton en Colombia y con excelentes trabajos publicados. Gracias por el tiempo, la dedicación y las muy oportunas sugerencias de evaluadores.

Referencias

- Beaugrand, G. 2005. Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. *ICES Journal of Marine Science* 62: 333-8. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.01.002>.
- Beaugrand, G. y Reid, P. 2003. Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon linked to climate change. *Global Change Biology* 9: 801-17. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00632.x>.
- Blackett, P., Licantro, P., Coombs, S. y Lucas, C. 2014. Long-term variability of the siphonophores *Muggiæa atlantica* and *M. kochi* in the Western English Channel. *Progress in Oceanography* 128: 1-14. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.07.004>.
- Boltovskoy, D. 1981. *Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. Inidep, Mar del Plata.
- Checkley, D., Asch, R. y Rykaczewski, R. 2017. Climate, Anchovy, and Sardine. *Annual Review of Marine Science* 9: 469-93. Doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-033819>.
- Cury, P., Bakun, A., Crawford, R., Jarre, A. Quiñones, R., Shannon, L. y Verheye, H. 2000. Small pelagiques in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in "waspswaist" ecosystems. *ICES Journal of Marine Science* 57: 603-18. Doi: <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0712>.
- De Young B., Barange, M. Beaugrand, G. Harris, R. Perry, R. Scheffer, M. y Werner, F. 2008. Regime shifts in marine ecosystems: detection, prediction and management. *Trends in Ecology & Evolution* 23: 402-9. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.03.008>.
- Gómez, A. 1996. Causas de fertilidad marina en nororiente de Venezuela. *Interciencia* 21(3): 140-6.
- Gómez, A. 2001. Recursos pesqueros: Caribe. *Investigación y Ciencia* 301: 36-8.
- Gómez, A. 2006. Caracterización ecológica del caladero de pesca más importante de Venezuela (Pampatar-La Isleta, Isla de Margarita). Museo Marino de Margarita Informe Final al Fondo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Venezuela (FONACIT Proy. 2000001372). Ministerio de Ciencia y Tecnología, Caracas.
- Gómez, A. 2007. Producción primaria al sureste de la isla de Margarita, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente* 46(2): 97-105.
- Gómez, A. 2015. Crisis de la pesca de sardina en Venezuela: abundancia de huevos de sardina *Sardinella aurita* en el este de Isla Margarita. Once años de estudio (2002-2013) y comentarios sobre muestreo, reproducción y desarrollo. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 54 (2): 95-108.
- Gómez, A. 2016. Densidad de huevos de sardina *Sardinella aurita*, abundancia de zooplancton e hidrografía en la Península de Araya y sur de Isla Margarita, Venezuela. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 45(1): 57-72. Doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2016.45.1.630>.
- Gómez, A. 2018a. Análisis del manejo de la crisis de sardina *Sardinella aurita* en Venezuela y comentario sobre artes de pesca y estadísticas. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 47(1): 85-106. Doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2018.47.1.739>.
- Gómez, A. 2018b. Crisis de la pesca de sardina en Venezuela: posible causa un cambio de régimen. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente* 57(1): 70-82.
- Gómez, A. 2019. Variación a largo término (2002-2016) en la densidad y composición del mesozooplancton indica cambio de régimen en isla Margarita (Venezuela). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 47(1): 85-106.
- Gómez, A. y Barceló, A. 2014. Crisis de la pesca de sardina en Venezuela: hidrografía y nutrientes al este de la isla de Margarita, una década de estudio (2003-2012). *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente* 53(2): 185-203.
- Gómez, A. y Hernández, I. 2008. Abundancia interanual del zooplancton nocturno en la costa este de isla Margarita, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente* 47(2): 91-102.

- Gómez, A., Izaguirre, E. y Gómez, O. 2008. Ecología de caladeros, aspectos biológicos y pesca (2003-2006) de sardina *Sardinella aurita* (Pisces: Clupeidae) en Nueva Esparta, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente* 47(2): 113-28.
- Gómez, A., Barceló, A. y Mata, E. 2012. Condiciones hidrográficas (2007-2009) al sur de isla Margarita y Península de Araya como indicio de disminución de la fertilidad regional y posible afectación del recurso sardinero venezolano. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente* 51: 173-186.
- Gómez, A., Mata, E. y Gómez, O. 2014. Crisis de la pesca de sardina en Venezuela: variación de la biomasa del fitoplancton en el este de Margarita, una década de estudio (2003-2012). *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente* 53: 25-36.
- González, W., Eslava, N. y Gómez, E. 2007. Parámetros poblacionales de la sardina (*Sardinella aurita*) del sureste de la Isla de Margarita, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad de Zulia* 41(4): 457-70.
- Hays, G., Richardson, A. y Robinson, C. 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution* 20: 337-44. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.03.004>.
- Hernández, I. y Gómez A. 2014. Patrones de abundancia y composición del zooplancton costero a varias escalas temporales en un ciclo de surgencia estacional en la Isla de Margarita, Venezuela. *Inter ciencia* 39(2): 122-8.
- Mackas, D., Thomson, R. y Galbraith, M. 2001. Changes in the zooplankton community of the British Columbia continental margin, 1985-1999, and their covariation with oceanographic conditions. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 685-702. Doi: <https://doi.org/10.1139/f01-009>.
- Margalef, R. 1965. Composición y distribución del fitoplancton. En: *Estudios sobre el ecosistema pelágico del N.E. de Venezuela*. Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, Caracas.
- Marinov, I., Doney, S. y Lima, I. 2010. Response of ocean phytoplankton community structure to climate change over the 21st century: partitioning the effects of nutrients, temperature and light. *Biogeosciences* 7: 3941-59. Doi: <https://doi.org/10.5194/bg-7-3941-2010>.
- Márquez, B., Marín, B., Zoppi, E. y Moreno, C. 2006. Zooplancton del Golfo de Cariaco. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente* 45(1): 61-78.
- Márquez-Rojas, B., Marín, B., Díaz-Ramos, J., Troccoli L. y Subero-Pino S. 2007. Variación estacional y vertical de la biomasa del macrozooplancton en la Bahía de Mochima, Estado Sucre-Venezuela, durante 1997-1998. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42: 241-52. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-19572007000300004>.
- Márquez-Rojas, B., Marín, B., Díaz-Ramos, J. y Troccoli, L. 2008. Biomasa, densidad y composición zooplanctónica de la Bahía de Mochima, Venezuela. *Gayana* 72: 52-67. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-65382008000100008>.
- Márquez-Rojas, B., Troccoli, L., Marcano, L., Morales, M., Allen, T., Marín, B. y Díaz-Ramos, J. 2011. Estructura comunitaria del zooplancton en dos localidades del golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente* 50: 103-19.
- Márquez-Rojas, B., Troccoli, L., Marín, B. y Díaz-Ramos, J. 2018. Abundancia y distribución del zooplancton superficial de la zona costera Arapito-Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 47(2): 111-33. Doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2018.47.2.750>.
- Mendoza, J. 2015. Rise and fall of Venezuela industrial and artisanal marine fisheries: 1950-2010. Fisheries Centre. The University of British Columbia. *Working Paper Series* 2015-27.
- Möllmann C. y Diekmann, R. 2012. Marine ecosystem regime shifts induced by climate and overfishing: a review for the Northern Hemisphere. *Advances in Ecological Research* 47: 303-47. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398315-2.00004-1>.
- Möllmann, C. y Koster, F. 2002. Population dynamics of calanoid copepods and the implications of their predation by clupeid fish in the Central Baltic Sea. *Journal of Plankton Research* 24: 959-77. Doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/24.10.959>.
- Möllmann, C., Kornilovs, G. y Sidrebrics, L. 2000. Long-term dynamics of main mesozooplankton species in the Central Baltic Sea. *Journal of Plankton Research* 22: 2015-38. Doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/22.11.2015>.
- Möllman, C., Folke, C., Edwards, M. y Conversi, A. 2015. Marine regime shifts around the globe: theory, drivers and impacts. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* B370: 20130260. Doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0260>.
- Perry, R., Batchelder, H., Mackas, D., Chiba, S., Durbin, E., Greve, W. y Verheye, H. 2004. Identifying global synchronies in marine zooplankton populations: issues and opportunities. *ICES Journal*

- of Marine Science* 61: 445-56. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.03.022>.
- Pinckney, J., Benitez, C., Thunell, R., Muller, F., Lorenzoni, L., Troccoll, L. y Varela, R. 2015. Phytoplankton community structure and depth distribution changes in the Cariaco Basin between 1996 and 2010. *Deep-Sea Research Part I* 101: 27-37. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2015.03.004>.
- Reid, P. y Edwards, M. 2001. Plankton and climate. En: Steele, J., Editor. *Encyclopedia of Sciences*. Academic Press, Oxford.
- Reid, P., Battle, E., Batten, S. y Brander K. 2000. Impact of fisheries on plankton community structure. *ICES Journal of Marine Science* 57: 495-502. Doi: <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0740>.
- Roemmich, D. y McGowan, J. 1995. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California current. *Science* 267: 1324-6. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.267.5202.1324>.
- Rueda, D. 2012. On the spatial and temporal variability of upwelling in the southern Caribbean Sea and its influence on the ecology of phytoplankton and of Spanish sardine (*Sardinella aurita*). Tesis de Doctorado, University South Florida, USA.
- Rueda-Roa, D., Mendoza, J., Muller-Karger, F., Cárdenas, J., Achury, A. y Astor, Y. 2017. Spatial variability of Spanish sardine (*Sardinella aurita*) abundance as related to the upwelling cycle off the southeastern Caribbean Sea. *PLoS ONE* 12(6): e0179984. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179984>.
- Scheffer M. 2009. *Critical transitions in nature and society*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Strickland, J. y Parsons, T. 1972. Practical Handbook of Seawater analysis. *Bulletin - Fisheries Research Board of Canada* 167: 310.
- Taylor, G., Müller-Karger, F., Thunell, R., Scranton, M., Astor, Y., Varela, R., Troccoli, L., Lorenzoni, L., Fanning, K., Hameed, S. y Doherty, O. 2012. Ecosystem responses in the southern Caribbean Sea to global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 109 (47): 19315-20.
- Van Der Lingen, C., Hutchings, L. y Field, J. 2006. Comparative trophodynamics of anchovy *Engraulis encrasicolus* and sardine *Sardinops sagax* in the southern Bengala: are species alternations between small pelagic fish trophodynamically mediated? *African Journal of Marine Science* 28: 465-77. Doi: <https://doi.org/10.2989/18142320609504199>.
- Verheye, H. 2000. Decade-scale trends across several marine trophic levels in the Southern Benguela upwelling system off *South Africa* *Ambio* 29: 30-4. Doi: <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.1.30>.
- Verheye, H. y Richardson, A. 1998. Long-term increase in crustacean zooplankton abundance in the southern Benguela upwelling region (1951-1996): bottom-up or top-down control? *ICES Journal of Marine Science* 55: 803-7. Doi: <https://doi.org/10.1006/jmsc.1998.0387>.

Citar como: Gómez Gaspar, A. 2021. Variación temporal del zooplancton durante 2017 y 2018 en el sureste de Isla Margarita, Venezuela. *Intropica* 16(2): 180- 190. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4036>

Especies del género *Triplos* (Dinophyceae) en el golfo de Urabá, Caribe colombiano Species of the genus *Triplos* (Dinophyceae) in the Gulf of Urabá, Colombian Caribbean

Lorenzo Portillo-Cogollo¹ , Jesús Javier Hoyos-Acuña² , Humberto Luis Quintana-Manotas²  y Lucía Atehortúa-Garcés¹ 

1. Grupo Biotecnología, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de Antioquia Medellín Antioquia, Colombia

2. Área de protección al medio marino, Centro de investigaciones Oceanográfica e Hidrográfica del Pacífico (CCCP), Tumaco, Nariño, Colombia

*Autor de correspondencia: jhoyosacua@gmail.com

Recibido: 09 de junio de 2021

Aceptado: 03 de agosto de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen

Palabras clave:
dinoflagelados; Ceratiaceae;
clave taxonómica; fitoplancton;
Ceratium

El presente estudio describe la morfología de diez especies de *Triplos* recolectadas usando dos redes de fitoplancton de 20 y 50 µm durante siete campañas oceanográficas entre el año 2017 y 2019 en el golfo de Urabá. Se ofrecen observaciones morfológicas y medidas de las especies encontradas, junto con información sobre distribución local y una clave taxonómica. Se registran por primera vez para el golfo de Urabá: *Triplos dens*, *T. extensus*, *T. gallicus*, *T. massiliensis*, *T. muelleri* y *T. pentagonus*. El golfo de Urabá presenta una riqueza de especies baja en comparación con otras áreas del Caribe colombiano.

Abstract

Key words:
dinoflagellates; Ceratiaceae;
taxonomic key; phytoplankton;
Ceratium

The morphology of 10 *Triplos* species, collected using two phytoplankton nets 20 and 50 µm during seven oceanographic surveys between 2017 and 2019 in the Gulf of Urabá. The present study provides morphological observations and measurements of the species encountered along with information on local distribution and a taxonomic key. The following species are recorded for the first time for the Gulf of Urabá: *Triplos dens*, *T. extensus*, *T. gallicus*, *T. massiliensis*, *T. muelleri*, and *T. pentagonus*. The Gulf of Urabá has a low species richness compared to other areas of the Colombian Caribbean.

Introducción

La familia Ceratiaceae presenta células de tamaño mediano o grande con formas muy complejas y diversas. Poseen un cuerpo central que se prolonga con tres o dos cuernos, e incluso se han encontrado ejemplares con un cuerno (apical). El cuerpo está dividido en dos: hipoteca (la parte inferior), que contiene los cuernos antiapicales, y la epiteca (parte superior), cuerno apical de diferentes tamaños. La primera placa apical se contacta con seis o siete placas adyacentes, incluyendo la poscingular (Sournia, 1986; Temponeras *et al.*, 2000; Saldarriaga y Taylor, 2017; Gómez, 2021). Consta de dos géneros: *Ceratium* (agua dulce) y *Triplos* (aguas marinas), divididos por el número de placas cingulares, 5C y 4C respectivamente (Sournia, 1986). En el género *Triplos* Bory, en particular, se han descrito aproximadamente 800 taxones, de los cuales 68 son especies correctas, y los otros son sinónimos o taxones infraespecíficos que incluyen variedades y formas (Gómez, 2021).

Estos microorganismos han sido objeto de numerosas monografías taxonómicas en regiones como: mar Mediterráneo (Jørgensen, 1920), Pacífico y Atlántico norte (Graham y Bronikovsky, 1944), canal de Mozambique (Sournia, 1967), mar Caribe (Wood, 1968) e Irlanda (McDermott y Raine, 2006). Específicamente en el mar Caribe, hay 45 especies registradas (Wood, 1968), mientras que en el Caribe colombiano se han reportado 32, incluyendo variedades y formas (Lozano-Duque *et al.*, 2011). En esta zona se destacan los trabajos de Carbonell (1979), que en 1979 reportó 18 especies con anotaciones taxonómicas y ecológicas y luego, en 1982, contribuyó con 24 taxones en el archipiélago de isla del Rosario. Un par de décadas después se realizó un relevante trabajo de *Triplos* (= *Neoceratium*) para el mar Caribe colombiano abarcando Cartagena, isla del Rosario, bahía de Cartagena, Ciénaga Grande de Santa Marta, golfo de Salamanca, bahía de Gaira, bahía de Santa Marta, bahía de Taganga, bahía de Neguanje, zonas costeras de La Guajira (Vidal-Velásquez y Lozano-Duque, 2010)

y el sector de Punta Roca (Atlántico) (Ayala *et al.*, 2011). Entretanto, para el golfo de Urabá se reconocieron siete especies (Córdoba-Mena, 2020).

Frente al anterior panorama, es posible advertir que el Caribe colombiano se encuentra representado por pocos trabajos respecto al conocimiento de los dinoflagelados del género *Triplos*. La mayoría de los estudios se enfocan en los departamentos del Magdalena y Bolívar (archipiélago del Rosario), una situación que dificulta la comprensión de los patrones de diversidad y distribución en la región. Aunque las especies del género *Triplos* se pueden identificar con cierta facilidad por medio de observación de morfología general, existe una escasa información sobre este grupo, soportada en los estudios mencionados anteriormente.

En general, los estudios de fitoplancton en Colombia se han limitado al desarrollo de listados, dejando por aparte los estudios descriptivos y taxonómicos, considerados insumos esenciales que sustentan el conocimiento de la ecología, la fisiología y la conservación. Por esta razón se hace necesario contribuir con herramientas que permitan brindar un conocimiento preciso y veraz a través de las descripciones de aspectos morfológicos y claves taxonómicas. Considerando lo mencionado, esta investigación presenta como objetivo el registro y descripción de las especies del género *Triplos* en el golfo de Urabá con una clave taxonómica basada aspectos morfológicos observados en microscopía óptica.

Materiales y métodos

Área de estudio

El golfo de Urabá se encuentra en las costas colombianas del mar Caribe, en las coordenadas 7°55' y 8°40' de latitud norte y 76°53' y 77°23' de longitud oeste. Se ubica entre los departamentos de Antioquia y Chocó, cuya división departamental está dada por el río Atrato hasta la desembocadura de boca Tarena, donde el río vierte sus aguas en el golfo. En el extremo noroccidental, el golfo limita con cabo Tiburón (Chocó); al nororiente, con Punta Arenas (Antioquia), y al norte, con el mar Caribe. Además, es un sistema semicerrado que posee una extensión en franja costera cercana a los 543 km, y su ancho máximo corresponde al norte, donde la extensión es cercana a los 49 km. Su longitud se aproximó a los 80 km, mostrando una forma de u alargada en dirección norte-sur (García-Valencia, 2007).

La climatología del golfo es monomodal y depende de la

oscilación norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical, por lo que se presentan dos épocas climáticas con patrones de precipitación y circulación anual (Chevillot *et al.*, 1993). La época seca, entre diciembre-abril, arroja registros mínimos de precipitación con vientos alisios de gran intensidad desde el noreste. La época húmeda, entre mayo-noviembre, manifiesta valores máximos de precipitación y vientos débiles del suroeste (Chevillot *et al.*, 1993; Roldán, 2008). En cuanto a profundidad, los mayores valores, de hasta 70 m, se reportaron al norte, alejados de las costas y las desembocaduras de los ríos (Vélez-Agudelo y Aguirre-Ramírez, 2016) (figura 1).

La dinámica del golfo permite considerarlo como un estuario debido a sus condiciones morfológicas y oceanográficas (circulación, salinidad, estratificación) y, principalmente, por la influencia de los ríos que desembocan allí tales como el León, el Currulao y el Atrato, que son los principales tributarios (Invemar y Corpourabá, 2003; Escobar, 2011). El río Atrato es la fuente hídrica más importante que llega al golfo, puesto que en relación con el territorio que drena es uno de los más caudalosos a nivel mundial y presenta una gran variedad de ecosistemas tales como zonas de vegetación anfibia, pastos marinos, litorales rocosos, playas, fondos sedimentados y, en especial, manglares y arrecifes de corales, donde se encuentra una gran cantidad de fauna y flora asociada (García-Valencia, 2007).

Fase de campo

Se realizaron siete muestreos entre el 2017 y 2019, de los cuales cinco fueron campañas oceanográficas (tabla 1). En estas salidas se efectuaron arrastres horizontales con redes cónicas de arrastre con tamaño de poro de 20 y 50 μm (Tangen, 1978). Luego, las muestras fueron almacenadas en recipientes plásticos de 1 L y fijadas con formol diluido en agua de mar hasta una concentración del 4 % (Thronsdén, 1978).

Fase de laboratorio

Por cada muestra se tomaron tres alícuotas y se colocaron sobre un portaobjetos para su observación con un microscopio Nikon Eclipse 80i a magnificaciones 100X y 400X. Posteriormente, se realizaron las identificaciones utilizando las guías de identificación especializadas de Graham y Bronikovsky (1944), Sournia (1967), Balech (1988), Okolodkov (2010), Vidal-Velásquez y Lozano Duque (2010) y Al-Yamani y Saburova (2019). Finalmente, se tomaron fotos y medidas con la cámara digital adaptada DS-F11 Nikon Instrumens Inc. y el software NIS-Elements BR Nikon Instrumens Inc.

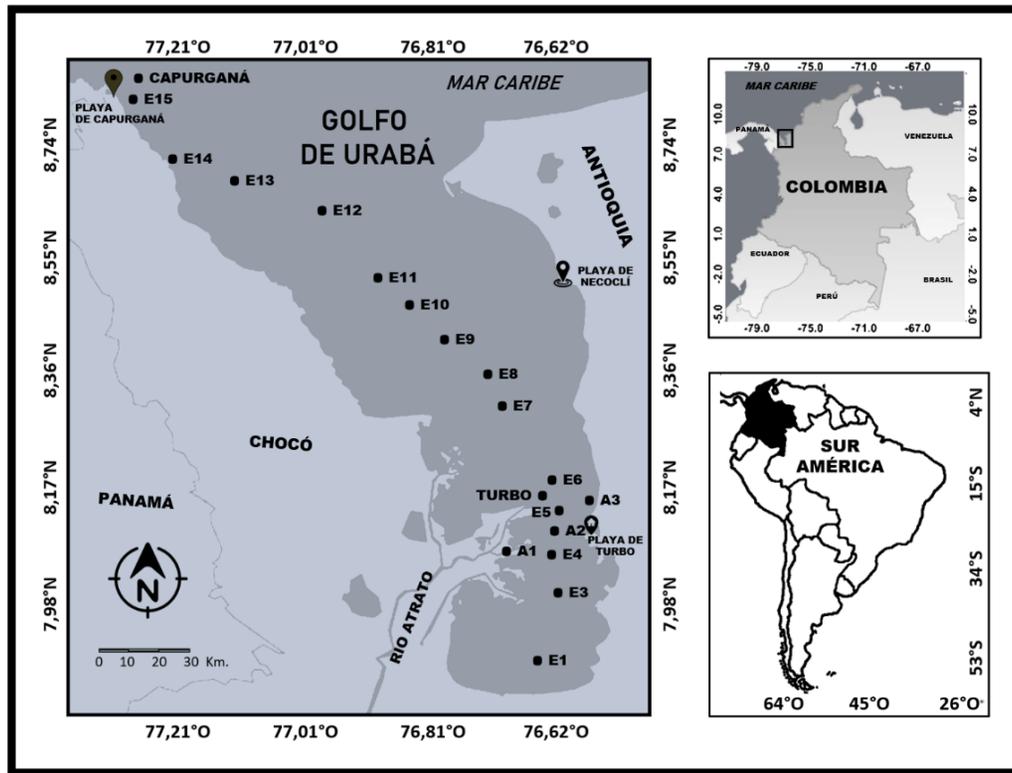


Figura 1. Puntos de muestreos en el golfo de Urabá, localizado al sur del mar Caribe de Colombia.

Tabla 1. Distribución de especies de dinoflagelados del género *Tripes* en Colombia. Nota: Los abreviados de las áreas registradas son: agua del Departamento de Magdalena (AMDM), bahía de Cartagena (BHC), bahía de Neguanje (BHN), bahía Solano (BHS), bahía de Santa Marta (BHSM), Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), costa de La Guajira (CG), golfo de Salamanca (GS), golfo de Urabá (GU), isla de San Andrés y Providencia (ISAP), isla Barú (ISB), isla del Rosario (ISR), noreste de La Guajira (NG). Los autores son: Arias y Durán (1982)¹, Arias y Durán (1984)², Arosemena *et al.* (1973)³, Ávila-Silva (2018)⁴, Carbonell (1979)⁵, Carbonell (1982)⁶, Caycedo (1975)⁷, Caycedo (1977)⁸, CIOH (2016)⁹, Córdoba-Mena (2020)¹⁰, Duarte (1996)¹¹, Fernández y García (1998)¹², García (1987)¹³, Gavilán-Murcia *et al.* (2005)¹⁴, Hoyos-Acuña *et al.* (2019)¹⁵, Lozano-Duque *et al.* (2011)¹⁶, Márquez y Herrera (1986)¹⁷, nuevo registro (NR), Parques Nacionales Naturales de Colombia (2016)¹⁸, Ramos (2005)¹⁹, Ruiz-Gómez (2016)²⁰, Salón-Barros (2013)²¹, Sepúlveda-Villarraga (2013)²², Suárez-Villalba (2007)²³, Téllez *et al.* (1988)²⁴, Torres-Sierra *et al.* (2007)²⁵, Vidal y Carbonell (1977)²⁶, Vidal-Velásquez y Lozano-Duque (2011)²⁷, mar Caribe colombiano (MCC), no registrado (N/R) *nuevo registro (NR*).

Nombres de especies	Caribe colombiano					MCC
	Norte	Oeste	Centro	Sur		
<i>Tripes dens</i>	CG, CGSM (28).	N/R	BC (9, 27, 28), ISR (6).	NR*	N/R	
<i>Tripes eugrammus</i>	NG (11), BHN (7, 8), BHSM (19), GS (12).	ISAP (24).	BHC (1, 2, 3, 5, 14, 15, 22, 23, 26), ISR (6).	GU (10)	4, 16, 17, 22	
<i>Tripes extensus</i>	NG (11), GS (12).	N/R	BHC (5, 6, 18), ISR (6).	NR*		
<i>Tripes fusus</i>	NG (11), BHN (7, 8), GS (12).	ISAP (24).	BHC (1, 2, 3, 5, 14, 15, 22, 23, 26), ISR (6).	GU (10)	16, 17, 21	
<i>Tripes setaceus</i>	BHSM (19)	ISAP (24).	BHC (5, 18), ISR (6)	GU (10)	16	
<i>Tripes gallicus</i>	GS (12).	N/R	N/R	NR*	N/R	
<i>Tripes massiliensis</i>	NG (11), BHN (7, 8), GS (12), AMDM (25)	ISAP (24).	BHC (5, 13, 18, 26), ISR (6).	NR*	16	
<i>Tripes muelleri</i>	NG (11), BHN (7, 8), BHSM (19), GS (12), AMDM (25).	ISAP (24).	BHC (1, 2, 3, 5, 13, 14, 18, 23, ISB (20), ISR (6).	NR*	16, 21	
<i>Tripes pentagonus</i>	NG (11), BHN (7, 8), BHSM (19).	ISAP (24).	BHC (5, 13, 18, 23), ISB (20), ISR (6).	NR*	16, 17	
<i>Tripes trichoceros</i>	GS (12)	N/R	BHC (1, 2, 5, 13, 18, 27), ISR (6)	GU (10)	17, 21	

Análisis de datos

Los nombres, la autoridad, los basiónimos, las sinonimias y la ortografía de las especies registradas se validaron utilizando información taxonómica y nomenclatural de la base de datos global de algas AlgaeBase (<https://www.algaebase.org/>) (Guiry y Guiry, 2021), complementada con el trabajo de Gómez (2021). Por otro lado, en la elaboración de la clave taxonómica se utilizó la herramienta ofimática Excel de Microsoft para Windows 10. Se hicieron revisiones bibliográficas de distribución en el Caribe colombiano tomando como referencia los estudios de Arias y Duran (1982) Arias y Duran (1984), Arosemena et al. (1973), Ávila-Silva (2018), Carbonell (1979), Carbonell (1982), Caycedo (1975), Caycedo (1977), CIOH (2011), Córdoba-Mena (2020), Duarte (1996), Fernández y García (1998), García (1987), Gavilán-Murcia et al. (2005), Hoyos-Acuña et al. (2019), Lozano-Duque et al. (2011), Márquez y Herrera (1986), Parques Nacionales Naturales de Colombia (2016), Ramos (2005), Ruiz-Gómez (2016), Salon-Barros (2013), Sepúlveda-Villalba (2013), Suarez-Villalba (2007), Téllez et al. (1988), Torres- Sierra et al. (2007), Vidal y Carbonell (1977), Vidal y Lozano-Duque (2011).

Resultados

Clave taxonómica para la identificación del género *Tripes* en el golfo de Urabá

- 1a. Células con cuernos antiapicales direccionados posteriormente.....2
- 1b. Células con cuernos antiapicales direccionados anteriormente.....7
- 2a. Células con forma alargada similar a un alfiler, cuerpo poco diferenciado de la epiteca, cuernos antiapicales, uno muy desarrollado mientras otro esta escasamente desarrollado ausente3
- 2b. Células con cuerpo diferenciado de la epiteca, ambos cuernos antiapicales desarrollados5
- 3a. Epiteca 1,5 a 2.0 mayor que hipoteca, cuerno antiapical recto *T. extensus*
- 3b. Epiteca e hipoteca igual o sub-igual de tamaño, cuerno antiapical izquierdo ligeramente doblado *T. fusus*
- 4a. Cuerno apical poco diferenciado del cuerpo celular..... *T. eugrammus*
- 4b. Cuerno apical bien diferenciado del cuerpo celular.....5
- 5a. Cuerpo celular bien desarrollado, con forma pentagonal

- igual largo que ancho *T. pentagonus*
- 5b. Cuerpo celular poco desarrollada, célula ligeramente más larga que ancha..... *T. setaceus*
- 6a. Cuerno antiapical derecho más grande que el izquierdo *T. dens*
- 6b. Cuernos antiapicales de tamaño similar7
- 7a. Hipoteca redondeada en la parte posterior conectadas directamente con los cuernos antiapicales *T. muelleri*
- 7b. Hipoteca aplanada o ligeramente convexa en la parte posterior con una muesca8
- 8a. Porción proximal de los cuernos antiapicales direccionada anteriormente formando una muesca profunda o simétrica, cuernos antiapicales surgen hacia la parte posterior de forma igual o ligeramente desigual.....9
- 8b. Porción proximal del cuerno antiapical derecho direccionada anteriormente formando una muesca poco marcada, cuerno antiapical izquierdo surgiendo directamente en ángulo de 45° *T. massiliensis*
- 9a. Cuernos antiapicales con curvatura progresiva en su origen, cuerno derecho más prominente que el izquierdo, cuerpo celular sub-cuadrangular *T. gallicus*
- 9b. Cuerno antiapical derecho e izquierdo surgiendo de forma simétrica y lateral, cuerpo celular subtrapezoidal *T. trichoceros*

Descripciones de las especies del género *Tripes*

Tripes dens (Ostenfeld y Johannes Schmidt) Gómez 2013 (figuras 2a y 2b)

Basiónimo: *Ceratium dens* Ostenfeld y Johannes Schmidt 1901
Sinónimo: *Ceratium balechii* Maeve, Okolodkov y Zamudio 2003

Diagnosis: cuerpo robusto de forma triangular, con epiteca ligeramente convexa. Cuerno apical corto y recto, y cuernos antiapicales diferenciados: el izquierdo es más corto (característica que permite identificar la especie), y el derecho es delgado y medianamente alargado, de mayor tamaño que el izquierdo, reduciéndose en grosor hacia la punta. Cíngulo inclinado. Se observaron células solitarias y cadenas de dos células. Largo entre 145-270 µm, y ancho del cuerpo celular

entre 57-75 μm . n=16.

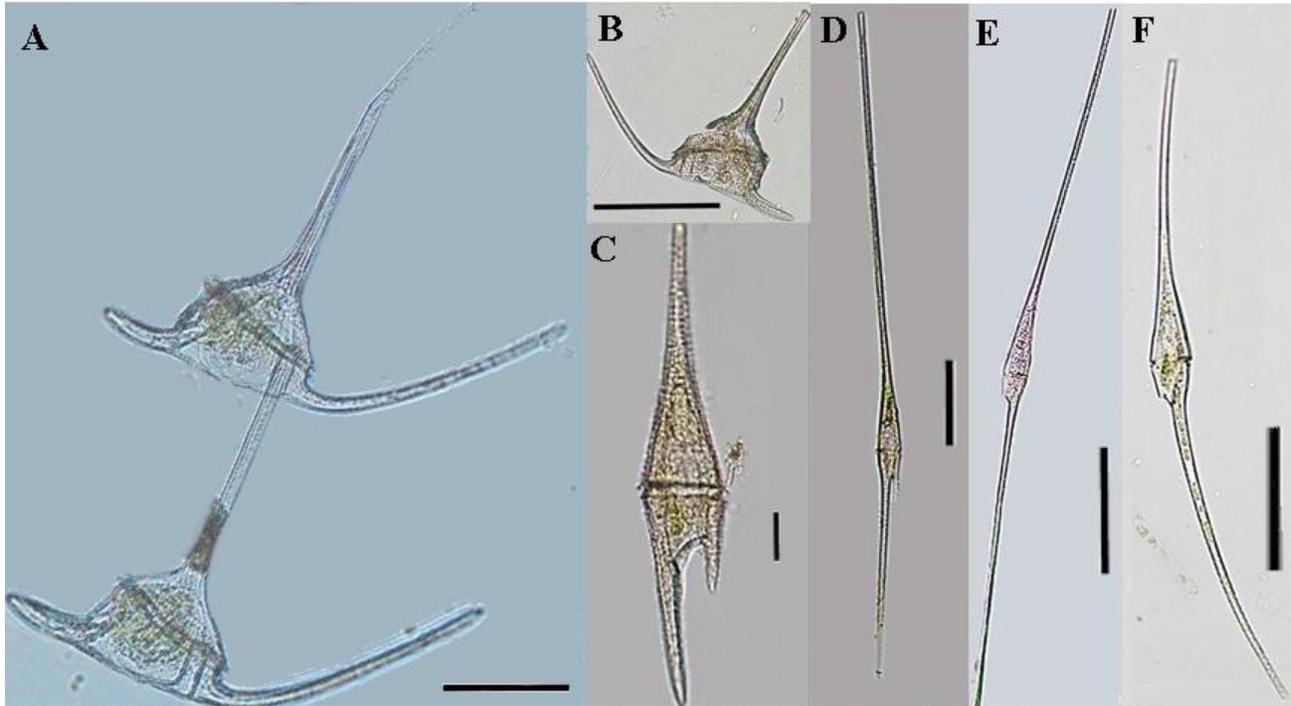


Figura 2. (a) *Tripus dens*, vista ventral en cadena de dos células; (b) *T. dens*, vista ventral; (c) *T. eugrammus*, vista dorsal; (d y e) *T. extensus*, vista dorsal; (f) *T. fusus*, vista ventral. (a, b y f): a escala 50 μm ; (c): a escala 20 μm ; (d, e y f): a escala 100 μm .

***Tripus eugrammus* (Ehrenberg) Gómez, 2013 (figura 2c)**

Basiónimo: *Peridinium eugrammum* Ehrenberg 1860
Sinónimo: *Ceratium eugrammum* (Ehrenberg) Kent 1881

Diagnosis: cuerpo mediano y alargado, ligeramente ancho, con paredes bastante robustas. La epitoca proyecta el cuerno apical, que se reduce de forma gradual hacia el cuerno apical con punta obtusa. Hipoteca formada por dos cuernos: el izquierdo es una a dos veces más largo que el derecho, con terminaciones puntiagudas. El cuerno apical es de mayor longitud con respecto al cuerno antiapical izquierdo. Cíngulo muy marcado. Largo entre 180- 275 μm , y ancho entre 28-44 μm . n=78.

***Tripus extensus* (Gourret) Gómez 2013 (figuras 2d y 2e)**

Basiónimo: *Ceratium fusus* var. *extensum* Gourret 1883
Sinónimo: *Ceratium extensum* (Gourret) Cleve 1900

Diagnosis: especie de gran longitud, posee una forma alargada, similar a una aguja. Presenta cuernos delgados, dos antiapicales: el izquierdo es más largo, y el derecho suele ser reducido (figura 1d), poco visible o inexistente (figura 1e). El cuerno apical es recto, alargado, y se ensancha (algunas células presentaron una ligera torsión en la base). Largo entre 803-1.050 μm , y ancho del cuerpo entre 22-28 μm . n=28.

***Tripus fusus* (Ehrenberg) Gómez 2013 (figura 2f)**

Basiónimo: *Peridinium fusus* Ehrenberg 1834
Sinónimo: *Ceratium fusus* (Ehrenberg) Dujardin 1841

Diagnosis: células fusiformes y alargadas. La epitoca se estrecha hacia el extremo, formando el cuerno apical, y la hipoteca cuenta con un largo cuerno antiapical izquierdo curvado, que se estrecha hacia la punta y presenta una mayor longitud en contraste con el cuerno apical. El cuerno antiapical derecho se encuentra reducido debido que está adyacente al cíngulo. En general, los cuernos tanto antiapical izquierdo como apical tienen la misma longitud y similar curvatura. Largo entre 315-410 μm , y ancho del cuerpo entre 20-25 μm . n=62.

***Tripus setaceus* (Jørgensen) Gómez 2013 (figura 3a)**

Basiónimo: *Ceratium setaceum* Jørgensen 1911
Sinónimo: *Ceratium kofoidii* Jørgensen 1911

Diagnosis: cuerpo celular delicado con aristas bien marcadas. Cuerno apical delgado y alargado, bien diferenciado de la epitoca. Cuernos antiapicales delicados: el izquierdo tiende a ser más largo que el derecho. El cíngulo es amplio y muy distinguible. Largo entre 110-228 μm , y ancho del cuerpo entre 22-25 μm . n=24.

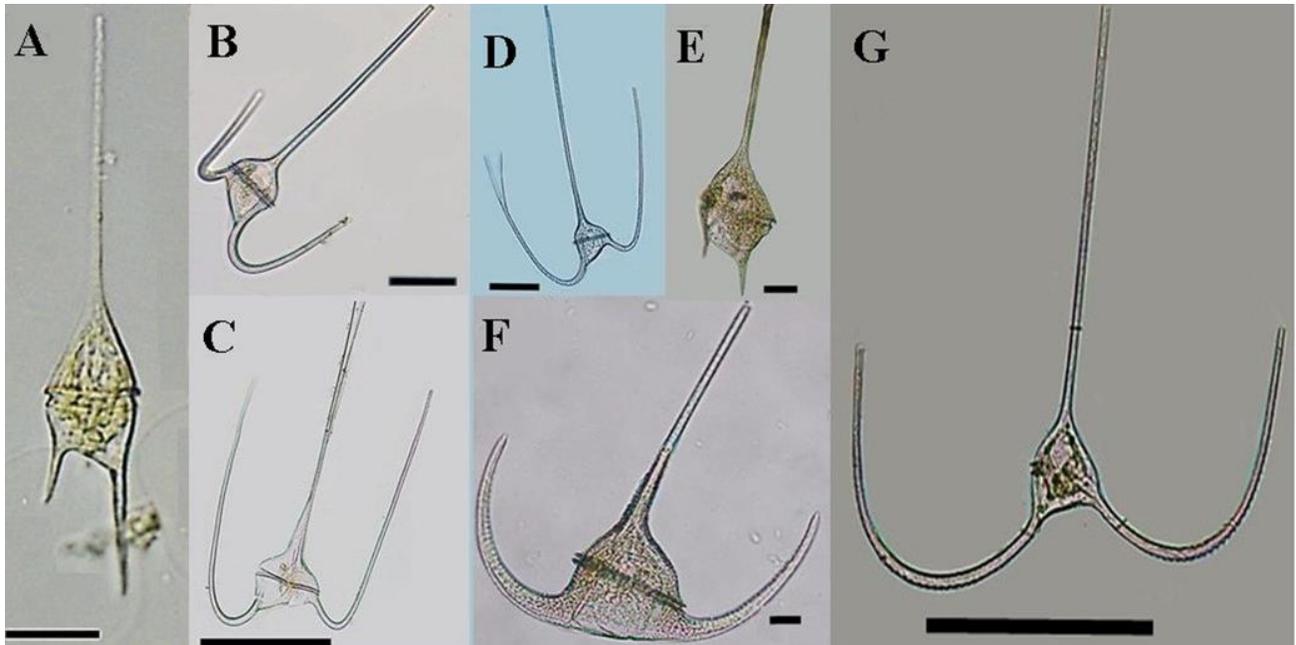


Figura 3. (a). *Triplos setaceus* vista dorsal. (b) y (c) *T. gallicus* vista dorsal, (flecha) indicando ubicación de la muesca. (D). *T. massiliensis* vista dorsal, (flecha) indicando muesca ubicada hacia un lado de la hipoteca (e). *T. pentagonus* vista ventral. (f). *T. muelleri* vista dorsal, G. *T. trichoceros* vista ventral. figura 3a, e y f, escala=20 μm , figura 3b, c y d, escala = 50 μm y figura 3G escala=100 μm .

***Triplos gallicus* (Kofoid) F.Gómez 2021 (figura 2 b y c)**

Basionimio: *Ceratium gallicum* Kofoid 1907

Sinonimio: *Ceratium macroceros* var. *gallicum* (Ehrenberg) Vanhöffen 1897

Diagnosis: cuerpo subcuadrangular a trapezoide, margen posterior casi plano. Cuernos antiapicales largos, tienen el mismo ancho y se extienden paralelamente al cuerpo dirigiéndose hacia atrás formando una muesca, el cuerno antiapical izquierdo sale casi de la división formada por el cíngulo y la hipoteca. Su cuerno apical largo recto y delgado, en algunos casos está ligeramente torcido en la base. Largo 300-430 μm , ancho cuerpo celular 50-58 μm . n=23.

***Triplos massiliensis* (Gourret) Gómez 2013 (figuras 3c y 3d)**

Basionimio: *Ceratium triplos* var. *massiliense* Gourret 1883

Sinónimo: *Ceratium massiliense* (Gourret) Karsten 1906

Diagnosis: cuerpo celular robusto, subtriangular, con margen posterior oblicuo, casi recto. Cuernos antiapicales bastante divergentes: el derecho tiene una disposición moderada, mientras que el izquierdo es más sobresaliente al borde posterior del cuerpo. Presenta una muesca visible en el cuerno derecho, dando la apariencia oblicua al margen posterior. Cíngulo inclinado. Núcleo visible. Largo entre 225-356 μm y ancho del cuerpo celular entre 63-72 μm . n=55.

***Triplos muelleri* Bory 1826 (figura 3e)**

Basionimio: *Cercaria triplos* Müller 1776.

Sinónimo: *Ceratium triplos* (Müller) Nitzsch 1817; *Peridinium triplos* (Müller) Ehrenberg, 1834.

Diagnosis: cuerpo celular subcuadrangular, con borde antiapical inclinado o ligeramente convexo. Cuernos bastante desarrollados. El apical es recto y de longitud mediana, inclinado hacia la derecha, mientras que los antiapicales son cortos y delgados, con disposición contraria al cuerpo, doblados hacia adelante. Cíngulo bien marcado e inclinado. Largo entre 150-270 μm , y ancho cuerpo celular entre 64-80 μm . n=32.

***Triplos pentagonus* (Gourret) Gómez 2013 (figura 3f)**

Basionimio: *Ceratium pentagonum* Gourret 1883.

Sinónimo: *Ceratium subrobustum* (Jørgensen 1920) Steemann Nielsen 1934

Diagnosis: cuerpo celular pentagonal simétrico. Epiteca con forma de triángulo isósceles, del cual sobresale centralmente un cuerno apical largo y delgado. Cuernos antiapicales cortos ligeramente torcidos hacia fuera (divergentes): el izquierdo es 1,5 veces más grande que el derecho. La hipoteca está inclinada hacia el cíngulo. La superficie de la teca está cubierta de pequeños poros y algunas estrías. Cíngulo excavado y angosto. Largo entre 100-192 μm , y ancho del cuerpo entre 43-64 μm . n=18.

***Tripos trichoceros* (Ehrenberg) Gómez 2013 (figura 3g)**

Basionimo: *Peridinium trichoceros* Ehrenberg 1860

Sinónimo: *Ceratium trichoceros* (Ehrenberg) Kent 1881

Diagnóstico: cuerpo celular pequeño, esbelto y subtrapezoidal, con margen posterior plano. Cuernos antiapicales direccionados posteriormente en su porción proximal, con muesca marcada formada entre ellos. La porción distal se encuentra direccionada anteriormente, y en algunos casos puede tener ondulaciones en sus partes más distales. Cuerno apical largo y recto. Punto de mayor amplitud relacionado a la porción proximal de los cuernos antiapicales. Largo entre 175-395 µm, y ancho del cuerpo celular entre 30-43 µm. n=27.

En la tabla 1 se indica la distribución de algunas especies de dinoflagelados del género *Tripos* encontradas en Colombia.

Discusión

En este estudio se encontró una baja diversidad de especies en comparación con los trabajos realizados en la bahía de Cartagena y aguas adyacentes, donde se reconocieron 18 y 24 especies, respectivamente (Carbonell, 1979, 1982), y con las 32 especies en el sistema arrecifal veracruzano (Okolodkov, 2010). Estos bajos registros posiblemente se deben a las condiciones de las aguas del golfo de Urabá, caracterizadas por estar fuertemente influenciadas por la descarga de aguas del río Atrato, que disminuye la salinidad y aumenta la turbidez del agua, especialmente en época invernal (Shen *et al.*, 2011). La combinación de estos factores afecta el desarrollo de muchas especies fitoplanctónicas, lo que disminuye la riqueza específica, incluyendo el género *Tripos* (Madhu *et al.*, 2007).

Las especies *T. fusus*, *T. trichoceros*, *T. massiliensis*, *T. eugrammus* y *T. muelleri* encontradas en este estudio se caracterizan por estar presentes en aguas neríticas (Carbonell, 1979) para la bahía de Cartagena e isla del Rosario. Recientemente, Córdoba-Mena (2020) registró cinco especies para la zona, mientras que este trabajo reporta 10, de las cuales cinco son nuevos registros. Este incremento es un indicador de la falta de investigación en dinoflagelados, ya que este género es de los más comunes en el Caribe colombiano (Lozano-Duque *et al.*, 2011).

Dentro de las especies se encuentra *T. dens*, que presenta células con una gran variación en su simetría. Así, algunas células son más alargadas que anchas, en tanto que otras tienen una forma ancha y robusta. Balech (1988) reporta diferencias

entre células respecto a la extensión del cuerno antiapical derecho, el cual muchas veces puede ser largo o muy corto. Sin embargo, en la zona de estudio esta variación no fue observada; en cambio, las células mantuvieron una forma y una longitud constantes del cuerno antiapical derecho. Como *Ceratium dens*, solía confundirse con *C. balechii*, renombrado por Meave *et al.* (2003), por la disposición del cuerno antiapical izquierdo, de menor tamaño, contrario a *C. dens*, en el que se sitúa en el derecho (Okolodkov, 2010). Posteriormente, Gómez (2021) mencionó que no hay información molecular suficiente para conocer si *T. dens* (*C. dens*) y *T. balechii* (*C. balechii*) son o no conespecíficas. No obstante, propuso el nombre *T. dens* para estas dos especies, argumentando que es una especie polimórfica. Se ha encontrado en aguas cálidas y estuarinas, constatando lo argumentado por Gómez (2021), Hallegraef *et al.* (2020) y Vidal y Lozano-Duque (2011), quienes la observaron en sitios costeros y oceánicos. Por el contrario, Taylor (1976) la considera endémica en aguas templadas del océano Índico. Finalmente, esta especie se considera rara por la falta de frecuencia en las muestras.

Por otra parte, los especímenes de *T. eugrammus* presentaron un cuerpo y cuernos, tanto el apical como los antiapicales, robustos, lo que permitió la identificación correcta con la descripción original de *Peridinium eugrammus* (Ehrenberg 1873). Los trabajos de Carbonell (1979, 1982) y Fernández y García (1998) evidencian la inadecuada identificación de *T. eugrammus* como *T. furca* debido que muchos autores generan controversia. Es así como Jørgensen (1920) subdivide la especie en variedades como *C. furca* var. *berghii* y *C. furca* var. *eugrammus*, mientras que Böhm (1931), en su estudio de variabilidad, determina que el ambiente es un factor importante en las alteraciones morfológicas y por eso se generan dos formas. Posteriormente, Balech (1988) argumentó que no es oportuno seguir la nomenclatura tabular de dichos autores.

T. eugrammus fue encontrada frecuentemente en zonas estuarinas, lo cual coincide con lo reportado por Fernández y García (1998) para el golfo de Salamanca, en el Caribe colombiano. Asimismo, Steemann-Nielsen (1934), Graham y Bronikovsky (1944) y Margalef (1961) argumentaron que se encuentra presente en mares cálidos netamente neríticos, pero también en aguas oceánicas. La especie se asocia a florecimientos algales nocivos, provocando descoloración en el agua (Bainbridge, 1957), aunque Landsberg (2002) ha establecido que es productora de florecimientos inocuos. Finalmente, Gómez (2021) sustenta las diferencias entre *T. eugrammus* y *T. furca* al considerar que la primera tiene una

amplia distribución en los mares tropicales (aguas neríticas) y la segunda se limita a zonas boreales y templadas.

T. extensus se caracteriza por una epiteca entre 1,5 a 2,0 mayor que la hipoteca, carácter que lo diferencia de *T. fusus*. Particularmente, algunas células presentaron longitudes iguales tanto en la epiteca como en la hipoteca, con tamaños totales de aproximadamente 1 mm, dentro de los rangos de medidas de Balech (1988) y Ojeda-Rodríguez (2002). Este hallazgo se opone a lo reportado por Fernández y García (1998) y Okolodkov (2010), quienes describen la especie con una mayor longitud de la hipoteca con respecto a la epiteca. De hecho, esta especie era muy conflictiva con *T. fusus* por ser descrita por Gourret (1883) como *C. fusus* var. *extensum* con características de una célula muy alargada. Jørgensen (1911), por su parte, la consideró *C. biceps*, mientras que Kofoid (1908) y Taylor (1976) describen a *C. strictum* y *C. biceps*, respectivamente, esta última considerada como una célula inmadura de *C. extensum*. No obstante, Kofoid (1908) generó problemas en cuanto a su errada identificación de *C. biceps* como *C. extensum*. Por lo demás, en cuanto a herramientas moleculares, Gómez (2021) evidenció la separación entre las dos especies (*T. extensus* y *T. fusus*), definiéndola como *T. extensus*. Esta especie concuerda con lo encontrado por Fernández y García (1998) en el área nerítica del departamento del Magdalena y es propia de aguas cálidas, como lo argumenta Balech (1988).

Por su parte, *T. fusus* (Ehrenberg) F. Gómez está caracterizada por el poco desarrollo del cuerno antiapical derecho y por un tamaño igual en los dos cuernos, el apical y el antiapical izquierdo. Los rangos de tamaños y las formas de los especímenes concuerdan con las observaciones realizadas por Fernández y García (1998) en el centro del mar Caribe colombiano, Balech (1988) en el Atlántico sudoccidental y Ojeda-Rodríguez (2002) en islas Canarias. En ese orden de ideas, la especie identificada como *T. fusus* posee una sola variedad, denominada *T. fusus* var. *schuetti*. Actualmente, Gómez (2021) propone una nueva combinación, denominada *T. fusus*, incluyendo dicha variedad.

En el caso de las células halladas en el golfo de Urabá, no se reportó variación en la estructura de las células, manifestando la forma típica de la especie, por lo que *T. fusus* var. *schuetti* posiblemente no sea una variación del ciclo de vida, sino un ecotipo. Las células fueron encontradas en la mayoría de las estaciones. Fernández y García (1998) la hallaron en aguas neríticas, mientras que Balech (1988) considera esta especie propia de aguas cálidas oceánicas, costeras y estuarinas. Asimismo, habita en aguas oceánicas del océano Atlántico

(Margalef, 1969; Dodge y Marshall, 1994).

Con relación a *T. setaceus* (= *T. kofoidii*), los especímenes encontrados presentan un cuerpo esbelto con un cuerno apical alargado y delgado, así como la escultura de los cuernos antiapicales. Estas características morfológicas son similares a las de la descripción de *C. kofoidii* y *C. setaceum* de Jørgensen (1911). Años antes, esta especie fue descrita por Kofoid (1908) como *C. eugrammum*. Por su parte, Graham y Bronikovsky (1944) describieron a *C. boehmii* con rasgos similares a las ilustraciones de Jørgensen (1911) de *C. kofoidii* y *C. setaceum*, con cuernos largos similares a *Peridinium furca*, de Ehrenberg (1833). Entretanto, la especie *C. kofoidii* descrita por Jørgensen (1911) es diferente de *P. eugrammum* en Ehrenberg (1833) y *P. eugrammus* sensu en Kofoid (1908), por lo que se considera que *C. kofoidii* y *C. boehmii* son conespecíficas de *C. setaceum*. Por lo tanto, Gómez (2021) designa a *T. kofoidii* como *T. setaceus*. Se observaron pocos ejemplares que correspondieran a la argumentación de Balech (1988), quien anota que "estas especies no son ni frecuente ni abundantes". Por último, es claro que esta especie es termófila y muy común en aguas neríticas de zonas cálidas (Dodge y Marshall, 1994).

La mayoría de células encontradas de *T. gallicus* en el golfo de Urabá presentan una muesca marcada (figura 3 B y C), concordando con la descripción original de Kofoid (1908), asimismo, Hallegraeff *et al.* (2020) nombra a *T. macroceros* (figuras 8 a y b) pero estas no son similares a la descripción de *T. macroceros* (= *Peridinium macroceros*) de Ehrenberg. Por otra parte, Okolodkov (2010) la agrupó en *C. macroceros* var. *gallicum* (Plato 8 fig. 4). A nivel mundial, se ha confundido con la forma de *T. macroceros* según Claparède y Lanchmann (1859), razón por la cual, había sido registrada para dos sitios del Caribe colombiano, mientras que, para esta área es un nuevo registro. De acuerdo, al trabajo de Gómez (2021) esta especie no corresponde a la descripción de *T. macroceros* (= *Peridinium macroceros*) realizada por Ehrenberg "carente de muescas", muy diferente a las halladas en el golfo de Urabá.

Las estructuras morfológicas de *T. massiliensis* mostraron cuernos antiapicales medianos, semejante a la descripción original de la especie *C. tripes* var. *masiliense* de Gourret (1883) y de Fernández y García (1998) en aguas del golfo de Salamanca. Posteriormente, Karsten (1906) no presenta descripción morfológica de este espécimen y lo establece arbitrariamente como *C. massiliense*. Pavillard (1907), luego, presenta una variedad de *C. masiliense* f. *armatus*, y posteriormente Böhm (1931) propone tres variedades: *massiliensis*, *armatum* y

protuberans. Por otra parte, Balech (1988) solo considera una variedad (var. *armatum*) con morfología similar (cuernos más cortos y robustos). Después de muchas décadas, Gómez (2013) la reinstaló en un nuevo género, pasando de *C. massiliensis* a *T. massiliensis*, hallado en aguas estuarinas, algo constatado con Fernández y García (1998) para el mar Caribe colombiano. Balech (1988) la define para ambientes costeros y estuarinos, y Sournia (1969) para los mares tropicales.

En *Triplos muelleri* (= *C. triplos*) no se observaron variaciones morfológicas. Es decir, su forma se mantuvo igual con relación a altura y ancho. Esto difiere de lo argumentado por Karsten (1906), quien planteó variedades tales como: *atlanticum*, *balticum*, *breve*, *porrectum*, *pulchellum*, *semipulchellum*, *ponticum*, *mediterraneum*, *tripodioides* y *neglectum*, aunque Balech (1988) agrupa las variedades *balticum*, *subsalum* y *atlanticum* en *C. triplos* var. *triplos* y acepta variedades como: *tripoides*, *neglectum*, *porrectum*, *breve* y *pulchellum*. A su vez, la cantidad de formas de transición encontradas ha dificultado en muchas ocasiones la inclusión de una u otra variedad (Ojeda-Rodríguez, 1998). En el 2013, el género cambia de *Ceratium* a *Triplos*. En este caso, el mismo autor determinó que la especie *C. triplos* se reemplazó por *T. muelleri* al ser la especie tipo del nuevo género. Por otra parte, Balech (1988) y Ojeda-Rodríguez (1998) evidencian que esta especie es de aguas costeras y oceánicas de zonas cálidas, algo constatado con los ejemplares de este estudio. Por lo tanto, se establece cosmopolita para aguas cálidas, capaz de desarrollar biomasa a pequeña escala en un espacio temporal (Borkman *et al.*, 1993).

En cuanto a *T. pentagonus*, presenta un cuerno apical extendido y unos cuernos antiapicales medianos, encajando dentro de la descripción realizada por Gourret (1883). Aunque tiende a confundirse con *T. teres*, este se diferencia en la forma celular pentagonal alargada en la parte antero-posterior (Kofoid, 1907). Sin embargo, esta especie presenta formas alargadas y cortas dependiendo del ambiente donde sea encontrada: en el caso de ambientes costeros, se observa un apical corto, y en los oceánicos, uno alargado. Así, los ejemplares hallados en este estudio demostraron tener influencias costera y oceánica debido que presentan un cuerno apical más o menos mediano, lo cual demuestra que es una especie con características ecotípicas y concuerda con lo reportado por Margalef (1961), quien expresa que habita en aguas cálidas.

Por otra parte, los individuos observados de *T. trichoceros* presentan los cuernos antiapicales doblados y dispuestos a la misma altura. Esto coincide con lo reportado por Fernández y García (1998) y con la descripción original de Ehrenberg (1860)

de *Peridinium trichoceros*, aunque tiende a confundirse con las especies del subgénero *Biceratium* e incluso con miembros de la sección *Macroceros* que han presentado autotomía (Gómez, 2021). Los individuos examinados poseen un cuerno apical corto, si bien Fernández y García (1998) la describen con cuerno apical largo; por lo tanto, cabe suponer que es una especie que presenta múltiples formas, lo que ha provocado errores en su identificación. Estos mismos autores la encontraron en aguas neríticas que se asemejan a las condiciones del presente estudio.

Entretanto, *T. eugrammus* registró el mayor número de especímenes hallados en el golfo de Urabá, constatando su distribución en el Caribe colombiano (tabla 1). De esta forma es evidente que se trata de una especie común en la región, mientras que *T. dens* fue considerada rara por su poca frecuencia, reportada en el 2011 en el norte y el centro del mar Caribe colombiano.

Las especies del género *Triplos* se caracterizan por la gran plasticidad fenotípica, que puede tener un taxón en diferentes partes del mundo e incluso dentro de una misma región. Tal es el caso de *T. muelleri* (= *C. triplos*) en el Atlántico suroccidental, donde se hallaron seis formadas distintas (Balech, 1988), generando confusión en la identificación. Por tal razón, se elaboró una clave taxonómica para el golfo de Urabá, que será una herramienta útil que ayude a una rápida y fiable identificación teniendo en cuenta la variación que pueden tener las células encontradas en el área.

Por último, las especies de *Triplos* encontradas en el presente estudio equivalen al 31 % de lo registrado para el Caribe colombiano, y cinco de ellas son nuevos registros para el golfo de Urabá. Con esto no solo se contribuye al conocimiento sobre la distribución geográfica del género, sino que a la vez se expone la necesidad de desarrollar estudios sobre dinoflagelados en aguas colombianas. Finalmente, se recomienda llevar a cabo futuras investigaciones enfocadas en la implementación de medios de cultivos y herramientas moleculares para conocer el ciclo de vida y la ecología de estas especies.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Grupo de Investigación de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Antioquia por el apoyo en la financiación en el desarrollo de este trabajo bajo el marco de los proyectos *Biotoxinas asociadas al fitoplancton marino en el golfo de*

Urabá, Caribe colombiano e Ingeniería genética: estrategia molecular para el mejoramiento del proceso de producción de ficobiliproteínas a partir de la microalga *Porphyridium cruentum*.

Referencias

- Al-Yamani, F. y Saburova, M.A. 2019. Marine phytoplankton of Kuwait's waters. Volume I. Cyanobacterias, Dianoflagellastes, Flagellates. Waves Press, Kuwait.
- Arias, F.A. y Durán, J.C. 1982. Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena para 1980. Tesis de pregrado en Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Arias, F.A. y Durán, J.C. 1984. Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográfica del Caribe* (5): 61-116. Doi: <https://doi.org/10.26640/22159045.17>.
- Arosemena, D., Cárdenas, H., Garzón, F., Ibáñez, F., Morenos, C. y Sierra J. 1973. Algunos dinoflagelados y diatomeas de la bahía de Cartagena y sus alrededores. Informe Museo Marino, Santa Marta.
- Ávila-Silva, M.Y. 2018. Caracterización del ensamblaje de dinoflagelados en un sector oceánico del caribe colombiano en la época de lluvias mayor (2015) y seca mayor (2016). Tesis de pregrado en Biología, Universidad del Magdalena, Colombia.
- Ayala, C., Martínez, P.A., Méndez, A. y Vidal-Velásquez, L.A. 2011. Primer registro del dinoflagelado *Neoceratium digitatum* (Schütt) Gómez, Moreira y López-García 2009 (Dinophyceae), en aguas del Caribe colombiano. *Biota Colombiana* 12(1): 145-151. Doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2011.40.1.107>.
- Bainbridge, R. 1957. The size, shape and density of marine phytoplankton concentrations. *Biological Reviews* 32(1): 91-115. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1957.tb01577.x>.
- Balech, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publicación Especial del Instituto Español de Oceanografía. Madrid.
- Böhm, A. 1931. Distribution and Variability of *Ceratium* in the Northern and Western Pacific. Corithians Press, Honolulu.
- Borkman, D.G., Pierce, R.W. y Turner, J.T. 1993. Dinoflagellate blooms in Buzzards Bay, Massachusetts. En: Smayda, T.J. y Shimizu, Y., Editores. *Toxic phytoplankton blooms in the Sea*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Carbonell, M.C. 1979. *Ceratium* Schrank (Peridinales) en la bahía de Cartagena. *Boletín Científico del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe* 2: 21-54.
- Carbonell, M.C. 1982. *Ceratium* Schrank (Dinoflagellatae, Peridinales) de las islas del Rosario, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 12: 71-91. Doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1982.12.0.496>.
- Caycedo, I.E. 1975. Productividad primaria y fitoplancton en la bahía de Neguanje Parque Nacional Tayrona. Tesis de pregrado en Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Caycedo, I. E. 1977. Fitoplancton de la bahía de Nenguanje (Parque Nacional Tayrona), mar Caribe, Colombia. *Bulletin of Marine and Coastal Research* 9: 17-44. Doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1977.9.0.518>.
- Dimar-CIOH. 2011. Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete y Agua de Lastre. Dirección General Marítima- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ediotres. Dimar, Serie de Publicaciones Especiales CIOH Vol 5. Cartagena de Indias, Colombia.
- Córdoba-Mena, N. I. 2020. Variabilidad espaciotemporal de las microalgas fitoplanctónicas con énfasis en las productoras de biotoxinas y su relación con las concentraciones de nutrientes en el Golfo de Urabá, Caribe colombiano. Universidad de Antioquia. Turbo. URL: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/16464> Consultado: 19 de marzo de 2021.
- Chevillot, P., Giraldo, L., Molina Márquez, C. y Molina Márquez, A. 1993. Estudio geológico e hidrológico del Golfo de Urabá. *Boletín Científico del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe* (14). Doi: https://doi.org/10.26640/01200542.14.79_90.
- Claparède, É. y Lachmann, J. 1859. Études sur les infusoires et les rhizopodes. Studies on infusoria and rhizopods. Memoires de l'Institut National Genevois.
- Córdoba-Mena, N.I. 2020. Variabilidad espacio temporal de las microalgas fitoplanctónicas con énfasis en las productoras de biotoxinas y su relación con las concentraciones de nutrientes en el golfo de Urabá, Caribe colombiano. Universidad de Antioquia, Turbo. URL: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/16464> . Consultado: 19 de marzo de 2021.
- Dimar-CIOH. 2011. Catálogo de fitoplancton de la bahía de Cartagena, bahía Portete y Agua de Lastre. Serie de Publicaciones Especiales CIOH Vol. 5. Dirección General

- Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, Cartagena de Indias, Colombia.
- Dodge, J.D. y Marshall, H.G. 1994. Biogeographic analysis of the armored planktonic dinoflagellate *Ceratium* in the North Atlantic and Adjacent seas. *Journal of Phycology* 30(6): 905-922. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1994.00905.x>.
- Duarte, G. 1996. Estructura del fitoplancton al noroeste de La Guajira durante el crucero Caribe 1-93. Tesis de pregrado en Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Ehrenberg, C.G. 1833. Dritter Beitrag zur Erkenntniss grosser Organisation in der Richtung des kleinsten Raumes: Third contribution to the knowledge of large organization in the direction of the smallest space. *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, Berlín.
- Ehrenberg, C.G. 1860. Ehrenbergs Mittheilung vom 8. Decbr. 1859. Verzeichnis der Leuchtthierchen. Addendum to M. Ehrenberg's communication from 8. Decbr 1859. List of luminous animals. *Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, Berlín.
- Escobar, S.C. 2011. Relevancia de procesos costeros en la hidrodinámica del Golfo de Urabá (Caribe Colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 40(2): 327-346.
- Fernández, C.E. y García, C.B. 1998. The dinoflagellates of the genera *Ceratium* and *Ornithocercus* collected in the Golfo de Salamanca, Colombian Caribbean Sea. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 22: 539-559.
- García, R. 1987. Composición, distribución vertical y abundancia de tintínidos y dinoflagelados en la bahía de Cartagena, septiembre-diciembre de 1984. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- García-Valencia, C. 2007. Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Serie Publicaciones Especiales Invemar N.o 12. Santa Marta.
- Gavilán Murcia, M.M., Cañón Páez, M.L. y Tous Herazo, G. 2005. Comunidad fitoplanctónica en la Bahía de Cartagena y en aguas de lastre de buques de tráfico internacional. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográfica del Caribe* (23): 60-75. Doi: <https://doi.org/10.26640/22159045.139>.
- Gómez, F. 2013. Reinstatement of the Dinoflagellate genus *Triplos* to replace *Neoceratium*, marine species of *Ceratium* (Dinophyceae, Alveolata). *CICIMAR Oceanides* 28(1): 1-22. Doi: <http://doi:10.37543/oceanides.v28i1.119>.
- Gómez, F. 2021. Speciation and Infrageneric Classification in the Planktonic Dinoflagellate *Triplos* (Gonyaulacales, Dinophyceae). *Current Chinese Science* 1(3): 346-372. Doi: <https://doi.org/10.2174/2210298101999210101231020>.
- Gourret, P. 1883. Sur les péridiniens du Golfe de Marseille. *Annales Du Musee Histoire Naturelle Marseille- Zoologie*. Typographie et lithographie Gayer' et C. Marseille.
- Graham, H.W. y Bronikovsky, N. 1944. The genus *Ceratium* in the Pacific and North Atlantic Oceans. Carnegie Institute of Washington, Washington D.C.
- Guiry, M.D y Guiry, G.M. 2021. AlgaeBase. National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org>. Consultado: 9 de agosto de 2021.
- Hallegraeaf, G., Eriksen, R., Davies, C., Slotwinski, A., McEnulty, F., Coman, F., Uribe-Palomino, J., Tonks, M. y Richardson, A. 2020. The marine planktonic dinoflagellate *Triplos*. 60 years of species-level distributions in Australian waters. *Australian Systematic Botany* 33(4): 392-411. Doi: <http://doi.org/10.1071/SB19043>.
- Hoyos-Acuña, J.J., Salón-Barros, J.C. y Mancera-Pineda, J.E. 2019. Morphological aspects and first record of unarmored dinoflagellate *Pronoctiluca spinifera* in the Colombian Caribbean. *Acta Biológica Colombiana* 24(2): 264-274. Doi: <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.70179>.
- Invemar y Corpourabá. 2003. Diagnóstico, zonificación y definición de la estructura administrativa de manejo de la unidad ambiental costera del Darién, Caribe colombiano Fase I. Caracterización y diagnóstico. Informe técnico preliminar. Instituto de Investigaciones Marinas, Corporación Autónoma de Urabá, Turbo.
- Jørgensen, E. 1911. Die Ceratien. Eine kurze Monographie der Gattung *Ceratium* Schrank. A Brief Monograph of the *Ceratium* Closet Genus. *Internationale Revue Gesamten Hydrobiologie and Hydrography* 4(1): 1-124.
- Jørgensen, E. 1920. *Mediterranean Ceratia. Report on the Danish Oceanographical Expeditions 1908-10 to the Mediterranean and adjacent Seas 2 (Biology) J1*. Carlsbergfondet, Copenhagen, Denmark.
- Karsten, G. 1906. *Das Phytoplankton des Atlantischen Ozeans*. Ibid. Lief. Berlín.
- Kofoed, C.A. 1907. Reports on the Scientific Results of the Expedition to the Eastern Tropical Pacific, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish Commission Steamer "Albatross", from

- October, 1904, to March, 1905, Lieut. Commander L. M. Garrett, U. S. N., commanding. IX. New species of Dinoflagellates. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*. Harvard College 50: 161-207.
- Kofoid, C.A. 1908. *Exuvation, autotomy and regeneration in Ceratium. Notes on some obscure species of Ceratium*. The University Press, Berkeley.
- Landsberg, J. 2002. The Effects of Harmful Algae Blooms on Aquatics Organism. *Reviews in Fishers Science* 10(2): 113-390. Doi: <https://doi.org/10.1080/20026491051695>.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L.A. y Navas, G.R. 2011. Lista de especies de dinoflagelados (Dinophyta) registrados en el mar Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 40(2): 361-380. Doi: <http://doi:10.25268/bimc.invemar.2011.40.2.116>.
- Madhu, N.V., Jyothibabu, R., Balachandran, K.K., Honey, U.K., Martin, G.D. Vijay, J.G., Shiyas, C.A., Gupta, G.V.M. y Achuthankutty, C.T. 2007. Monsoonal impact on planktonic standing stock and abundance in the tropical estuary (Cochin backwater-India). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 73(1-2): 54-64. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.12.009>.
- Margalef, R. 1961. Hidrografía y fitoplancton de un área marina de la costa meridional de Puerto Rico. *Investigación Pesquera* 18: 33-96.
- Margalef, R. 1969. Diversidad de fitoplancton de red en dos áreas del Atlántico. *Investigación Pesquera* 33(1): 275-286. Doi: <http://hdl.handle.net/10261/164612>.
- Márquez, G. y Herrera, M. 1986. Estudios en la biomasa del fitoplancton y su distribución geográfica durante el crucero Océano Área I: levantamiento Providencia en el Caribe colombiano. Informe final. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- McDermott, G. y Raine, R.C. 2006. The Dinoflagellate Genus *Ceratium* in Irish Shelf Seas. The Martin Ryan Institute, National University of Ireland. Galway, Ireland.
- Meave del Castillo, M.E., Zamudio, R.M.E., Okolodkov, Y.B. y Salgado-Ugarte, I.H. 2003. *Ceratium balechii* sp. nov. (Dinophyceae: Gonyaulacales) from the Mexican Pacific. *Hidrobiológica* 13(1): 75-90.
- Ojeda-Rodríguez, A. 1998. Dinoflagelados de Canarias: estudio taxonómico y ecológico. Tesis de Doctorado, Universidad de las Palmas de Gran Canarias, Las Palmas de Gran Canarias.
- Ojeda-Rodríguez, A. 2002. El género *Ceratium* Schrank (Dinophyceae) en las islas Canarias. *Revista Académica de Ciencias Canarias* 13(4): 167-179.
- Okolodkov, Y. 2010. *Ceratium* Schrank (Dinophyceae) del parque nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México, con clave para identificación. *Acta Botánica Mexicana* (93): 41-101. Doi: <https://doi.org/10.21829/abm93.2010.275>.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2016. Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Corales de Profundidad 2016-2021. Unidad Administrativa Especial Del Sistema de Parques Nacionales Naturales, Colombia.
- Pavillard, J. 1907. Sur les *Ceratium* du Golfie du Lion, II. *Bulletin de la Société Botanique de France* 54(4): 255-231. Doi: <https://doi.org/10.1080/00378941.1907.10831262>.
- Ramos, L.M. 2005. Caracterización de la comunidad fitoplanctónica de la bahía de Santa Marta (Caribe Colombiano). Tesis de pregrado en Biología, Universidad de Magdalena. URL: <https://repositorio.unimagdalena.edu.co/jsp/ui/handle/123456789/89>. Consultado: 15 de enero de 2021.
- Roldán, P. 2008. Modelamiento del patrón de circulación de la bahía Colombia, Golfo de Urabá. Implicaciones para el transporte de sedimentos. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ruiz-Gómez, A. 2016. Composición y abundancia de especies de dinoflagelados asociados a praderas de pastos marinos y macroalgas en la isla de Barú, durante diferentes periodos climáticos. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Saldarriaga, J.F. y Taylor, F.J.R. 2017. Dinoflagellates. En: Archibald, J.M., Simpson, A.G.B. y Slamovits, C.H., Editores. *Handbook of the Protists*. Springer International Publishing, Switzerland.
- Salón-Barros, J.C. 2013. Caracterización de la comunidad fitoplanctónica de la bahía de Santa Marta (Caribe Colombiano). Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Sepúlveda Villarraga, M. 2013. Identificación de la composición fitoplanctónica en áreas interiores y adyacentes de tres zonas portuarias mayores del Caribe colombiano. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. URL: http://unicornio.utadeo.edu.co/tesis/biologia_marina/T1004.pdf. Consultado: 30 de noviembre de 2020.
- Shen, P.P., Liang-Min, G.L., Jian-Li Zhang, J. y Hui-Te, Y. 2011.

- Spatio-temporal variability of phytoplankton assemblages in the Pearl River estuary, with references to the influence of turbidity and temperature. *Continental Shelf Research* 31(16): 1672-1681. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2011.07.002>.
- Sournia, A. 1967. Le genre *Ceratium* (péridinien planctonique) dans le Canal de Mozambique. Contribution a une révision mondiale. Première Partie. Observatoire Océanologique – Laboratoire Arago, Paris. URL : <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-02951571/document>. Consultado: 16 de enero de 2021.
- Sournia, A. 1969. Cycle annuel du phytoplankton et de la production primaire dans les mers tropicales. *Marine Biology* 3 : 287-303. Doi : <https://doi.org/10.1007/BF00698859>.
- Sournia, A. 1986. *Atlas du phytoplankton marin. Volume 1. Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et raphidophycées*. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Suárez-Villalba, V.C. 2007. Biodiversidad del fitoplancton en aguas de lastre de buques de tráfico internacional y los principales muelles cargueros de la bahía de Cartagena, Colombia. Tesis de pregrado en Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.
- Steemann Nielsen, E. 1934. Untersuchungen über die Verbreitung, Biologie und Variation der Ceratien im südlichen Stillen Ozean.
- Tangen, S. 1978. Preservation and storage. En: Sournia, A., Editor. *Phytoplankton manual*. Unesco, United Kingdom.
- Taylor, F.J.R. 1976. *Dinoflagellates from the international Indian Ocean Expedition*. Bibliotheca Botanica, Stuttgart.
- Téllez, C., Márquez, G. y Castillo, F. 1988. Fitoplancton y ecología en el archipiélago de San Andrés y Providencia: Crucero Océano VI en el Caribe colombiano. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográfica del Caribe* (8): 3-26. Doi: <https://doi.org/10.26640/01200542.8.3.26>.
- Temponeras, M., Kristiansen, J. y Moustaka-Gouni, M. 2000. A new *Ceratium* species (Dinophyceae) from Lake Doirani, Macedonia, Greece. *Hydrobiologica* 424: 101-108. Doi: <http://doi.org/10.1023/A:1003957129071>.
- Thronsdon, J. 1978. Preservation and storage. En: Sournia, A., Editor. *Phytoplankton manual*. Unesco, Paris.
- Torres-Sierra, E.A. 2007. La comunidad fitoplanctónica presente en un evento de surgencia, frente a la costa del departamento del Magdalena, Caribe Colombiano, año 2006. Tesis de pregrado en Biología Marina, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.
- Vélez-Agudelo, C. y Aguirre-Ramírez, N. 2016. Influencia del río Atrato en el golfo de Urabá durante el Holoceno tardío, mar Caribe colombiano. *Boletín Investigaciones Marinas y Costeras* 45(1): 73-97. Doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2016.45.1.631>
- Vidal, L.A. y Carbonell, M.C. 1977. Diatomeas y dinoflagelados de la bahía de Cartagena. Tesis de pregrado en Biología Marina, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Vidal-Velásquez, L.A. y Lozano-Duque, Y. 2011. Revisión de los taxones del género *Neoceratium* Gómez F, Moreira D, López-García, P (Dinophyceae) y Primer registro de N. den en el Mar Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 40(1): 143-183. Doi <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2011.40.1.107>.
- Wood, E.J. 1968. *Dinoflagellates of the Caribbean Sea and Adjacent Areas*. University of Miami Press, Florida.

Citar como: Portillo-Cogollo, L., Hoyos-Acuña, J.J., Quintana-Manota, H.L. y Atehortúa-Garcés, L. 2021. Especies del género *Triplos* (Dinophyceae) en el golfo de Urabá, Caribe colombiano. *Intropica* 16(2): 191-203. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4082>

Fitoplancton del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo durante los periodos de precipitación del 2016 a 2019

Phytoplankton of Los Corales del Rosario y de San Bernardo National Natural Park during the precipitation periods from 2016 to 2019

Jainy Maldonado-Durán¹, María Isabel Criales-Hernández^{1*}, Mauricio Jerez-Guerrero¹, Camilo Valcarcel-Castellanos²

1. Laboratorio de hidrobiología, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

2. Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Parques Nacionales Naturales de Colombia, sede Cartagena de Indias, Colombia.

*Autor de correspondencia: mcriales@uis.edu.co

Recibido: 25 de marzo de 2021

Aceptado: 28 de agosto de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen

Palabras clave:
diversidad; arrecifes de coral;
área marina protegida;
Caribe colombiano

El fitoplancton es uno de los componentes primarios de los ambientes acuáticos marinos. En los arrecifes de coral, tiene un papel fundamental porque provee alimento a los corales y, secundariamente, da alimento al zooplancton, por lo que crea interacciones tróficas importantes en este ecosistema. El deterioro de los arrecifes a nivel global ha ocasionado, entre muchos otros factores, un aumento en la abundancia de especies de fitoplancton debido al incremento de nutrientes y sedimentos que no favorecen a la salud de estos ecosistemas. En el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo, en particular, estos efectos se perciben durante la época de precipitaciones, principalmente por descargas continentales. Por lo tanto, este estudio intenta contribuir con información detallada de la comunidad fitoplanctónica que se presenta en el área protegida y la abundancia relativa durante dicho periodo. Para esto se analizaron 16 muestras recolectadas en la temporada de mayor precipitación entre 2016 y 2019 en cuatro estaciones dentro del área del parque, mediante arrastres horizontales con una red de 63 µm. Se identificaron 228 morfoespecies de fitoplancton que corresponden a especies de ambientes de aguas someras y costeras. Las diatomeas fueron el grupo de mayor representatividad durante 2016, 2017 y 2019, con la presencia de especies como *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros affinis* y *Bacteriastrum furcatum*. Durante 2018 los dinoflagelados aumentaron su representatividad por encima de las diatomeas, con la presencia de algunas especies con potencial nocivo como *Pyrodinium bahamense* y *Alexandrium monilatum*, las cuales registraron las mayores abundancias relativas en ese año.

Abstract

Key words:
diversity; coral reef;
marine protected area;
Colombian Caribbean

Phytoplankton is one of the primary components of marine aquatic environments, in the coral reefs they play a fundamental role, because they provide food to corals and secondarily zooplankton feed their prey, thus they promote important trophic interactions in this ecosystem. Degradation of these ecosystems at a global level has caused, among many of the factors, an increase in the abundance of phytoplankton species due to the increase in nutrients and sediments that do not favor the health of the reefs. The Nacional Natural Park Corales del Rosario and San Bernardo is affected during the rainy season mainly by continental discharges, this study contributes with detailed data of the phytoplankton community that occurs and the relative abundance in the Protected Area during this period time. 16 samples were collected in the season with the highest rainfall between 2016 and 2019 in four stations within the Nacional Natural Park area were analyzed, using horizontal drags with a 63- µm net. 228 phytoplankton morphospecies were identified that correspond to species from shallow and coastal water environments, diatoms were the most representative group during 2016, 2017, and 2019, with the presence of species such as *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros affinis*, *Bacteriastrum furcatum*. During 2018 dinoflagellates increased their representativeness above diatoms and with the presence of species with harmful potential such as *Pyrodinium bahamense*, *Alexandrium monilatum*, which presented the highest relative abundances in this year.

Introducción

Las comunidades fitoplanctónicas son cruciales en el funcionamiento de los ecosistemas marinos debido al rol que cumplen en el ciclo del carbono (Yang *et al.*, 2021). Anualmente, incorporan alrededor de 50 mil millones de toneladas métricas de carbono en sus células durante la fotosíntesis (Falkowski y Raven, 1997) y convierten el carbono inorgánico (CO₂) en materia orgánica, aportando así en la captura del carbono atmosférico mientras realizan sus funciones vitales (Falkowski, 2002). La comunidad del fitoplancton en los arrecifes de coral se localiza en la base de la red alimentaria, influyendo en las tasas de calcificación y en la proliferación larval de diversidad de poblaciones en el arrecife (D'Angelo y Wiedenmann, 2014). Su tiempo de permanencia y su magnitud de biomasa son determinantes en las interacciones tróficas que allí se desarrollan (Racault *et al.*, 2015).

Los arrecifes de coral son ecosistemas frágiles que se han visto fuertemente afectados por diferentes factores que pueden ser causados por procesos naturales o antrópicos, como el incremento de la población costera, la acidificación, el calentamiento de los océanos a nivel global, la escorrentía continental y las precipitaciones (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Pérez-Castresana *et al.*, 2014; Racault *et al.*, 2015; Zapata, 2017; Perry y Alvarez-Filip, 2019; Darling *et al.*, 2019).

El Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo (PNNCRSB) se encuentra ubicado en la costa Caribe de Colombia, entre los departamentos de Bolívar y Sucre, y constituye la plataforma coralina más extensa del Caribe continental colombiano, con aproximadamente 420 km². Comprende ecosistemas de bosque costeros de manglar y pastos marinos que suelen bordear las islas, y cuenta con una alta diversidad faunística (Pineda *et al.*, 2006). Es considerado un área protegida de alta importancia ecológica para el Caribe colombiano por su alto valor económico y natural (Rodríguez, 2017). El parque está hidrográficamente condicionado por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y por los vientos alisios a lo largo del año (Ricaurte-Villota y Bastidas-Salamanca, 2017).

Particularmente, los arrecifes costeros que se observan en el PNNCRSB se ven perturbados fuertemente durante la época de precipitaciones por las descargas del Canal del Dique, que aumentan la productividad y causan problemas en el bienestar del ecosistema (Incofer y Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2014). El cambio de los patrones de circulación, la sedimentación, la temperatura, la transparencia de la columna

de agua y la disponibilidad de nutrientes son variables que afectan de forma directa la composición y la abundancia de estas comunidades acuáticas, las cuales están moduladas por los cambios en los periodos hidroclimáticos de la región (Meichtry de Zamburlín *et al.*, 2010). En la actualidad existen pocos reportes que describan la comunidad fitoplanctónica en el PNNCRSB, y se limitan a inventarios de las especies presentes (Hoyos-Acuña *et al.*, 2019; Parques Nacionales Naturales, 2019). Por tal razón, este estudio intenta contribuir con nueva información de esta comunidad durante el periodo de precipitación de cuatro años en el PNNCRSB.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente trabajo se desarrolló a partir de un total de 16 muestras donadas a la Colección de Hidrobiología del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander (UIS-MHB-1556, UIS-MHB-1559, UIS-MHB-1547, UIS-MHB-1549, UIS-MHB-1552, UIS-MHB-1554, UIS-MHB-2901, UIS-MHB-2900, UIS-MHB-2899, UIS-MHB-2902, UIS-MHB-2995-UIS-MHB-2998). Estas fueron recolectadas en un monitoreo anual de cuatro estaciones con diferentes tipos de formación coralina presentes en el PNNCRSB, cuya clasificación se propone, según Díaz *et al.* (2000), así: MC es una estación con predominio de litoral rocoso y presencia de corales franjeantes; PB es una estación con predominio de un arrecife de tipo parche; IA es una estación con predominio de pastos marinos y parches coralinos, y CP es una estación de sistema lagunar con predominio de manglar.

La recolección de las muestras se realizó exclusivamente durante el periodo de precipitación (noviembre) de 2016, 2017, 2018 y 2019 (figura 1), mediante arrastres horizontales con una red estándar de 30 cm de diámetro y malla de 63 μm. Las muestras fueron fijadas en lugol y formol al 4 % (Ferrario *et al.*, 1995). En cada estación se registraron las siguientes variables fisicoquímicas: transparencia de la columna de agua (con disco Secchi), y temperatura superficial, salinidad y pH (a través de una sonda multiparamétrica marca HACH (temperatura: ± 0,3 °C). Se estimó la concentración de clorofila *a* para cada estación mediante imágenes de satélite correspondientes al promedio semanal de noviembre de cada año con una resolución espacial de 4 km, disponibles en el portal Giovanni de la NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). Estos valores se utilizaron como un proxy de la biomasa fitoplanctónica (Dávila *et al.*, 2014).

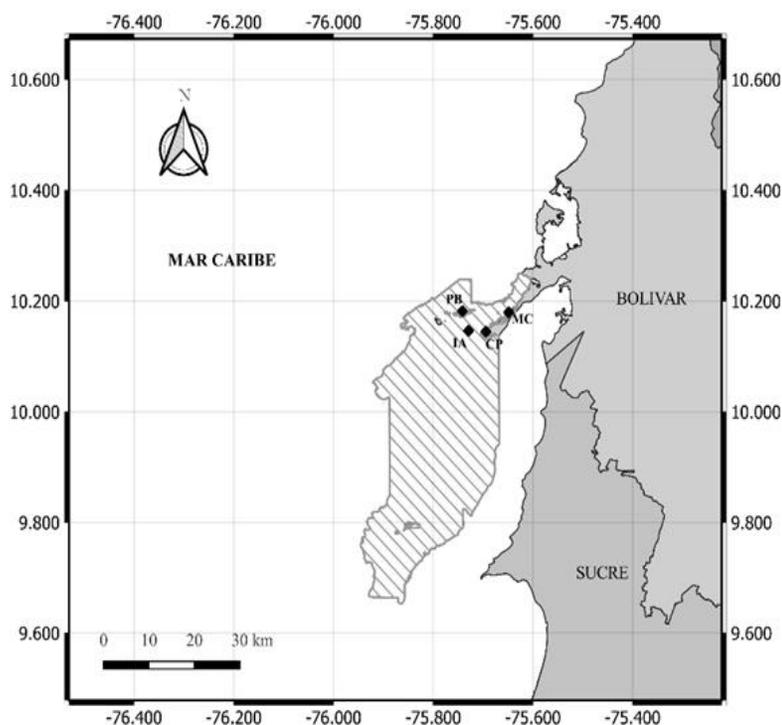


Figura 1. Ubicación del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo (área sombreada), donde se señalan las estaciones de muestreo (PB: Punta Brava, IA: Isla Arena, MC: Mojaculo, CP: Ciénaga El Pelao).

Asimismo, se descargaron valores de precipitación acumulada mensual de noviembre para cada uno de los años de estudio, a partir de los boletines meteomarineros del Caribe colombiano emitidos por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) para la estación meteorológica Isla Naval, ubicada dentro del PNNCRSB (Castillo *et al.*, 2016; Monroy *et al.*, 2017, 2018; Moreno *et al.*, 2019).

La identificación taxonómica de las especies de fitoplancton se llevó a cabo bajo un microscopio óptico Axiolab Zeiss, hasta el nivel taxonómico más bajo posible utilizando diferentes claves de identificación (Cupp, 1943; Taylor, 1976; Pesantes, 1983; Balech *et al.*, 1984; Vidal, 1995; Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, 2011), siguiendo las actualizaciones taxonómicas de Guiry y Guiry (2021). Entretanto, para la identificación morfológica de los organismos, se tomaron microfotografías con una cámara Axiocam ERc 5s, y para contar las morfoespecies se emplearon una cámara Sedgwick Rafter de 1 mL y un microscopio invertido Primovert Zeiss. Los conteos se hicieron hasta 400 individuos de las morfoespecies más abundantes, condición que asegura un límite de confiabilidad del 90 %. Luego se estimó la abundancia

relativa para cada una de las morfoespecies encontradas (Wetzel y Likens, 2000).

Con el fin de observar la estructura de la comunidad de fitoplancton, se realizaron gráficos de rango/abundancia de Whittaker para cada uno de los años. Además, para establecer los atributos de la comunidad fitoplanctónica, se estimó la diversidad verdadera de orden 0 ($q=0$), orden 1 ($q=1$) y orden 2 ($q=2$) por medio de los números de Hill (Colwell y Coddington, 1994). Se evaluó si existían diferencias entre los años de estudio para las variables biológicas e hidrológicas aplicando una prueba ANOVA de una vía y Kruskal-Wallis (KW), dependiendo de la distribución presentada con la prueba de Shapiro-Wilk. Finalmente, para determinar si existe relación entre la abundancia relativa de la comunidad de fitoplancton y las variables hidrológicas, se realizaron correlaciones de Pearson. Estos análisis se ejecutaron en los programas R Studio y Primer v7.

Resultados

Respecto a las variables fisicoquímicas, ninguna presentó diferencias significativas entre los años de estudio ($p>0,05$). La

temperatura superficial arrojó valores entre 29 °C y 31,4 °C (KW>0,05). La salinidad estuvo entre 27,25 y 36,8 (KW>0,05). El pH se registró entre 6,32 y 8,46 (KW>0,05). La transparencia durante los años de estudio varió entre 2,40 m y 10 m (KW>0,05), y la clorofila *a* reflejó valores entre 5,88 mg/m³ y 0,58 mg/m³ (KW>0,05). Por último, los reportes del boletín del CIOH de la precipitación acumulada mensual tuvieron su valor máximo en el año 2016 (320 mm), y el valor mínimo se dio en el año 2019 (25 mm) (tabla 1).

Un total de 228 morfoespecies de fitoplancton fueron identificadas en los cuatro años de estudio. Estas se distribuyen en cinco phyla, ocho clases, 56 familias y 84 géneros. El *phylum* con mayor número de morfoespecies fue Bacillariophyta (163), seguido por Miozoa (59), Cianobacteria (3), Ochrophyta (2) y Charophyta (1). Del total de morfoespecies, 44 se identificaron hasta el nivel de especie (e. g., *Podocystis adriatica*, *Podolampas bipes*, *Protoperdinium conicum*), y también se identificó hasta

el nivel de variedad a *Trigonium formosum* var. *pentagonale* (anexo 1, figura 2).

El año que presentó la mayor abundancia relativa fue 2017, con un valor promedio de 12,5 %. Las diatomeas *Bacteriastrum furcatum*, *Skeletonema costatum* y *Thalassionema* sp. aportaron la mayor abundancia en este periodo. Le sigue el año 2018, con un valor promedio de 9,91 %, donde los dinoflagelados *Alexandrium* cf. *monilatum* y *Pyrodinium bahamense* registraron mayores aportes a la abundancia relativa (anexo 2, figura 3). El año 2016, por otra parte, presentó un promedio de 8,16 %, donde las diatomeas *S. costatum* y *Skeletonema* sp. fueron las que más aportaron a la abundancia relativa. Por último, el año 2019 tuvo el menor valor promedio de abundancia relativa con 6,98 %, donde las diatomeas *Pseudonitzschia* sp.2 y *Chaetoceros affinis* fueron quienes más contribuyeron (anexo 2, figura 3).

Tabla 1. Datos hidrológicos registrados durante el mes de noviembre en cada año de estudio en el PNNCRSB. TSM: temperatura superficial del mar, prom: promedio, SD: desviación estándar, Pr: precipitación acumulada mensual, Chl-*a*: clorofila *a*. *Precipitación acumulada mensual a partir de datos extraídos de los boletines mensuales del CIOH. **Clorofila *a* calculada a partir de datos satelitales de la plataforma Giovanni de la NASA

Variable	2016	2017	2018	2019
	prom	prom	prom	prom
TSM (°C)	30,20±0,97	29,85±0,50	30,42±0,51	30,77±0,64
Salinidad	31,45±0,21	35,17±2,34	28,85±0,88	29,58±2,15
Transparencia (m)	3,04±0,84	5,95±2,87	4,75±1,55	2,89±1,74
pH	7,51±0,39	7,97±0,02	6,72±0,48	8,16±0,22
Pr (mm)*	320	48	60	25
Chl- <i>a</i> (mg/m ³)**	3,66±2,22	2,76±1,80	1±0,26	0,75±0,19

La diversidad verdadera en el año 2019 obtuvo la riqueza (q=0) más alta (159 especies efectivas), seguido de 2016 (158 especies efectivas), 2018 (122 especies efectivas) y 2017 (121 especies efectivas). La diversidad de orden 1 (q=1) fue mayor para el año 2019, y el menor valor lo presentó el 2016, siendo el 2019 2,14 veces más diverso en especies de fitoplancton que 2016. Respecto a la diversidad de orden 2 (q=2), el 2019 presentó el mayor valor, siendo 2,36 veces más equitativo que el 2016, que obtuvo el menor valor (tabla 2). Ninguno de los órdenes reflejó diferencias significativas para los años de estudio (p>0,05).

Del total de morfoespecies identificadas, 64 estuvieron presentes en todos los años de estudio, y 98, en al menos dos de los años (anexo 2). Se encontró que el 14,55 % del total de

morfoespecies fueron registros únicos en el 2016 (e.g., *Trigonium arcticum*, *Helicotheca* sp., *Pyrocystis* sp.), 9,91 % en el 2017 (e. g., *Dactyliosolen* sp., *Detonula* sp., *Oscillatoria* sp.1), 5,73 % en el 2018 (e. g., *Phalacroma doryphorum*, *Tripos horridus*, *Diploneis* sp.1), y 16,35 % en el 2019 (e. g., *Pseudonitzschia* sp.2, *Dictyocha* sp.2) (anexo 2).

La relación entre la abundancia relativa del fitoplancton y las variables hidrológicas solo mostró una correlación significativa positiva con la transparencia (r= 0,699, p= 0,0054). Las demás variables hidrológicas no presentaron relaciones significativas con la abundancia: temperatura (r= -0,11, p= 0,669), pH (r=-0,094, p= 0,737), salinidad (r= -0,362, p= 0,223), clorofila *a* (r=-0,001, p= 0,995).

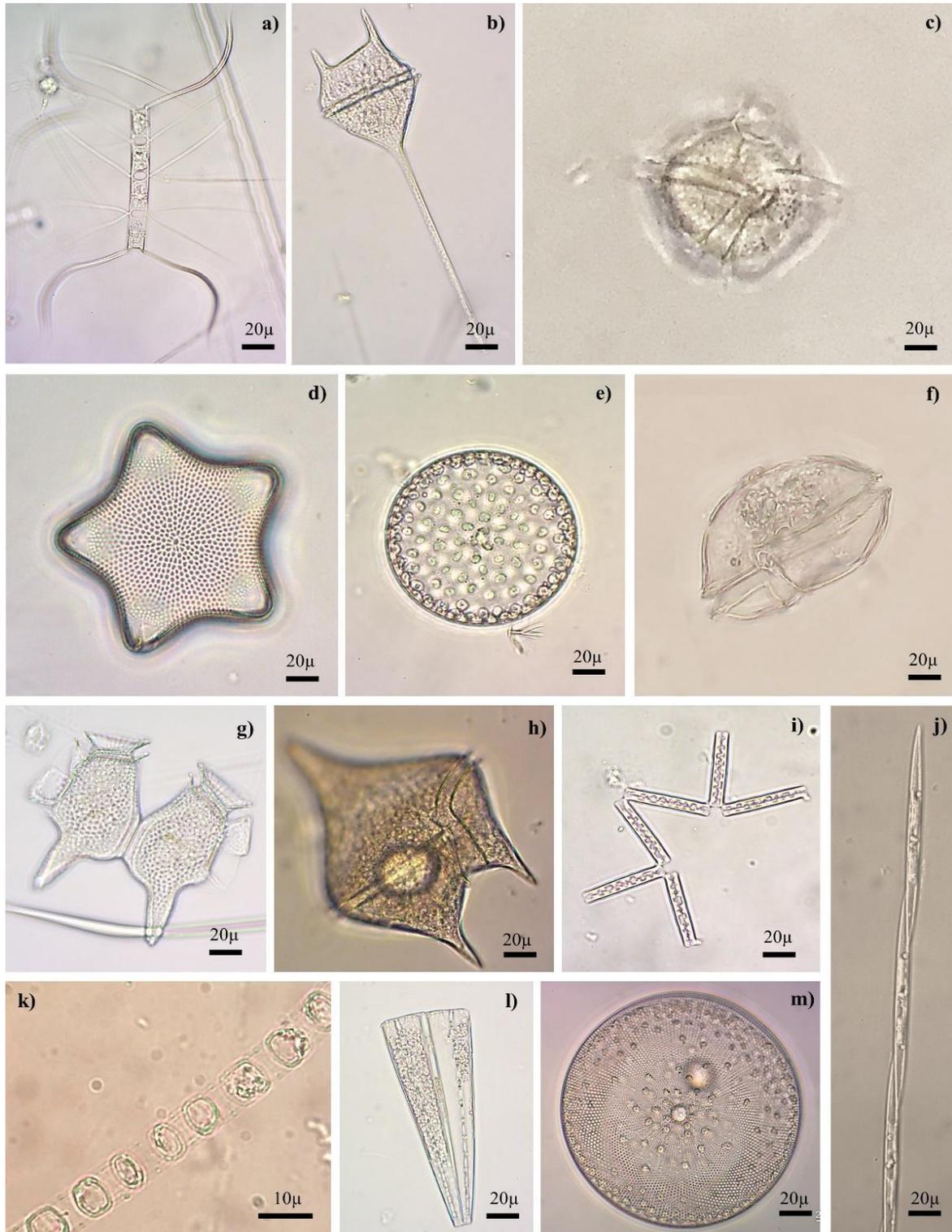


Figura 2. Fotografías en microscopio óptico de algunos géneros y especies representativos del PNNCRSB: (a) *Chaetoceros affinis*, (b) *Tripos pentagonus*, (c) *Pyrodinium bahamense*, (d) *Trigonium formosum* var. *pentagonus*, (e) *Coscinodiscus granii*, (f) *Alexandrium* cf. *monilatum*, (g) *Dinophysis caudata*, (h) *Protoperidinium* sp.; (i) *Thalassionema* sp.; (j) *Pseudo-nitzschia* sp.; (k) *Skeletonema costatum*, (l) *Thalassionema* sp.; (m) *Coscinodiscus* sp. Tomadas por Jainy Maldonado, María Isabel Criales y Sebastián Plata.

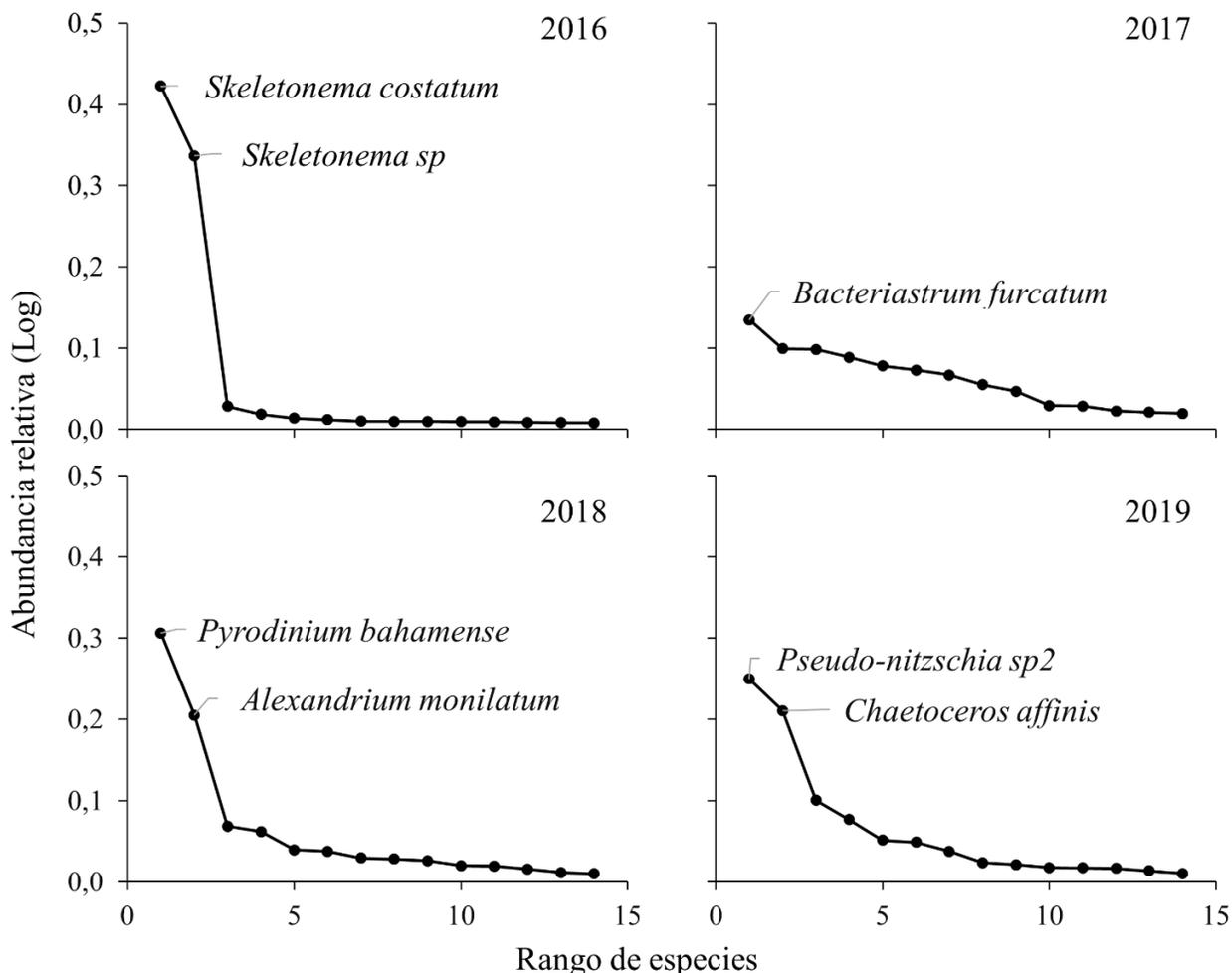


Figura 3. Morfoespecies más abundantes (abundancia relativa=90 %) presentes en el PNNCRSB en la temporada de precipitaciones durante cuatro años.

Tabla 2. Estimación de la diversidad fitoplanctónica mediante los números de Hill. Riqueza (q0); diversidad de orden 1 (q1); diversidad de orden 2 (q2)

	q0	q1	q2
2016	158	8,71±2,50	3,63±1,19
2017	121	11,27±4,51	5,92±2,54
2018	122	11,67±7,26	5,67±3,84
2019	159	18,69±9,91	8,59±5,00

Discusión

El registro de especies de fitoplancton en el PNNCRSB se documentó inicialmente en los trabajos de Vidal (1981). Posteriormente, el mismo autor recopiló información en los listados de especies de diatomeas y dinoflagelados publicados en 2010 y 2011 (Lozano-Duque *et al.*, 2010, 2011), por lo que el presente trabajo representa una nueva contribución en la revisión de las especies presentes durante cuatro años de

estudio de la comunidad de fitoplancton durante la época de precipitaciones del 2016 al 2019. Este estudio generó el nuevo registro de 13 especies para el Caribe colombiano según la base de datos *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) (2021), y 23 especies según el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB Colombia) (2021) ([anexo 3](#)).

El fitoplancton de zonas costeras y someras responde a los cambios en las condiciones oceanográficas y a la variabilidad hidroclimática, por lo que se pueden encontrar diferencias en la presencia y abundancia de algunos géneros (Käse y Geuer, 2018). En el PNNCRSB se tiene registro de cambios importantes entre las épocas climáticas, donde se reporta que las menores salinidades, para la época de altas precipitaciones, pueden llegar a alcanzar valores entre 26,6 y 33,7 debido a la influencia de la desembocadura del Canal del Dique. Por otro lado, durante la época seca, las salinidades superficiales están en alrededor de 34,5 (Pineda *et al.*, 2006; García-Hoyos *et al.*, 2010;

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, 2013; Romero-Rodríguez *et al.*, 2017). Por lo tanto, la presencia y la abundancia relativa de los géneros *Skeletonema*, *Bacteriastrium*, *Chaetoceros*, *Tripos* y *Amphora*, registrados en los años 2016, 2017 y 2019, se ven favorecidas por la disminución en los valores de salinidad propia de la temporada de altas precipitaciones. Este comportamiento también se observa para otras áreas del Caribe y del Pacífico (Peña y Pinilla, 2002; Franco-Herrera *et al.*, 2006; Coronado-Franco *et al.*, 2018).

El género *Pseudo-nitzschia* es una diatomea pennada cosmopolita (Hasle, 1995, 2002) que puede estar en ambientes oceánicos y costeros, y que presenta mayor abundancia cuando las salinidades se incrementan. Así, aunque en el presente trabajo no se encontró una correlación positiva con alguna de las variables analizadas que se relacione con el aumento en las abundancias del género *Pseudo-nitzschia* en el año 2019, este comportamiento debe ser considerado como un suceso particular. La mayor abundancia relativa de dicho periodo podría deberse a una diferencia en la época de precipitación que favoreció el desarrollo y el crecimiento en este género. Conductas similares han sido reportadas por diferentes autores en distintas regiones, tales como Galeano y Arteaga (2010) para el Pacífico colombiano y Thessen (2005) para las costas estadounidenses. Cabe mencionar que en los últimos años este género ha adquirido gran interés debido a que es influenciado por la eutrofización de las aguas, y se ha observado que varias especies son potencialmente toxígenas y pueden ser causantes de florecimientos algales nocivos (FAN) o mareas rojas (Lundholm *et al.*, 2004; Galeano y Arteaga, 2010; Moreira, 2013).

P. bahamense se ha reportado como una especie tropical y es causante de los FAN más críticos que hay. Resulta potencialmente tóxica pues produce un perfil de saxitoxinas que usualmente puede llegar a encontrarse en florecimientos algales durante las temporadas de precipitaciones, particularmente vinculados a zonas costeras y a lagunas con bosques de manglar (Meave-Del Castillo *et al.*, 2012; Morquecho *et al.*, 2012; Merino-Virgilio *et al.*, 2014). De manera similar, *A. cf. monilatum* se ha encontrado asociado con otros organismos que producen florecimientos; entre ellos, *P. bahamense*, *Tripos* sp. y *Prorocentrum* sp. Esta especie ha sido reportada en el golfo de México, el Caribe, Venezuela y Costa Rica y tiene altos requerimientos de nitrógeno que se relacionan con la temporada lluviosa, cuando las condiciones son óptimas para la especie y su crecimiento (Arias y Duran, 1984; Mee *et al.*, 1984; Band-Schmidt *et al.*, 2011; Calvo-Trujillo *et al.*, 2018). Es

posible que las descargas continentales como consecuencia de la temporada de precipitaciones en el PNNCRSB tengan un papel determinante en la comunidad fitoplanctónica, alterando las concentraciones de nutrientes como nitratos, silicio, fósforo, entre otros. Este fenómeno es similar a lo encontrado por otros autores (Band-Schmidt *et al.*, 2011; Calvo-Trujillo *et al.*, 2018), quienes reportan dichos elementos como los principales compuestos que influyen en los florecimientos algales de estas especies.

Este trabajo representa una aproximación al conocimiento de la comunidad fitoplanctónica en el área marina protegida PNNCRSB después de once años. Se observan cambios en la diversidad de dicha comunidad entre los cuatro años evaluados con la presencia de especies propias de esta temporada, pero además se registran proliferaciones de *P. bahamense*, *A. cf. monilatum* y *Pseudo-nitzschia* sp., consideradas especies potencialmente tóxicas. Es importante que se continúe con el monitoreo de esta área marina protegida, incluyendo la temporada de bajas precipitaciones, con el propósito de evaluar el potencial de proliferaciones nocivas para prevenir efectos negativos en el ecosistema y el turismo que se desarrolla en la zona.

Agradecimientos

Este manuscrito es producto del monitoreo efectuado en conjunto con la Universidad Industrial de Santander y el PNNCRSB, avalado por Parques Nacionales Naturales de Colombia (Acta de Reunión PNNCRSB N.º 1 24-07-2018) y apoyado por la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander. A Sebastián Plata por el apoyo técnico en la toma de fotografías en el Laboratorio de Hidrobiología de la UIS, y a Jesús Hoyos por la confirmación de la especie *A. cf. monilatum*. Al Profesor Luis Alfonso Vidal Q.D.E.P. por sus innumerables aportes y enseñanzas en el estudio y conocimiento del fitoplancton colombiano.

Referencias

- Arias, F.A. y Duran, F. 1984. Variación anual del fitoplancton en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH* (5): 61-116.
- Balech, E., Akselman, R., Benavides, H. y Negri, R. 1984. Suplemento a "Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental". *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero* 4. INIDEP, Mar del Plata.
- Band-Schmidt, C.J., Bustillos-Guzmán, J.J., López-Cortés, D.J., Núñez-Vázquez, E. y Hernández-Sandoval, F.E. 2011. El estado

- actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica* 21(3): 381-413.
- Calvo-Trujillo, A., Rincones-Reyes, K., Díaz-Ramos, J.R., Márquez-García, B., Subero-Pino, S., Elista-Ramírez, E. y Troccoli-Ghinaglia, L. 2018. Distribución espacial y temporal del fitoplancton en el golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, febrero 2014-enero 2015. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 47(2): 63-82.
- Castillo, F., Carrillo, A., Herrera, G., Dagua, C., Guzmán, A. y Herrera, D. 2016. *Boletín Meteorológico Mensual del Caribe Colombiano N.º 47*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar), Cartagena.
- Colwell, R.K. y Coddington, J.A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series B)* 345: 101-118.
- Coronado-Franco, K.V., Selvaraj, J.J. y Mancera, J.E. 2018. Algal blooms detection in Colombian Caribbean Sea using MODIS imagery. *Marine Pollution Bulletin* 133: 791-798.
- Cupp, E. 1943. *Marine plankton diatoms of the west coast of North America*. Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography, University of California Press, San Diego.
- D'Angelo, C. y Wiedenmann, J. 2014. Impacts of nutrient enrichment on coral reefs: new perspectives and implications for coastal management and reef survival. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 7(2): 82-93. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.029>.
- Darling, E.S., McClanahan, T.R., Maina, J., Gurney, G.G., Graham, N.A.J., Januchowski-Hartley, F., Cinner, J.E., Mora, C., Hicks, C.C., Maire, E., Puotinen, M., Skirving, W.J., Adjeroud, M., Ahmadi, G., Arthur, R., Bauman, A.G., Begler, M., Berumen, M.L., Bigot, L., Bouwmeester, J., Brenier, A., Bridge, T.C.L., Brown, E., Campbell, S.J., Cannon, S., Cauvin, B., Chen, C.A., Claudet, J., Denis, V., Donner, S., Estradivari, Fadli, N., Feary, D.A., Fenner, D., Fox, H., Franklin, E.C., Friedlander, A., Gilmour, J., Goiran, C., Guest, J., Hobbs, J.A., Hoey, A.S., Houk, P., Johnson, S., Jupiter, S.D., Kayal, M., Kuo, C.Y., Lamb, J., Lee, M.A.C., Low, J., Muthiga, N., Muttaqin, E., Nand, Y., Nash, K.L., Nedlic, O., Pandolfi, J.M., Pardede, S., Patankar, V., Penin, L., Ribas-Deulofeu, L., Richards, Z., Roberts, T.E., Rodgers, K.S., Safuan, C.D.M., Sala, E., Shedrawi, G., Sin, T. M., Smallhorn-West, P., Smith, J.E., Sommer, B., Steinberg, P.D., Sutthacheep, M., Tan, C.H.J., Williams, G.J., Wilson, S., Yeemin, T., Bruno, J.F., Fortin, M.J., Krkosek, M. y Mouillot, D. 2019. Social-environmental drivers inform strategic management of coral reefs in the Anthropocene. *Nature Ecology and Evolution* 3(9): 1341-1350. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0953-8>.
- Dávila, P.M., Díaz, S.H. y Valdés, J. 2014. Phytoplankton biomass profiles in San Jorge Bay (Antofagasta, Chile) based on color imagery. *Ciencias Marinas* 40(1): 59-73. Doi: <https://doi.org/10.7773/cm.v40i1.2345>.
- Díaz, J.M., Barrios, L.M., Cendales, M.H., Garzón-Ferreira, J., Geister, J., López -Victoria, M., Ospina, G.H., Parra-Velandia, F., Pinzon, J., Vargas-Angel, B., Zapata, F., Zapata, A. y Zea, S. 2000. *Áreas coralinas de Colombia*. Invemar, Santa Marta.
- Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (Dimar-CIOH). 2011. *Catálogo de fitoplancton de la bahía de Cartagena, bahía Portete y agua de lastre*. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, Cartagena de Indias.
- Falkowski, P. 2002. The Ocean's Invisible Forest. *Scientific American* 287(2): 54-61. Doi: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0802-54>.
- Falkowski, P. y Raven, J. 1997. *Aquatic Photosynthesis*. Princeton University Press, New Jersey.
- Ferrario, M.E., Sar, E.A. y Sala, S.E. 1995. *Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas, Manual de Métodos Ficológicos*. Universidad de Concepción, Concepción.
- Franco-Herrera, A., Castro, L. y Tigreros, P. 2006. Plankton dynamics in the south-central Caribbean Sea: Strong seasonal changes in a coastal tropical system, Caribbean. *Journal of Science* 42(1): 24-38.
- Galeano, C. y Arteaga, E. 2010. Distribución y abundancia de diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* en condición de El Niño 2007 sobre la cuenca pacífica colombiana. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 39(1): 25-39.
- García-Hoyos, L.M., Franco-Herrera, A., Ramírez-Barón, J.S. y López-Cerón, D.A. 2010. Dinámica océano-atmósfera y su influencia en la biomasa fitoplanctónica, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 39(2): 307-335.
- Guiry, M.D. y Guiry, G.M. 2021. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <https://www.algaebase.org>. Consultado: 04 de marzo 2021.

- Hasle, G.R. 1995. *Pseudo-nitzschia pungens* and *P. multiseriata* (Bacillariophyceae): nomenclatural history, morphology, and distribution. *Journal of Phycology* 31: 428-435.
- Hasle, G.R. 2002. Are most of the domoic-acid producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? *Harmful Algae* 1: 137-146.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P., Hooten, A.J., Steneck, R.S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C., Sale, P., Edwards, A., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R., Dubi, A. y Hatzioiols, M. 2007. Coral Reefs Under Rapid 3te Change and Ocean Acidification. *Science* 318(5857): 1737-1742. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.1152509>.
- Hoyos-Acuña, J.J., Salon-Barros, J.C. y Mancera Pineda, J.E. 2019. Aspectos morfológicos y primer registro del dinoflagelado *Pronoctiluca spinifera* en el Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana* 24(2): 264-274.
- Incoder y Universidad Jorge Tadeo Lozano, seccional Caribe. 2014. Visión integral de los Archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo. Parte I. En: *Ambiente y Desarrollo en el Caribe colombiano*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, seccional Caribe, Bogotá.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar). 2013. *Caracterización geológica, geomorfológica y oceanográfica del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (PNNCRSB), Caribe colombiano, con énfasis en los procesos de erosión y sedimentación-Fase II. Informe Técnico Final*. Programa de Geociencias Marinas y Costeras.
- Käse, L. y Geuer, J.K. 2018. Phytoplankton responses to marine climate change—an introduction. En: Jungblut, S., Liebich, V. y Bode, M., Editores. *Youmares 8-Oceans Across Boundaries: Learning from each other*. Springer, Kiel.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L.A. y Gabriel, R.N.S. 2011. Lista de especies de dinoflagelados (Dinophyta) registrados en el mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 40(2): 361-380.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L.A. y Navas, G.R. 2010. Listado de diatomeas (Bacillariophyta) registradas para el mar Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 39 (1049): 83-116.
- Lundholm N., Hansen P.J. y Kotaki Y. 2004. Effect of pH on growth and domoic acid production by potentially toxic diatoms of the genera *Pseudo-nitzschia* and *Nitzschia*. *Marine Ecology Progress Series* 273: 1-15.
- Meave-Del Castillo, M., Zamudio-Resendiz, M., Castillo-Rivera, M. 2012. Riqueza fitoplanctónica de la Bahía de Acapulco y zona costera aledaña, Guerrero, México. *Acta Botánica Mexicana* 100: 405-487.
- Mee, L.D., Cortes-Altamirano, R. y García de la Parra, L.M. 1984. Di-nitrogen fixation in a eutrophic tropical bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 19(4): 477-483.
- Meichtry de Zaburlín, Peso N., Garrido G. y Vogler R.E. 2010. Sucesión espacio-temporal del plancton y bentos en periodos posteriores al llenado del embalse Yacretá (Río Paraná, Argentina-Paraguay). *Interciencia* 35(12): 897-904.
- Merino-Virgilio, F. del C., Okolodkov, Y.B., Aguilar-Trujillo, A.C., Osorio-Moreno, I. y Herrera-Silveira, J.A. 2014. *Florecimientos algales nocivos en las aguas costeras del norte de Yucatán (2001-2013). Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Editores: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot., golfo de México.
- Monroy, J., Castillo, F., Dagua, C., Arzuza, C. y Herrera, D. 2017. *Boletín Meteomarinero Mensual del Caribe Colombiano N.º 60*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar).
- Monroy, J., Pico, S., Dagua, C. y Herrera, D. 2018. *Boletín Meteomarinero Mensual del Caribe Colombiano N.º 71*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar).
- Moreira, A. 2013. Florecimiento de la diatomea potencialmente tóxica *Pseudo-nitzschia* cf. *multistriata* en aguas cubanas. *Revista de Investigaciones Marinas* 33(1): 27-30.
- Moreno, M., Pico, S., Dagua, C. y Herrera, D. 2019. *Boletín Meteomarinero Mensual del Caribe Colombiano N.º 83*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar).
- Morquecho, L., Alonso-Rodríguez, R., Arreola-Lizárraga, J. y Reyes-Salinas, A. 2012. Factors associated with moderate blooms of *Pyrodinium bahamense* in shallow and restricted subtropical lagoons in the Gulf of California. *Botánica Marina* 55(6): 611-623.
- Peña, V. y Pinilla, G.A. 2002. Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la ensenada de

- Utría, Pacífico colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 37(1): 67-81.
- Pérez-Castresana, G., Villamizar, E., Varela, R. y Fuentes, Y. 2014. Descripción preliminar del fitoplancton en seis arrecifes coralinos del parque nacional archipiélago de los roques. *Acta Biológica Venezolana* 34(2): 293-309.
- Perry, C.T. y Alvarez-Filip, L. 2019. Changing geo-ecological functions of coral reefs in the Anthropocene. *Functional Ecology* 33(6): 976-988. Doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13247>.
- Pesantes, F. 1983. Dinoflagelados del fitoplancton del golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR* 19(1): 150-192.
- Pineda, I., Martínez, L., Bedoya, D., Caparrosa, P. y Rojas, J. 2006. *Plan de manejo del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo*. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, Cartagena, Colombia.
- Parques Nacionales Naturales. 2019. *Plan de manejo Parque Nacional Natural los Corales del Rosario y de San Bernardo (2016-2021)*. Cartagena, Colombia.
- Racault, M.F., Raitsos, D.E., Berumen, M.L., Brewin, R.J.V., Platt, T., Sathyendranat, S. y Hoteit, I. 2015. Phytoplankton phenology indices in coral reef ecosystems: Application to ocean-color observations in the Red Sea. *Remote Sensing of Environment* 160: 222-234. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.019>.
- Ricaurte-Villota, C. y Bastidas-Salamanca, M.L. 2017. *Regionalización oceanográfica, una visión dinámica del Caribe*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Serie de Publicaciones Especiales de Invemar, Santa Marta.
- Romero-Rodríguez D., C. Peña-Mejía, A. Ordóñez-Zúñiga, C. Ricaurte-Villota y M. Bastidas-Salamanca. 2017. Región 6: Ciénaga Grande de Santa Marta, río Magdalena, Bolívar. 108-125. En: Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas-Salamanca (Eds.). 2017. *Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe*. INVEMAR. Serie de Publicaciones Especiales, Santa Marta
- Rodríguez, S.R. 2017. *Lineamientos institucionales para afrontar el clima cambiante desde las áreas protegidas*. Parques Nacionales Naturales de Colombia, Bogotá D.C.
- Taylor, T. 1976. *Dinoflagellates from the International Indian Ocean expedition*. Institute of Oceanography and Department of Botany, Vancouver.
- Thessen, A. 2005. Effect of salinity on *Pseudo-nitzschia* species (bacillariophyceae) growth and distribution. *Journal Phycology* 41: 21-29.
- Vidal, A. 1981. Diatomeas y dinoflagelados en las Islas del Rosario (arrecife coralino) y alrededores. *Boletín Científico CIOH* 3(5): 75-133.
- Vidal, A. 1995. *Manual del fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta.
- Wetzel, R.G. y Likens, G.E. 2000. *Limnological Analyses*. 3.^a ed., Springer, New York.
- Yang, J.R., Yu, Z., Chen, H., Kuo, Y.M. y Yang, J. 2021. Structural and functional variations of phytoplankton communities in the face of multiple disturbances. *Journal of Environmental Sciences* 100: 287-297. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.07.026>.
- Zapata, F.A. 2017. Temporal dynamics of coral and algal cover and their potential drivers on a coral reef of Gorgona Island, Colombia (Eastern Tropical Pacific). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 41(160): 306. Doi: <https://doi.org/10.18257/raccefy.486>.
- Citar como:** Maldonado-Durán, J. Criales-Hernández M.I., Jerez-Guerrero, M. Valcarcel-Castellanos, V. 2021. Fitoplancton del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo durante los periodos de precipitación del 2016 a 2019. *Intropica* 16(2): 204 - 213 xxxx. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4006>.

Anexo I. Taxonomía de las morfoespecies registradas durante los períodos de precipitaciones en el PNNCRSB durante los años 2016 a 2019.

Clase	Orden	Familia	Género	<i>Epíteto Específico</i>	Morfoespecie	Autor y año			
Bacillariophyta	-	-	-	-	<i>Bacillariophyceae</i> sp1	Haeckel, 1878			
					<i>Bacillariophyceae</i> sp2				
					<i>Bacillariophyceae</i> sp3				
					<i>Bacillariophyceae</i> sp4				
					<i>Bacillariophyceae</i> sp5				
					<i>Bacillariophyceae</i> sp6				
					<i>Bacillariophyceae</i> sp7				
					<i>Bacillariophyceae</i> sp8				
					<i>Bacillariophyceae</i> sp9				
	Bacillariales	Bacillariaceae		<i>Bacillaria</i>	<i>paxillifera</i>	<i>Bacillaria paxillifera</i>	Marsson, 1901		
				<i>Nitzschia</i>	<i>longissima</i>	<i>Nitzschia longissima</i>	Ralfs, 1861		
					<i>sigma</i>	<i>Nitzschia sigma</i>	Smith, 1853		
					-	<i>Nitzschia</i> sp1	Hassall, 1845		
						<i>Nitzschia</i> sp2			
						<i>Nitzschia</i> sp3			
						<i>Nitzschia</i> sp4			
						<i>Nitzschia</i> sp5			
						<i>Nitzschia</i> sp6			
						<i>Nitzschia</i> sp7			
						<i>Psammodictyon</i>	-	<i>Psammodictyon</i> sp1	Mann, 1990
								<i>Psammodictyon</i> sp2	
						<i>Pseudo-nitzschia</i>	-	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp1	Peragallo, 1900
								<i>Pseudo-nitzschia</i> sp2	
Cocconeidales	Cocconeidaceae		<i>Cocconeis</i>	-	<i>Cocconeis</i> sp1	Ehrenberg, 1836			
					<i>Cocconeis</i> sp2				
Cymbellales	Cymbellaceae		<i>Cymbella</i>	-	<i>Cymbella</i> sp1	Agardh, 1830			
					<i>Cymbella</i> sp2				
Fragilariales	Fragilariaceae		<i>Fragilaria</i>	-	<i>Fragilaria</i> sp	Lyngbye, 1819			
			<i>Podocystis</i>		<i>adriatica</i>		<i>Podocystis adriatica</i>	Ralfs, 1861	

			-	<i>Podocystis</i> sp1	Bailey, 1854
				<i>Podocystis</i> sp2	
		<i>Synedra</i>	-	<i>Synedra</i> sp1	Ehrenberg, 1830
				<i>Synedra</i> sp2	
				<i>Synedra</i> sp3	
Licmophorales	Licmophoraceae	<i>Licmophora</i>	-	<i>Licmophora</i> sp1	Agardh, 1827
				<i>Licmophora</i> sp2	
				<i>Licmophora</i> sp3	
				<i>Licmophora</i> sp4	
Lyrellales	Lyrellaceae	<i>Lyrella</i>	-	<i>Lyrella</i> sp1	Karayeva, 1978
				<i>Lyrella</i> sp2	
				<i>Lyrella</i> sp3	
		<i>Petroneis</i>	-	<i>Petroneis</i> sp	Stickle & Mann, 1990
Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>	-	<i>Achnanthes</i> sp	Bory, 1822
	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	-	<i>Mastogloia</i> sp1	Smith, 1856
				<i>Mastogloia</i> sp2	
				<i>Mastogloia</i> sp3	
				<i>Mastogloia</i> sp4	
Naviculales	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	-	<i>Diploneis</i> sp1	Cleve, 1894
				<i>Diploneis</i> sp2	
				<i>Diploneis</i> sp3	
				<i>Diploneis</i> sp4	
	Naviculaceae	<i>Gyrosigma</i>	-	<i>Gyrosigma</i> sp1	Hassall, 1845
				<i>Gyrosigma</i> sp2	
				<i>Gyrosigma</i> sp3	
		<i>Navicula</i>	-	<i>Navicula</i> sp1	Bory, 1822
				<i>Navicula</i> sp2	
				<i>Navicula</i> sp3	
		<i>Trachyneis</i>	-	<i>Trachyneis</i> sp	Cleve, 1894
	-	-	-	<i>Naviculales</i> sp1	Bessey, 1907
				<i>Naviculales</i> sp2	
	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	-	<i>Pinnularia</i> sp1	Ehrenberg, 1843
				<i>Pinnularia</i> sp2	

				<i>Pinnularia</i> sp3		
			<i>Plagiotropis</i>	-	<i>Plagiotropis</i> sp1	Pfitzer, 1871
					<i>Plagiotropis</i> sp2	
		Pleurosigmaaceae	<i>Pleurosigma</i>	-	<i>Pleurosigma</i> sp1	Smith, 1852
					<i>Pleurosigma</i> sp2	
					<i>Pleurosigma</i> sp3	
Rhabdonematales	Grammatophoraceae	<i>Grammatophora</i>	-	<i>Grammatophora</i> sp1	Ehrenberg, 1840	
					<i>Grammatophora</i> sp2	
					<i>Grammatophora</i> sp3	
	Rhabdonemataceae	<i>Rhabdonema</i>	-	<i>Rhabdonema</i> sp1	Kützing, 1844	
					<i>Rhabdonema</i> sp2	
					<i>Rhabdonema</i> sp3	
Rhaphoneidales	Rhaphoneidaceae	<i>Rhaphoneis</i>	-	<i>Rhaphoneis</i> sp	Ehrenberg, 1844	
Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	-	<i>Campylodiscus</i> sp	Kützing, 1844	
		<i>Surirella</i>	-	<i>Surirella</i> sp1	Turpin, 1828	
					<i>Surirella</i> sp2	
Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Asterionella</i>	-	<i>Asterionella</i> sp	Hassall, 1850	
Thalassionematales	Thalassionemataceae	<i>Thalassionema</i>	-	<i>Thalassionema</i> sp	Mereschkowsky, 1902	
		<i>Thalassiothrix</i>	-	<i>Thalassiothrix</i> sp	Cleve & Grunow, 1880	
Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	<i>lineolata</i>	<i>Amphora lineolata</i>	Ehrenberg, 1838	
			-	<i>Amphora</i> sp	Kützing, 1844	
Coscinodiscophyceae	Coscinodiscales	<i>Coscinodiscus</i>	<i>gigas</i>	<i>Coscinodiscus gigas</i>	Ehrenberg, 1841	
			<i>granii</i>	<i>Coscinodiscus granii</i>	Gough, 1905	
			<i>marginatus</i>	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	Ehrenberg, 1843	
			-	<i>Coscinodiscus</i> sp1		
				<i>Coscinodiscus</i> sp2		
				<i>Coscinodiscus</i> sp3		
				<i>Coscinodiscus</i> sp4		
				<i>Coscinodiscus</i> sp5		
				<i>Coscinodiscus</i> sp6		
	Hemidiscaceae	<i>Hemidiscus</i>	-	<i>Hemidiscus</i> sp	Wallich, 1860	
Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	-	<i>Melosira</i> sp1	Agardh, 1824	

					<i>Melosira</i> sp2	
					<i>Melosira</i> sp3	
	Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae	<i>Dactyliosolen</i>	-	<i>Dactyliosolen</i> sp	Castracane, 1886
			<i>Guinardia</i>	-	<i>Guinardia</i> sp	Peragallo, 1892
			<i>Neocalyptrella</i>	-	<i>Neocalyptrella</i> sp1	Hernández-Becerril & Meave del Castillo, 1997
					<i>Neocalyptrella</i> sp2	
		Probosciceae	<i>Proboscia</i>	<i>alata</i>	<i>Proboscia alata</i>	Sundström, 1986
				-	<i>Proboscia</i> sp1	
					<i>Proboscia</i> sp2	
					<i>Proboscia</i> sp3	
		Rhizosoleniaceae	<i>Pseudosolenia</i>	<i>calcar-avis</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	
				-	<i>Pseudosolenia</i> sp1	
					<i>Pseudosolenia</i> sp2	
					<i>Pseudosolenia</i> sp3	
			<i>Rhizosolenia</i>	<i>imbricata</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	Brightwell, 1858
				-	<i>Rhizosolenia</i> sp1	
					<i>Rhizosolenia</i> sp2	
	Stellarimales	Trigoniaceae	<i>Trigonium</i>	<i>arcticum</i>	<i>Trigonium arcticum</i>	Cleve, 1868
				<i>formosum</i>	<i>Trigonium formosum</i>	Desikachary & Prema, 1987
					var. <i>Pentagonale</i>	
				-	<i>Trigonium</i> sp1	Cleve, 1867
					<i>Trigonium</i> sp2	
					<i>Trigonium</i> sp3	
<i>Mediophyceae</i>	<i>Biddulphiales</i>	Biddulphiaceae	<i>Biddulphia</i>	-	<i>Biddulphia</i> sp1	Gray, 1821
					<i>Biddulphia</i> sp2	
					<i>Biddulphia</i> sp3	
					<i>Biddulphia</i> sp4	
					<i>Biddulphia</i> sp5	
			<i>Biddulphiopsis</i>	-	<i>Biddulphiopsis</i> sp1	Stosch & Simonsen, 1984
					<i>Biddulphiopsis</i> sp2	
			<i>Lampriscus</i>	-	<i>Lampriscus</i> sp1	Schmidt, 1882
					<i>Lampriscus</i> sp2	

				<i>Lampriscus</i> sp3	
Briggerales	Streptothecaceae	<i>Helicotheca</i>	-	<i>Helicotheca</i> sp	Shrubsole, 1890
Chaetocerotales	Chaetocerotaceae	<i>Bacteriastrum</i>	<i>elongatum</i>	<i>Bacteriastrum elongatum</i>	Cleve, 1897
			<i>furcatum</i>	<i>Bacteriastrum furcatum</i>	Shadbolt, 1854
			-	<i>Bacteriastrum</i> sp1	
				<i>Bacteriastrum</i> sp2	
		<i>Chaetoceros</i>	<i>affinis</i>	<i>Chaetoceros affinis</i>	Lauder, 1864
			<i>coarctatus</i>	<i>Chaetoceros coarctatus</i>	
			<i>curvisetus</i>	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Cleve, 1889
			<i>danicus</i>	<i>Chaetoceros danicus</i>	
			<i>decipiens</i>	<i>Chaetoceros decipiens</i>	
			<i>dichaeta</i>	<i>Chaetoceros dichchaeta</i>	Ehrenberg, 1844
			<i>didymus</i>	<i>Chaetoceros didymus</i>	
			<i>diversus</i>	<i>Chaetoceros diversus</i>	Cleve, 1873
			<i>lauderi</i>	<i>Chaetoceros lauderi</i>	Lauder, 1864
			<i>peruvianus</i>	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	Brightwell, 1856
			-	<i>Chaetoceros</i> sp1	Ehrenberg, 1844
				<i>Chaetoceros</i> sp2	
				<i>Chaetoceros</i> sp3	
				<i>Chaetoceros</i> sp4	
				<i>Chaetoceros</i> sp5	
				<i>Chaetoceros</i> sp6	
				<i>Chaetoceros</i> sp7	
Eupodiscales	Odontellaceae	<i>Odontella</i>	-	<i>Odontella</i> sp1	Agardh, 1832
				<i>Odontella</i> sp2	
				<i>Odontella</i> sp3	
	Parodontellaceae	<i>Trieres</i>	<i>moniliensis</i>	<i>Trieres mobiliensis</i>	Ashworth & E.C.Theriot, 2013
Hemiaulales	Hemiaulaceae	<i>Hemiaulus</i>	-	<i>Hemiaulus</i> sp1	Heiberg, 1863
				<i>Hemiaulus</i> sp2	
				<i>Hemiaulus</i> sp3	
	Isthmiaceae	<i>Isthmia</i>	-	<i>Isthmia</i> sp1	Agardh, 1832
Thalassiosirales	Thalassiosiraceae	<i>Detonula</i>	-	<i>Detonula</i> sp	De Toni, 1894

			Skeletonemataceae	<i>Skeletonema</i>	<i>costatum</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	Cleve, 1900
					-	<i>Skeletonema</i> sp	Greville, 1865
		Toxariales	Climacospheniaceae	<i>Climacosphenia</i>	<i>moniligera</i>	<i>Climacosphenia moniligera</i>	Ehrenberg, 1843
			Toxariaceae	<i>Toxarium</i>	-	<i>Toxarium</i> sp1	Bailey, 1854
						<i>Toxarium</i> sp2	
						<i>Toxarium</i> sp3	
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	-	<i>Oscillatoria</i> sp1	Gomont, 1892
						<i>Oscillatoria</i> sp2	
			-	-	-	<i>Oscillatoriales</i> sp	Cavalier-Smith, 2002
Miozoa	Dinophyceae	-	-	-	-	Dinophyceae sp1	Fritsch, 1927
						Dinophyceae sp2	
						Dinophyceae sp3	
						Dinophyceae sp4	
						Dinophyceae sp5	
		Dinophysales	Dinophysaceae	<i>Dinophysis</i>	<i>caudata</i>	<i>Dinophysis caudata</i>	Kent, 1881
					-	<i>Dinophysis</i> sp1	Ehrenberg, 1839
					-	<i>Dinophysis</i> sp2	
					-	<i>Dinophysis</i> sp3	
				<i>Ornithocercus</i>	-	<i>Ornithocercus</i> sp1	Stein, 1883
					-	<i>Ornithocercus</i> sp2	
					-	<i>Ornithocercus</i> sp3	
					-	<i>Ornithocercus</i> sp4	
			Oxyphysaceae	<i>Phalacroma</i>	<i>doryphorum</i>	<i>Phalacroma doryphorum</i>	
					-	<i>Phalacroma</i> sp	
			Protoceratiaceae	<i>Ceratocorys</i>	-	<i>Ceratocorys</i> sp1	
				<i>Ceratocorys</i>		<i>Ceratocorys</i> sp2	
			Ostreopsidaceae	<i>Pyrodinium</i>	<i>bahamense</i>	<i>Pyrodinium bahamense</i>	Plate, 1906
			Pyrocystaceae	<i>Pyrocystis</i>	-	<i>Pyrocystis</i> sp	Wyville-Thompson, 1876
				<i>Alexandrium</i>	<i>cf. monilatum</i>	<i>Alexandrium</i> cf. <i>monilatum</i>	Balech, 1995
				<i>Pyrophacus</i>	-	<i>Pyrophacus</i> sp1	Stein, 1883
						<i>Pyrophacus</i> sp2	

	Ceratiaceae	<i>Tripos</i>	<i>brevis</i>	<i>Tripos brevis</i>	Gómez, 2013
			<i>extensus</i>	<i>Tripos extensus</i>	
			<i>furca</i>	<i>Tripos furca</i>	
			<i>fuscus</i>	<i>Tripos fuscus</i>	
			<i>horridus</i>	<i>Tripos horridus</i>	
			<i>macroceros</i>	<i>Tripos macroceros</i>	Hallegraeff Huisman, 2020
			<i>muelleri</i>	<i>Tripos muelleri</i>	Bory, 1826
			<i>pentagonus</i>	<i>Tripos pentagonus</i>	Gómez, 2013
			-	<i>Tripos</i> sp1	Bory, 1823
				<i>Tripos</i> sp2	
Gymnodiniales	Gymnodiniaceae	<i>Gymnodinium</i>	-	<i>Gymnodinium</i> sp	Stein, 1878
	Gyrodiniaceae	<i>Gyrodinium</i>	-	<i>Gyrodinium</i> sp	Kofoid & Swezy, 1921
Peridinales	Peridiniaceae	<i>Peridinium</i>	-	<i>Peridinium</i> sp	Ehrenberg, 1830
	Podolampadaceae	<i>Podolampas</i>	<i>bipes</i>	<i>Podolampas bipes</i>	Stein, 1883
			<i>palmipes</i>	<i>Podolampas palmipes</i>	
	Proto-peridiniaceae	<i>Proto-peridinium</i>	<i>conicum</i>	<i>Proto-peridinium conicum</i>	Balech, 1974
			<i>depressum</i>	<i>Proto-peridinium depressum</i>	
			<i>elegans</i>	<i>Proto-peridinium elegans</i>	
			<i>pellucidum</i>	<i>Proto-peridinium pellucidum</i>	Bergh, 1881
			-	<i>Proto-peridinium</i> sp1	
				<i>Proto-peridinium</i> sp10	
				<i>Proto-peridinium</i> sp11	
				<i>Proto-peridinium</i> sp12	
				<i>Proto-peridinium</i> sp13	
				<i>Proto-peridinium</i> sp2	
				<i>Proto-peridinium</i> sp3	
				<i>Proto-peridinium</i> sp4	
				<i>Proto-peridinium</i> sp5	
				<i>Proto-peridinium</i> sp6	
				<i>Proto-peridinium</i> sp7	
				<i>Proto-peridinium</i> sp8	

		Prorocentrales	Prorocentraceae	<i>Prorocentrum</i>	-	<i>Protoperidinium</i> sp9 <i>Prorocentrum</i> sp1 <i>Prorocentrum</i> sp2	Ehrenberg, 1834
		Thoracosphaerales	Thoracosphaeraceae	<i>Scrippsiella</i>	-	<i>Scrippsiella</i> sp1 <i>Scrippsiella</i> sp2	Loeblich III, 1965
		Torodinales	Torodiniaceae	<i>Torodinium</i>	-	<i>Torodinium</i> sp	Kofoid & Swezy, 1921
Ochrophyta	Dictyochophyceae	Dictyochales	Dictyochaceae	<i>Dictyocha</i>	-	<i>Dictyocha</i> sp1	Ehrenberg, 1837
Ochrophyta	Dictyochophyceae	Dictyochales	Dictyochaceae	<i>Dictyocha</i>		<i>Dictyocha</i> sp2	

Anexo II. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies registradas durante los períodos de precipitaciones en el PNNCRSB durante los años 2016 a 2019. Se muestran las especies exclusivas para cada año de estudio: ●, 2016; ▲, 2017; ■, 2018; ◆, 2019.

Morfoespecie	2016	2017	2018	2019
<i>Achnanthes sp</i>	0,04878232	0,01830161	0,05524862	0,38863715
<i>Alexandrum cf. Monilatum</i>	0,48299506	0,03581662	22,3365542	2,76062091
<i>Amphora lineolata</i>	0,06092421	0,14028643	0,03612717	0,06545455
<i>Amphora sp</i>	0,04616805	0,01830161	0,12658228	0,03255208
<i>Asterionella sp</i> ●	0,0249501	0	0	0,02
<i>Bacillaria paxillifera</i>	0	0,23557232	0,06375148	1,0093535
<i>Bacillariaceae sp</i>	0,17091855	0	0,19883661	0,08743607
<i>Bacillariophyceae sp1</i>	0,07418398	0,09276595	0	0
<i>Bacillariophyceae sp2</i>	0	0,07241984	0	0,2053606
<i>Bacillariophyceae sp3</i>	0,02308403	0,04783163	0,33979837	0,02272727
<i>Bacillariophyceae sp4</i>	0,03709199	0	0,41431763	0,2064473
<i>Bacillariophyceae sp5</i>	0	0	0,02109705	0
<i>Bacillariophyceae sp6</i> ■	0,17220017	0	0,33217506	0,08542141
<i>Bacillariophyceae sp7</i>	0,18277263	0	0,04219409	0
<i>Bacillariophyceae sp8</i>	0	0	0,02109705	0,0884434
<i>Bacteriastrium elongatum</i>	0,22885881	4,12925442	1,68158023	1,0135285
<i>Bacteriastrium furcatum</i>	1,17210849	9,39345383	1,78951044	0,59362335
<i>Bacteriastrium sp1</i>	0,8301207	6,68322491	2,43504122	1,01909193
<i>Bacteriastrium sp2</i>	0	0,43923865	0,04668534	0
<i>Biddulphia sp1</i>	0,18389051	0,05773593	0,42194093	0,11590987
<i>Biddulphia sp2</i>	0,16308457	0,06339814	0,16877637	0,05694761
<i>Biddulphia sp3</i>	0	1,50391333	0	0,02948113
<i>Biddulphia sp4</i>	0,11127596	0	0,10548523	0
<i>Biddulphia sp5</i> ▲	0	1,10012755	0	0
<i>Biddulphiopsis sp1</i>	0,2569566	0	0,08663381	0,28805746
<i>Biddulphiopsis sp2</i> ▲	0	0,06613324	0	0
<i>Campylodiscus sp</i>	0,08587431	0,03943432	0	0,10542141
<i>Ceratocorys sp1</i>	0,02383222	0,05411823	0	0
<i>Ceratocorys sp2</i> ●	0,0249501	0	0	0
<i>Chaetoceros affinis</i>	2,33630313	2,28625109	3,30971207	11,7849974
<i>Chaetoceros coarctatus</i>	0,02383222	0,07132208	0	0
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	0,0499002	0	0,32292843	0,23356612
<i>Chaetoceros danicus</i>	0,12408418	0,07132208	0,13310954	0,09392835
<i>Chaetoceros decipiens</i>	0,71288398	1,71072109	5,48330216	4,28823508
<i>Chaetoceros dichchaeta</i>	0,84924475	0,39320035	0,91160221	43,0281641

<i>Chaetoceros diversus</i>	0	0,05773593	0,13107353	0,02
<i>Chaetoceros dydimus</i>	0,46413708	5,73678911	1,27506843	0,1345853
<i>Chaetoceros lauderi</i>	0,63885213	0,01830161	0,07002801	0
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	0,16233638	0,52245451	0,26736867	0,10441681
<i>Chaetoceros sp1</i>	0	0,02113271	0,49723757	1,19589977
<i>Chaetoceros sp2</i>	0,23084026	0,1626129	0	0
<i>Chaetoceros sp3</i>	0	0	0,04219409	0,06818182
<i>Chaetoceros sp4</i>	0	0,16906171	0,07832126	0
<i>Chaetoceros sp5</i>	0,02308403	0	0,02334267	1,14168284
<i>Chaetoceros sp6</i> ◆	0	0	0	0,11389522
<i>Chaetoceros sp7</i> ◆	0	0	0	0,1963305
<i>Climacosphenia moniligera</i>	0,10970653	0,04226543	0,07225434	0,02948113
<i>Cocconeis sp1</i> ◆	0	0	0	0,02
<i>Cocconeis sp2</i> ◆	0,02308403	0	0	0
<i>Coscinodiscus gigas</i>	0,41230659	0	0,21008403	0,15561789
<i>Coscinodiscus granii</i>	0,1861686	0	0,16768033	0,02272727
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	0,41685115	0,13383762	0,49781938	0,08068221
<i>Coscinodiscus sp1</i>	0,83175012	6,83299881	0,02334267	0,35500507
<i>Coscinodiscus sp2</i>	0,03709199	0,98606419	0,78105106	0,02272727
<i>Coscinodiscus sp3</i>	0	0,27104592	0,21432707	0,02272727
<i>Coscinodiscus sp4</i>	0,30981888	0,01830161	0,10548523	0,17320388
<i>Coscinodiscus sp5</i>	0,0249501	0	0,09941831	0,04545455
<i>Coscinodiscus sp6</i>	0,22255193	0,02113271	0,03612717	0,02272727
<i>Cymbella sp1</i>	0,09569857	0,01594388	0,08484852	0,02272727
<i>Cymbella sp2</i> ◆	0	0	0	0,02
<i>Dactyliosolen sp</i> ▲	0	0,03943432	0	0
<i>Detonula sp</i> ▲	0	0,65762784	0	0
<i>Dictyocha sp1</i>	0,0249501	0	0	0,03255208
<i>Dictyocha sp2</i> ◆	0	0	0	0,04545455
<i>Dinophyceae sp1</i> ◆	0	0	0	0,05694761
<i>Dinophyceae sp2</i>	0,03709199	0	0	0,20821496
<i>Dinophyceae sp3</i> ▲	0	0,01830161	0	0
<i>Dinophyceae sp4</i> ●	0,02308403	0	0	0
<i>Dinophyceae sp5</i> ▲	0	0,01830161	0	0
<i>Dinophysis caudata</i>	0,23184276	0,13698195	2,3296383	0,18782357
<i>Dinophysis sp1</i>	0,0249501	0,03188776	0,02762431	0
<i>Dinophysis sp2</i> ●	0,02383222	0	0	0
<i>Dinophysis sp3</i> ■	0	0	0,02109705	0
<i>Diploneis sp1</i> ■	0	0	0,06375148	0

<i>Diploneis sp2</i>	0,13279056	0	0,02762431	0,04272727
<i>Diploneis sp3</i>	0,04803413	0	0,02762431	0,02948113
<i>Diploneis sp4</i>	0	0,01594388	0,04872136	0,0284738
<i>Fragilaria sp ▲</i>	0	0,04226543	0	0
<i>Grammatophora sp1</i>	0,7675672	0,04783163	0,02109705	0,79886599
<i>Grammatophora sp2</i>	0,34316989	0	0	0,10476049
<i>Grammatophora sp3</i>	0,19065777	0,03660322	0,06329114	0,25626424
<i>Guinardia sp</i>	0	0	0,06329114	0,25626424
<i>Gymnodinium sp ◆</i>	0,04691625	0,05411823	0,03612717	0,03255208
<i>Gyrodinium sp</i>	0,60154984	0,07163324	0,11425812	0,25059186
<i>Gyrosigma sp1</i>	0,07149666	0	0,02109705	0,1467937
<i>Gyrosigma sp2</i>	0	0	0,02109705	0,15868214
<i>Gyrosigma sp3</i>	0,07298423	0	0	0
<i>Hemiaulus sp1</i>	0	0,31280363	0,02762431	0,02948113
<i>Hemiaulus sp2</i>	0,0748503	0,11264077	0,14992495	0,02948113
<i>Hemiaulus sp3</i>	0	0,3113285	0,24329563	0,08743607
<i>Hemidiscus sp ●</i>	0,03709199	0	0	0
<i>Isthmia sp ●</i>	0,1229663	0	0	0
<i>Lampriscus sp1</i>	0,08400824	0	0	0,29178934
<i>Lampriscus sp2 ◆</i>	0	0	0	0,04545455
<i>Lampriscus sp3 ◆</i>	0	0	0	0,02272727
<i>Licmophora sp1</i>	0,15894041	0,11185416	0	0,08743607
<i>Licmophora sp2</i>	0,14411121	0	0,08438819	0,17386481
<i>Licmophora sp3</i>	0,04803413	0	0	0,24779316
<i>Licmophora sp4</i>	0,03709199	0	0	0,0284738
<i>Lyrella sp1</i>	0,15512639	0	0,02762431	0,08102589
<i>Lyrella sp2</i>	0	0,05694933	0,02762431	0
<i>Lyrella sp3 ●</i>	0,08326004	0	0	0
<i>Mastogloia sp1</i>	0,03709199	0	0	0,14205177
<i>Mastogloia sp2</i>	0,02383222	0	0	0,09765625
<i>Mastogloia sp3</i>	0,02383222	0	0	0,02948113
<i>Mastogloia sp4</i>	0,08475643	0	0,02109705	0
<i>Melosira sp1</i>	0,04691625	0	0,02762431	0,18276042
<i>Melosira sp2</i>	0,03709199	0	0	0,05120108
<i>Melosira sp3 ■</i>	0	0	0,02762431	0
<i>Navicula sp1</i>	0,10821014	0,14688418	0,06375148	0,28982365
<i>Navicula sp2</i>	0,11878259	0,07006211	0,02762431	0,15998815
<i>Navicula sp3</i>	0,02308403	0,03581662	0	0,06203322
<i>Naviculales sp1</i>	0,02308403	0	0,02762431	0,08476049

<i>Naviculales sp2</i> ●	0,02383222	0	0	0
<i>Neocalyptrella sp1</i>	0,12408418	0,14217079	0,09941831	0,05120108
<i>Neocalyptrella sp2</i> ●	0,04878232	0	0	0
<i>Nitzschia longissima</i>	0,11916111	0,01594388	0	0,0284738
<i>Nitzschia sigma</i>	0,70842719	0,35816619	0,2960286	0,22474864
<i>Nitzschia sp1</i>	0,28598665	0,0525471	0,05524862	0
<i>Nitzschia sp2</i>	0,3390504	0	0,62077754	0,04545455
<i>Nitzschia sp3</i>	0,47179862	0,59881026	0,73056371	0,0522084
<i>Nitzschia sp4</i> ●	0,02383222	0	0	0
<i>Nitzschia sp5</i> ●	0,08699219	0	0	0
<i>Nitzschia sp6</i> ●	0	0	0	0,06818182
<i>Nitzschia sp7</i> ◆	0	0	0	0,8708002
<i>Odontella sp1</i>	0	0,40443291	0,03612717	0
<i>Odontella sp2</i>	0,0998004	0,09150805	0	0
<i>Odontella sp3</i>	0,0249501	0	0	0
<i>Odontella sp4</i> ●	0,16005829	0,23940518	0,15710286	0,02272727
<i>Ornithocercus sp1</i>	0,0748503	0,01830161	0,17551324	0
<i>Ornithocercus sp2</i>	0,0748503	0	0,02334267	0
<i>Ornithocercus sp3</i>	0,0499002	0	0	0
<i>Ornithocercus sp4</i> ●	0,0249501	0,12811127	0	0
<i>Oscillatoria sp1</i>	0	0,09150805	0	0
<i>Oscillatoria sp2</i> ▲	0	0,01830161	0	0
<i>Oscillatoriales sp</i> ▲	0,0249501	0	0	0,08642874
<i>Peridinium sp</i>	0,04616805	0	0	0,05694761
<i>Petroneis sp</i>	0	0	0,04668534	0
<i>Phalacroma doryphorum</i> ■	0,0499002	0	0	0,02
<i>Phalacroma sp</i>	0,02308403	0,02113271	0,03612717	0,1464473
<i>Pinnularia sp1</i>	0,03709199	0,05411823	0,05524862	0,05255208
<i>Pinnularia sp2</i>	0	0,01830161	0,07634567	0,02
<i>Pinnularia sp3</i>	0,02383222	0,03581662	0	0,06545455
<i>Plagiotropis sp1</i>	0	0	0	0,05896226
<i>Plagiotropis sp2</i> ◆	0,03709199	0,12034747	0,02762431	0,12510417
<i>Pleurosigma sp1</i>	0	0,03943432	0	0,05694761
<i>Pleurosigma sp2</i>	0	0,01830161	0	0
<i>Pleurosigma sp3</i> ▲	0,04691625	0,07808205	0,07206403	0,15762982
<i>Podocystis adriatica</i>	0,02383222	0	0	0
<i>Podocystis sp1</i> ●	0,02383222	0	0	0,0284738
<i>Podocystis sp2</i>	0,07111815	0,07525094	0,03612717	0
<i>Podolampas bipes</i>	0,02308403	0,01830161	0,03612717	0

<i>Podolampas palmipes</i>	0,04803413	0,17808341	0,42961778	0,13964447
<i>Proboscia alata</i>	0	0	0	0,02272727
<i>Proboscia sp1</i> ◆	0	0	0	0,02
<i>Proboscia sp2</i> ◆	0	0	0	0,03255208
<i>Proboscia sp3</i> ◆	0,6594723	0	0	0
<i>Prorocentrum sp1</i>	0,98963264	0,01594388	0,07002801	0,30709118
<i>Prorocentrum sp2</i>	0	0	0	0,20374131
<i>Protopteridinium brevipes</i>	0,0499002	0,30216567	0,2114308	0,33795377
<i>Protopteridinium conicum</i>	0,85441163	0,14821036	0,63231681	0,06948113
<i>Protopteridinium depressum</i>	0,53665223	1,37824667	1,0072893	0,34280302
<i>Protopteridinium elegans</i>	0,04691625	0,1827008	0,09137579	0,06203322
<i>Protopteridinium sp1</i>	0,62898833	0,7287215	0,18697279	0,25353969
<i>Protopteridinium sp10</i> ◆	0	0	0	0,02272727
<i>Protopteridinium sp11</i> ◆	0	0	0	0,02272727
<i>Protopteridinium sp12</i> ◆	0	0	0	0,0284738
<i>Protopteridinium sp13</i> ◆	0	0	0	0,0284738
<i>Protopteridinium sp2</i>	0,1172862	0,01830161	0,06375148	0,11357797
<i>Protopteridinium sp3</i>	0	0	0,02109705	0,13765625
<i>Protopteridinium sp4</i> ▲	0	0,01830161	0	0
<i>Protopteridinium sp5</i> ◆	0	0	0	0,04272727
<i>Protopteridinium sp6</i>	0,0249501	0	0	0,06102589
<i>Protopteridinium sp7</i> ●	0,02308403	0	0	0
<i>Protopteridinium sp8</i>	0,0923361	0	0	0,02
<i>Protopteridinium sp9</i>	0,14836795	0	0	0,0284738
<i>Psammodictyon sp1</i>	0,02308403	0	0,02762431	0,0284738
<i>Psammodictyon sp2</i> ●	0,02308403	0	0	0
<i>Pseudo-nitzschia sp1</i>	0,32317636	0,21489971	0,94325623	0,33792453
<i>Pseudo-nitzschia sp2</i> ◆	0	0	0	25,7362188
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	0,55162315	0,61133258	0,55842638	0,4830765
<i>Pseudosolenia sp1</i> ◆	0	0	0	0,0284738
<i>Pseudosolenia sp2</i> ◆	0	0	0	0,0284738
<i>Pseudosolenia sp3</i> ◆	0	0	0	0,02272727
<i>Pyrocystis sp</i> ●	0,0249501	0	0	0
<i>Pyrodinium bahamense</i>	0,8652737	2,27267494	26,2565209	2,2891312
<i>Pyrophacus sp1</i>	0,07186635	0,06849098	4,54508305	0,11323429
<i>Pyrophacus sp2</i> ●	0,22255193	0	0	0
<i>Rhabdonema sp1</i>	0,08587431	0,14169742	0,20108224	0,08068221
<i>Rhabdonema sp2</i>	0	0,19559842	0	0,14886403
<i>Rhabdonema sp3</i> ◆	0	0	0	0,02272727

<i>Rhaphoneis sp</i>	0,07000027	0	0	0,17592843
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	0,04691625	0,02113271	0,17754926	0,22506589
<i>Rhizosolenia sp1</i>	0,03709199	0,20902442	0,09137579	0,05527936
<i>Rhizosolenia sp2</i> ▲	0	0,08169975	0	0
<i>Scrippsiella sp1</i>	0,07186635	0,03581662	0,06375148	0,11090909
<i>Scrippsiella sp2</i>	0,02308403	0	0	0,0284738
<i>Skeletonema sp1</i>	39,4678457	17,3807609	0,62883185	0,42110168
<i>Skeletonema sp2</i>	29,0885455	2,09145367	0,38867481	4,74104073
<i>Streptothecca sp</i> ●	0	0	0	0,02272727
<i>Surirella sp1</i>	0,08699219	0,03188776	0	0,0284738
<i>Surirella sp2</i>	0,06092421	0	0	0,08542141
<i>Synedra sp1</i>	0	0,03581662	0	0,06510417
<i>Synedra sp2</i> ●	0,03709199	0	0	0
<i>Synedra sp3</i> ●	0,03709199	0	0	0
<i>Thalassionema sp</i>	0,25620841	9,25995628	5,62155506	2,2916142
<i>Thalassiothrix sp</i>	0,34237053	1,74340245	1,08215362	0,3739457
<i>Torodinium sp</i>	0	0,01830161	0	0,03255208
<i>Toxarium sp1</i>	0,02383222	0,02113271	0,07225434	0,02948113
<i>Toxarium sp2</i>	0,02383222	0,03707659	0	0
<i>Toxarium sp3</i>	0,02383222	0	0,04219409	0,08743607
<i>Trachyneis sp</i>	0,0249501	0	0	0,03255208
<i>Trigonium arcticum</i> ●	0,03709199	0,34069631	0	0
<i>Trigonium formusum</i> var. <i>Pentagonale</i>	0,02383222	0	0	0
<i>Trigonium sp1</i> ■	0,07373242	0	0,02109705	0,02948113
<i>Trigonium sp2</i>	0	0	0,03612717	0
<i>Trigonium sp3</i>	0	0,01830161	0,06329114	0
<i>Tripos brevis</i>	0,03709199	0,03707659	0,04219409	0,05896226
<i>Tripos extensus</i>	0	0,35604103	0,14228235	0,0884434
<i>Tripos furca</i>	0,19177565	0,05411823	0	0,0522084
<i>Tripos fusus</i>	1,68900579	5,96524548	2,5771552	0,78867817
<i>Tripos horridus</i> ■	0,67326127	0,92728551	0,90226373	0,27326349
<i>Tripos macroceros</i>	0	0	0,02334267	0
<i>Tripos muelleri</i>	0,16233638	0,44189599	0,15282122	0,36974427
<i>Tripos pentagonus</i>	0,27034927	0,06849098	0,02334267	0
<i>Tripos sp1</i>	0,09756464	0,14295532	0,03612717	0,0284738
<i>Tripos sp2</i>	0,64631922	3,45976618	0,7884703	0,1654427

Anexo III. Distribución geográfica de las especies identificadas durante los períodos de precipitaciones en el PNNCRSB durante los años 2016 a 2019.

Especie	Lozano <i>et al.</i> 2010; 2011	GBIF	SIB
<i>Amphora lineolata</i>	X		
<i>Bacillaria paxillifera</i>	X		
<i>Bacteriastrum elongatum</i>	X		
<i>Bacteriastrum furcatum</i>	X		X
<i>Chaetoceros affinis</i>	X	X	X
<i>Chaetoceros coarctatus</i>	X	X	X
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	X	X	X
<i>Chaetoceros danicus</i>	X		
<i>Chaetoceros decipiens</i>	X		
<i>Chaetoceros</i> cf. <i>dichaeta</i>	X		
<i>Chaetoceros didymus</i>	X		
<i>Chaetoceros diversus</i>	X	X	X
<i>Chaetoceros</i> cf. <i>lauderi</i>	X		
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	X	X	X
<i>Climacosphenia moniligera</i>	X		
<i>Coscinodiscus gigas</i>	X	X	X
<i>Coscinodiscus granii</i>	X	X	X
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	X	X	
<i>Dinophysis caudata</i>	X	X	X
<i>Nitzschia longissima</i>	X		
<i>Nitzschia sigma</i>	X		
<i>Phalacroma doryphorum</i>	X	X	
<i>Podocystis adriatica</i>	X		
<i>Podolampas bipes</i>	X	X	X
<i>Podolampas palmipes</i>	X	X	X
<i>Proboscia alata</i>	X		
<i>Protoperidinium conicum</i>	X	X	X
<i>Protoperidinium depressum</i>	X		
<i>Protoperidinium elegans</i>	X		
<i>Protoperidinium</i> cf. <i>pellucidum</i>	X		
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	X	X	
<i>Pyrodinium bahamense</i>	X	X	X
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	X		
<i>Trieres mobiliensis</i>	X	X	X
<i>Trigonium arcticum</i>	X		
<i>Trigonium formosum</i> var. <i>pentagonale</i>			
<i>Tripos</i> cf. <i>brevis</i>	X		
<i>Tripos extensus</i>	X	X	X
<i>Tripos furca</i>	X	X	X
<i>Tripos fusus</i>	X	X	X

Especie	Lozano <i>et al.</i> 2010, 2011	GBIF	SIB
<i>Tripes cf. horridus</i>	X	X	X
<i>Tripes cf. macroceros</i>	X	X	X
<i>Tripes cf. muelleri</i>	X	X	X
<i>Tripes pentagonus</i>	X	X	X

Listado de especies de fitoplancton en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano Checklist of phytoplankton species in Tumaco bay, Pacific Colombian

Jesús Javier Hoyos-Acuña , Humberto Luis Quintana-Manotas , Christian Bermúdez-Rivas , Andrés Felipe Molina-Triana , Fredy Albeiro Castrillón  y Jenny Lisbeth Parada Gutiérrez 

Centro de investigaciones Oceanográfica e Hidrográfica del Pacífico (CCCP). Área de protección al Medio Marino, Tumaco, Nariño, Colombia

*Autor de correspondencia: jhoyosa@dimar.mil.co

Recibido: 14 de mayo de 2021

Aceptado: 17 de septiembre de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen

Palabras clave:
costa pacífica colombiana;
diatomeas; FAN;
fitoplancton; Tumaco

Se presenta un listado actualizado de las especies de fitoplancton de la bahía de Tumaco, generado a partir de la literatura disponible desde 1979 hasta 2019 y de campañas oceanográficas realizadas por el Laboratorio del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP) de la Dirección General Marítima (Dimar). Se registran un total de 400 especies, comprendidas en ocho divisiones: Cyanophyta, Chlorophyta, Charophyta, Euglenophyta, Haptophyta, Ochlorophyta, Bacillariophyta y Dinophyta, dos subdivisiones, 12 clases, 14 subclases, 53 órdenes, 93 familias y 146 géneros. Las diatomeas constituyeron el taxa más diverso, seguidas de los dinoflagelados, y algunos representantes de las cianobacterias fueron identificados a nivel genérico. Cuatro géneros y cinco morfoespecies representan a las desmicias, mientras que solo dos especies corresponden a los silicoflagelados. Los flagelados, las euglenas y las clorófitas son representados por un género y una morfoespecie. Los géneros con mayor número de especies fueron: *Chaetoceros* (30), *Tripos* (29), *Protoperdinium* (24), *Nitzschia* (15), *Rhizosolenia* (12) y *Coscinodiscus* (10). De las muestras analizadas en el laboratorio, se registran un total de 152 especies, de las cuales 39 se reportan por primera vez en la bahía de Tumaco. Se identificaron las especies según su hábitat y se determinaron las formadoras de florecimientos algales nocivos (FAN).

Abstract

Key words:
Colombian Pacific coast,
diatoms, HABs,
phytoplankton; Tumaco

An updated list of phytoplankton species in Tumaco Bay is presented, generated from available literature from 1979 to 2019 and oceanographic campaigns conducted by the Laboratory of the Pacific Oceanographic and Hydrographic Research Center (CCCP) of the Directorate General Maritime (DIMAR). A total of 400 species comprised in eight divisions are recorded: Cyanophyta, Chlorophyta, Charophyta, Euglenophyta, Haptophyta, Ochlorophyta, Bacillariophyta and Dinophyta, two subdivisions, 12 classes, 14 subclasses, 53 orders, 93 families, and 146 genera. Diatoms constituted the most diverse taxa, followed by dinoflagellates; some representatives of cyanobacteria were identified at the generic level. Four genera and five morphospecies represent desmicias, while only two species represent silicoflagellates. The flagellates, euglenas, and chlorophyta are represented by one genus and one morphospecies. The genera with the highest number of species were: *Chaetoceros* (30), *Tripos* (29), *Protoperdinium* (24), *Nitzschia* (15), *Rhizosolenia* (12) and *Coscinodiscus* (10). From the samples analyzed in the laboratory, a total of 152 species were recorded, 39 of which were recorded for the first time in Tumaco Bay. Species were identified according to their habitat and Harmful Algal Bloom (HAB) forming species were determined.

Introducción

El fitoplancton marino es una comunidad conformada principalmente por microalgas que se encuentran suspendidas en la columna de agua, incapaces de moverse de forma autónoma, por lo que están limitadas al movimiento de las corrientes de agua (Tomas, 1997). La comunidad fitoplanctónica alberga una alta diversidad de especies (>20,000) y una amplia gama de variaciones de tamaño y modo trófico, representando una parte integral y crucial en los ecosistemas marinos de todo el mundo (Al-Yamani y Saburova, 2019a). Al fitoplancton se le atribuye la fijación fotosintética del carbón que representa el 1 % del total de la biomasa terrestre, y es responsable del 50 % de la producción primaria neta mundial, lo que lo consolida como la principal fuente de energía de los ecosistemas acuáticos. Asimismo, a nivel global, influye en la regulación climática y en los ciclos biogeoquímicos, los cuales dependen de su composición (Field et al., 1998; Winder y Sommer, 2012).

El fitoplancton comprende grupos taxonómicos que pueden diferir notablemente en su fisiología. Existen grupos autótrofos como las cianobacterias, las clorófitas, las diatomeas y los silicoflagelados, entre otros (Field et al., 1998; Falkowski et al., 2004; Thornton, 2012), mixotróficos y heterótrofos, como algunos dinoflagelados, que constituyen un componente vital del bucle microbiano (Fenchel, 1988; Sanders, 1991; Stoecker, 1998; Jones et al., 2007).

Desde hace varias décadas, las zonas costeras de muchos países se han visto afectadas por proliferaciones de microalgas denominadas FAN (florecimientos algales nocivos), que pueden llegar a ser nocivas y tóxicas (Ochoa et al., 2003). Las altas concentraciones de estas microalgas, por ejemplo, son capaces de modificar el color de la superficie de la columna de agua. De hecho, aunque en algunos casos no presenten altas concentraciones, no dejan de ser un riesgo socioambiental debido a la producción de toxinas que tienden a acumularse en los tejidos musculares de peces e invertebrados, por lo que pueden generar efectos nocivos en los consumidores de las carnes contaminadas con estos compuestos tóxicos (Carreto et al., 2008).

En América son diversos los trabajos que se han desarrollado sobre la taxonomía y la ecología del fitoplancton. Para la zona tropical sobre el mar Caribe, se destacan las revisiones taxonómicas realizadas por Margalef (1957) y Tomas (1997). A su vez, para el Pacífico oriental tropical se destacan los estudios de Smayda (1963) y Thomas (1969), quienes

analizaron el fitoplancton y su relación con factores fisicoquímicos y nutrientes. En Colombia, las primeras investigaciones se enfocaron principalmente en la caracterización del fitoplancton del Caribe (Arosemena et al., 1973; Caycedo, 1977; Vidal y Carbonell, 1977; Arias y Durán, 1984), de la que partieron distintos inventarios taxonómicos de los grupos más sobresalientes (diatomeas y dinoflagelados) (Lozano-Duque et al., 2010, 2011). En relación con la cuenca Pacífico colombiana (CPC), las investigaciones sobre el fitoplancton fueron lideradas por los programas del Estudio Regional del Fenómeno del Niño (Erfen) (Castillo y Vizcaíno, 1992, 1993; Medina, 1998; Uribe-Palomino, 2003), el Estudio del Niño-Oscilación del Sur (ENOS) (Higuera y Ortiz, 2007), así como otros en algunas zonas como: la ensenada de Utría (Peña y Pinilla, 2002), cabo Marzo y Punta Cruces (Giraldo-López y Ramírez, 2010) e isla Gorgona (Giraldo et al., 2014).

Igualmente, en el sur de la CPC, específicamente en la bahía de Tumaco, se han desarrollado estudios de microorganismos fitoplanctónicos (Calderón, 1979; Collazos, 1992; Medina, 1997; García-Hansen et al., 2004; García-Hansen, 2009; Guzmán et al., 2014; Osorio-Cardoso, 2019). Sin embargo, existe una ausencia de listados taxonómicos que recopilen la información de las especies halladas en la zona y actualicen su nomenclatura, en la que se estima una alta diversidad debido a su posición geográfica y a las condiciones particulares que se dan allí gracias a los deltas de los ríos Mira y Patía (Garay-Tinoco et al., 2006).

Esta zona posee la segunda terminal portuaria más importante del Pacífico colombiano, lo que le confiere alta sensibilidad a la introducción de especies no nativas o, en el peor de los casos, invasoras, a causa del tráfico marítimo internacional. Por tal razón, esta investigación tiene como objetivo generar un listado actualizado de especies del fitoplancton en la bahía de Tumaco registradas en la literatura científica disponible, complementadas con los análisis de muestras procedentes de las campañas oceanográficas realizadas durante 2017 y 2020 por el Laboratorio de Dirección General Marítima (Dimar), sede pacífica, adscrita al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP).

Materiales y métodos

Área de estudio

La bahía de Tumaco se sitúa en la parte sur de la costa del Pacífico de Colombia, departamento de Nariño, delimitada por las latitudes 1°45'00" y 2°05'00" N y las longitudes 78°30'00" y

78°46'00" W (figura 1). El clima de esta zona es influenciado por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), que regula los sistemas pluviométricos y climatológicos de la región (Devis-Morales, 2002; Garay-Tinoco *et al.*, 2006).

El régimen de lluvias moderado presenta una temperatura ambiente con un valor promedio de 25,6 °C y exhibe un comportamiento monomodal con valores máximos (27,0 a 28,0

°C) en abril y mínimos (23,0 a 24 °C) durante octubre y noviembre. La precipitación promedio anual es de 2,647 mm, con variaciones de 84 % a 87 % en términos de humedad relativa promedio. Se caracteriza por un fenómeno de viento local, producido por la orografía y su ubicación geográfica, denominado brisas marinas y brisas terrestres. Las descargas de sedimentos de los ríos Curay, Colorado, Chagüi, Rosario, Tablones, entre otros, definen en la bahía unas condiciones batimétricas particulares (Garay-Tinoco *et al.*, 2006).

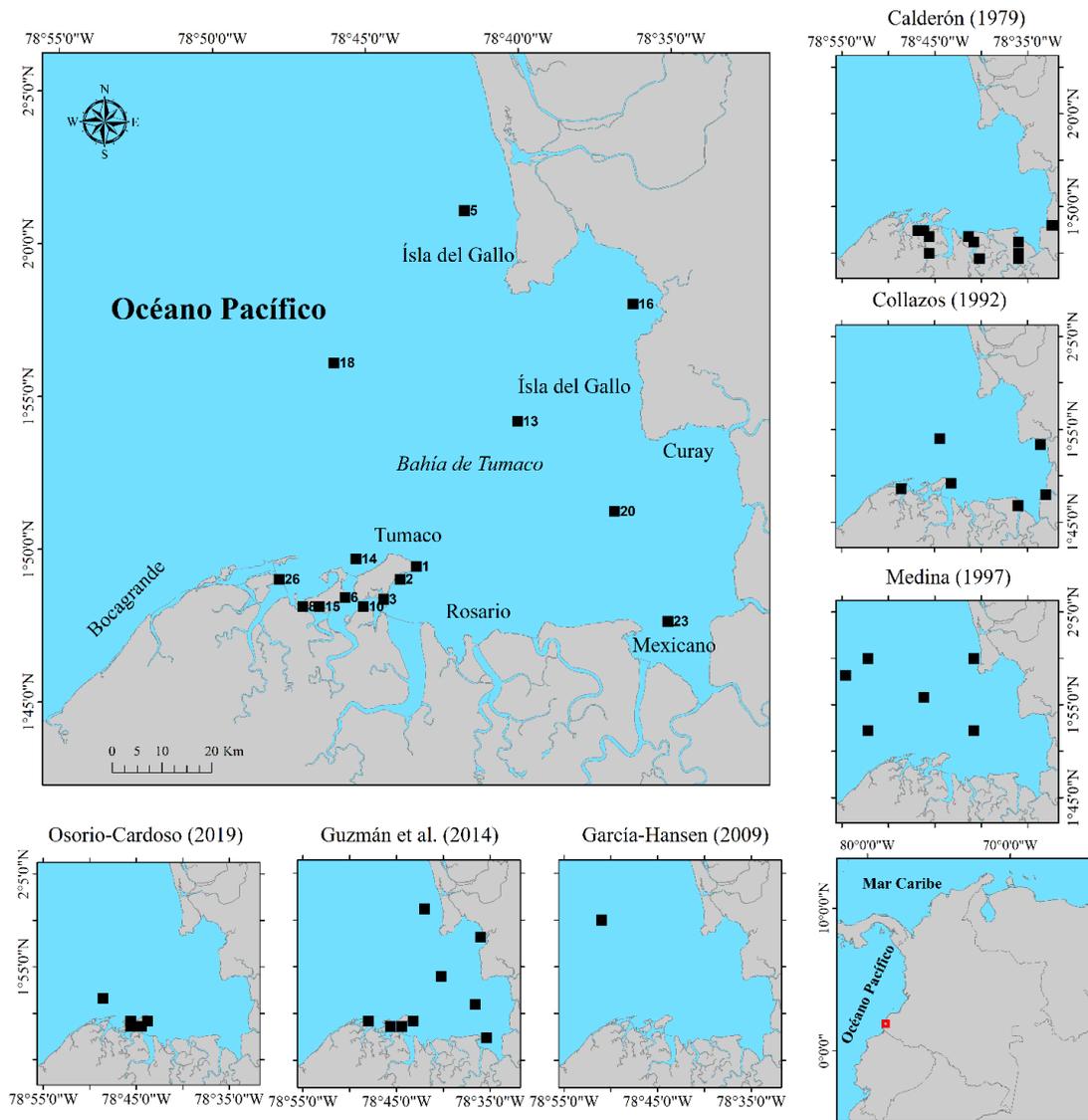


Figura 1. Ubicación de las estaciones de toma de muestras y estudio previos de la bahía de Tumaco.

Fuente y revisión de los registros previos

Mediante consultas en diferentes fuentes disponibles, se recopiló el mayor número de registros de especies del

fitoplancton en la bahía de Tumaco. Los datos obtenidos comprenden investigaciones desde 1976 hasta 2019, utilizando palabras claves como: "fitoplancton Tumaco", "fitoplancton en costa del Pacífico colombiano" y "*Phytoplankton Tumaco Bay*"

en sitios de búsqueda de información científica como el repositorio de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/>), así como a través de consulta física en la biblioteca de dicha institución educativa (sede Santa Marta). También se examinaron estudios de la Universidad del sur de Missisipi (<https://aquila.usm.edu/dissertations/1035/>) y del Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo) (<https://cecoldodigital.dimar.mil.co/cgi/search/advanced>), sumados a diferentes sitios web de revistas nacionales (<https://ojs.dimar.mil.co/index.php/CIOH>) e internacionales repositorio institucional de la Universidad de Costa Rica (<https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/15280>) y *Revista de Investigaciones Marinas Valparaíso* (https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0717-7178&lng=es&nrm=iso). En la tabla 1 se exhiben los datos metodológicos de las colectas y el análisis de las muestras.

Fase de campo

El listado de la flora fitoplanctónica en la bahía de Tumaco se complementa con los registros de especies procedentes de tres campañas oceanográficas de toma de muestras, realizadas en los años 2017 y 2020. La primera se ejecutó en mayo del 2017 en las estaciones 2 y 6 de la bahía interna de Tumaco (1°49'9,44"N 78°43'48,22"W-1°48'41,04"N 78°45'37,67"W), colectando muestras en cada hora en un lapso de 24 horas. Se filtraron 20 L de agua tomados directamente de la superficie, a través de redes cónicas simples de 20 y 53 micrómetros, donde se recolectaron un total de 96 muestras. El contenido filtrado se depositó en recipientes plásticos de 1 L, y se fijó con formaldehído neutralizado con tetraborato de sodio hasta obtener una concentración final del 4 % (Tangen, 1978; Thronsen, 1978).

La segunda campaña se llevó a cabo en marzo del 2020, y en ella se monitorearon 15 estaciones repartidas tanto en la bahía interna como en la externa de Tumaco y en ambos ciclos mareales (bajamar y pleamar), para un total de 30 muestras. Finalmente, la tercera constó de tomas de muestras quincenales entre los meses de junio y diciembre del 2020, en la estación fija número cinco (1°55'19,8"N-78°45'34,9"W) en cinco profundidades (0, 10, 20, 30 y 50 m) para un total de 60 muestras, en el marco del proyecto Antares. Las tomas de muestra durante el 2020 fueron obtenidas mediante botella Niskin y vertidas en recipientes plásticos ámbar de 1 L, fijadas con solución de Lugol (Venrick, 1978; Thronsen, 1978).

Fase de laboratorio

Las muestras originarias de las tres campañas oceanográficas

de toma de muestras mencionadas anteriormente fueron procesadas en el laboratorio del CCCP, sede Pacífico de la Dimar, mediante el uso del microscopio compuesto Unico G504 a magnificaciones de 40X y 100X. Aquellas que fueron colectadas y se filtraron con redes cónicas se analizaron mediante la revisión de tres alícuotas de 1 mL en cámara Sedgwick Rafter. Por otra parte, cada muestra procedente de botella Niskin se sedimentó en 250 mL durante 48 horas hasta obtener un volumen final de 50 mL. Luego se tomaron tres alícuotas de 1 mL y se adicionaron en la cámara Sedgwick Rafter para ser analizadas en el microscopio (Guillard, 1978).

En la identificación de los especímenes se emplearon las guías de identificación de Cupp (1943), Jiménez (1983), Balech (1988), Tomas (1997), Ojeda-Rodríguez (1998), Okolodkov (2008, 2010), Vidal-Velásquez (2010), Al-Yamani y Saburova (2019a, 2019b) y Guiry y Guiry (2020). Se consideraron los ejemplares hasta nivel más basal, en este caso especie, y se tuvieron en cuenta registros de algunos géneros por ser poco frecuentes para el área.

Fase de gabinete

Se listaron taxonómicamente las especies registradas previamente en la literatura científica, al igual que las identificadas en las muestras analizadas en el laboratorio. La clasificación taxonómica de las especies de diatomeas fue establecida bajo la referencia de Medlin y Kaczmarek (2004); la de los dinoflagelados, según Gómez (2012); la de cianobacterias, siguiendo a Komárek et al. (2014); la de los silicoflagelados se basó en Jiménez (1983); la de los flagelados, en Thronsen (1997), y para las charófitas se tuvo en cuenta el estudio de Guiry y Guiry (2021).

Del mismo modo, se verificó el estado taxonómico actual de las identidades de las especies, sus autores y sinonimia en la base de datos en línea Algaebase (Guiry y Guiry, 2020) y WoRMS (WoRMS Editorial Board, 2021) a través de un script en R con el paquete "*worms*" (Holstein, 2018). Una vez confirmada su identidad, se indicaron los especímenes que presentaron cambios y/o traslado de nombre de especies o géneros. Cada especie se relacionó con su hábitat mediante la revisión de trabajos autoecológicos y descripciones taxonómicas (Cupp, 1943; Jiménez, 1983; Balech, 1988; Ojeda-Rodríguez, 1998; Al-Yamani y Saburova, 2019a, 2019b). También se contempló su capacidad de generar FAN, con base en el trabajo de Allen (2018), donde se identificaron las especies nocivas y tóxicas. Finalmente, cada especie correspondió con el(los) autor(es) que registra(n) sus ocurrencias en la bahía de Tumaco.

Tabla 1. Datos metódicos de los registros previos en la bahía de Tumaco. Se indican abreviaturas: CD: colecta directa, BNA: botella Nansen, BNI: RCS: red cónica simple, CSR: cámara Sedgwick Rafter, GG: gota a gota, MC: microscopio compuesto y MI: microscopio invertido, N/A: no aplica y N/M: no se menciona.

No muestras	Tipo de coleta	Profundidades (m)	Volumen colectado	Soluciones fijadoras	Técnica de análisis	No réplicas	Sedimentación	Tipo de microscopio	Meses y años	Autores
32	RCS tamaño de poro 50 y 64 μm	0 y 5	N/M	N/M	GG	1	N/A	Microscopio compuesto	Abril, 1976	Calderón, 1979
216	BNA	0,3 y 5	500	Formol al 4% y lugol	CSR	1	N/M	Microscopio invertido	Enero a agosto, 1991	Collazos, 1992
N/M	BNI	0,10 y 20	500	Formol al 4%, lugol y glicerina	CSR	1	500 ml a 100 mL durante 96 horas	Microscopio invertido	Julio, 1996	Medina, 1997
N/M	CD	0	500	Formalina al 10% y lugol al 5%	CSR	1	500 ml a 20 mL durante 36 horas	Microscopio invertido	Marzo, 2001	García-Hansen et al., 2004
240	BNI	0,10, 20, 30 y 50	500	Formalina al 10% y lugol al 10%.	CSR	3	500 ml a 20 mL durante 96 horas	Microscopio compuesto	1993 a 2005	García-Hansen, 2009
26	RCS tamaño de poro 23 μm	0	500	Formol buferizado al 4%	CSR	1	N/A	Microscopio invertido	Abril y agosto 2012	Guzmán et al., 2014
48	RCS con tamaño de poro 21 μm	0	250	Lugol	GG	1	N/A	Microscopio compuesto con objetivo a 10x, 40x y 100x	Septiembre 2016 y junio 2017	Osorio-Cardoso, 2019

Resultados

Se encontraron un total de siete obras de investigación entre los años 1979 y 2019. Tres de ellas son artículos científicos (uno en revistas nacionales y dos de revistas internacionales), y cuatro son tesis (dos de pregrado, una de maestría y otra de doctorado). En los registros previos se reconocieron la mayoría de las especies que conforman la microflora de la bahía, siendo Calderón (1979) el pionero en la descripción de 144 especies, seguido por Collazos (1992), quien detalló 87, y por Medina (1997), quien registró 67. En el 2001, García-Hansen *et al.* (2004) reportaron un florecimiento algal nocivo correspondiente a la especie de dinoflagelado *Alexandrium tamarense*. Posteriormente, García-Hansen (2009) aportó 150 especímenes, y Guzmán *et al.* (2014) y Osorio-Cardoso (2019) evidenciaron 19 y 164, respectivamente (tabla 2). En contraste, al analizar muestras en el laboratorio se registró un total de 152 especies, de las cuales 39 fueron observadas por primera vez. De igual manera, se actualizaron 72 nombres de especies de fitoplancton registradas en la bahía de Tumaco, correspondientes a un silicoflagelado, 53 diatomeas y 18 dinoflagelados (tabla 3 y [material suplementario](#)).

Un total de 400 especies de fitoplancton se registraron en la bahía de Tumaco (tabla 4), comprendidas en ocho divisiones (Cyanophyta, Chlorophyta, Charophyta, Euglenophyta, Haptophyta, Ochrophyta, Bacillariophyta y Dinophyta), dos subdivisiones, 12 clases, 14 subclases, 53 órdenes, 93 familias y 146 géneros. La división Bacillariophyta (diatomeas) es la más diversa para la bahía, con 101 géneros y 262 especies distribuidas en tres clases: Bacillariophyceae (diatomeas

pennadas) (50 géneros y 116 especies), Mediophyceae (diatomeas polares o intermedias) (28 y 86) y Coscinodiscophyceae (diatomeas céntricas) (24 y 60).

Seguidamente, se reconocen 29 géneros y 120 especies de la división Dinophyta (dinoflagelados), comprendidas en dos clases: Noctilucopephyceae (dinoflagelados desnudos) (un género y una especie) y Dinophyceae (dinoflagelados no desnudos) (28 géneros y 119 especies). Entretanto, las divisiones mencionadas a continuación registran una sola clase en la bahía: Cyanophyceae (cianobacterias) (ocho géneros, ocho morfoespecies), Zygnematophyceae (desmidiás) (cuatro géneros y cinco morfoespecies), Dictyochophyceae (silicoflagelados) (dos géneros y dos especies). Coccolithophyceae (flagelados), Euglenophyceae (euglenas) y Trebouxiophyceae (clorófitas) fueron representadas por un género y una morfoespecie cada una (tabla 3). Los géneros con mayor número de especies corresponden a *Chaetoceros* (30), *Tripos* (29), *Protoperdinium* (24), *Nitzschia* (15), *Rhizosolenia* (12) y *Coscinodiscus* (10).

En la tabla 4 se reconocen las especies productoras de FAN: 19 son especies nocivas, y 25, tóxicas. De estas últimas, ocho producen toxinas no conocidas; cinco generan en conjunto ácido okadaico, dinophysitoxinas y pectitoxinas; cuatro se relacionan con ácido domoico; dos, con saxitoxina; dos, con yesotoxinas; una produce toxinas de rápida acción; una es hemolítica; una genera ictiotoxina, y una es sufactante. Los tipos de hábitats pertenecientes a las especies mencionadas se encuentran en la tabla 5

Tabla 2. Revisión de la literatura y el presente estudio de la comunidad fitoplanctónica en la bahía de Tumaco.

Clase	Collazos (1992)	Medina (1997)	García- Hansen <i>et al.</i> (2004)	García- Hansen (2009)	Guzmán <i>et al.</i> (2014)	Osorio- Cardoso (2019)	Presente estudio
Coccolithophyceae	0	1	0	0	0	0	0
Cyanophyceae	1	1	0	0	0	3	6
Zygnematophyceae	2	0	0	0	0	0	4
Chlorophyceae	0	0	0	0	0	0	1
Dictyophyceae	2	1	0	0	0	0	1
Coscinodiscophyceae	29	13	2	0	24	5	28
Mediophyceae	41	28	12	0	46	1	42
Bacillariophyceae	51	33	4	0	33	6	47
Dinophyceae	18	10	49	1	47	4	35
Total	144	87	67	1	150	19	164

Tabla 3. Nombres actualizados de especies de fitoplancton en la bahía de Tumaco. Calderón (1979); Collazos (1992) [2], Medina (1997) [3], García-Hansen (2009) [4], Guzmán (2014) [5], Osorio-Cardoso (2019) [6], Presente estudio [7].

Número	Nombre aceptado	Sinónimo	Autores y año
Dictyochophyceae			
1	<i>Ocatis octonaria</i>	<i>Dictyocha octanaris</i>	Hovasse, 1946 [7]
Coscinodiscophyceae			
2	<i>Actynocyclus cuneiformis</i>	<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	Gómez <i>et al.</i> , 2017 [1, 3, 6]
3	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Melosira granulata</i>	Simonsen, 1979 [7]
4	<i>Corethron pennatum</i>	<i>Corethron criophilum</i>	Van Heurck, 1909 [2,7]
5	<i>Eupyxidicula palmeriana</i>	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	Blanco y Wetzel, 2016 [4,7]
6	<i>Eupyxidicula nipponica</i>	<i>Stephanopyxis nipponica</i>	Blanco y Wetzel, 2016 [6,7]
7	<i>Eupyxidicula turris</i>	<i>Stephanopyxis turris</i>	Blanco y Wetzel, 2016 [2,5, 7]
8	<i>Ellerbeckia sol</i>	<i>Melosira sol</i>	Crawford y Sims, 2006 [1]
9	<i>Melosira lineata</i>	<i>Melosira juergensii</i>	Agardh, 1824 [6]
10	<i>Rhizosolenia setigera f. pungens</i>	<i>Rhizosolenia pungens</i>	Brunel, 1962 [4]
11	<i>Stellarima stellaris</i>	<i>Coscinodiscus stellaris</i>	Hasle y Sim, 1986 [1]
12	<i>Triceratium reticulum</i>	<i>Trigonium reticulum</i>	Ehrenberg, 1844 [6]
Mediophyceae			
12	<i>Chaetoceros protuberans</i>	<i>Chaetoceros didymus var. protuberans</i>	Lauder, 1864 [7]
13	<i>Helicotheca tamesis</i>	<i>Streptotheca tamesis</i>	Ricard, 1987 [2]
14	<i>Hobaniella longicuris</i>	<i>Odontella longicuris</i>	Sim <i>et al.</i> , 2018 [2, 4, 6, 7]
15	<i>Neomoelleria cornuta</i>	<i>Eucampia cornuta</i>	Blanco y Wetzel, 2016 [2, 4, 6, 7]
17	<i>Pseudictyota dubium</i>	<i>Odontella dubia</i>	Sim <i>et al.</i> , 2018 [7]
18	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	<i>Coscinodiscus eccentricus</i>	Cleve, 1904 [2,3,4, 7]
19	<i>Thalassiosira lacutris</i>	<i>Cyclotella punctata</i>	Hasle y Fryxell, 1977 [6]
20	<i>Trieres mobiliensis</i>	<i>Odontella mobiliensis</i>	Ashworth <i>et al.</i> , 2013 [2, 5, 76]
21	<i>Trieres regia</i>	<i>Odontella regia</i>	Ashworth <i>et al.</i> , 2013 [2, 4, 6]
22	<i>Trieres chinensis</i>	<i>Odontella chinensis</i>	Ashworth <i>et al.</i> , 2013 [4, 7]
23	<i>Zygoceros rhombus</i>	<i>Biddulphia rhombus</i>	Sim <i>et al.</i> , 2018 [2,7]
Bacillariophyceae			
24	<i>Achnantes armillaris</i>	<i>Achantes longipes</i>	Guiry, 2019 [5]
25	<i>Asterionellopsis gracialis</i>	<i>Asterionella japonica</i>	Round <i>et al.</i> , 1990 [2, 3, 5, 6, 7]
26	<i>Bacillaria paradoxa</i>	<i>Bacillaria paraxillifer</i>	Marsson, 1901 [2,4, 6, 7]
27	<i>Campylodiscus neofastuosus</i>	<i>Surirella fastuosa</i>	Ruck <i>et al.</i> , 2016 [2, 4, 6, 7]
28	<i>Carinasigma rectum</i>	<i>Donkinia recta</i>	Reid, 2012 [1]
29	<i>Climaconeis delicatula</i>	<i>Navicula delicatula</i>	Cox, 1982 [4]
30	<i>Cylindrotheca Closterium</i>	<i>Nitzschia closterium</i>	Reiman y Lewin, 1964 [2, 4, 6, 7]
31	<i>Encyonema minuta</i>	<i>Cymbella minutum</i>	Round <i>et al.</i> , 1990 [6]
32	<i>Entomoneis gigantea</i>	<i>Amphiphora gigantea</i>	Nizamuddin, 1983 [6]
33	<i>Gomphonema acuminatum var. longiceps</i>	<i>Gomphonema longiceps</i>	Abarca y Jahn, 2020 [6]
34	<i>Halumphora coffeiformis</i>	<i>Amphora coffeiformis</i>	Mereschkowsky, 1903 [1]
35	<i>Iconella guatemalensis</i>	<i>Surirella guatemalensis</i>	Ruck <i>et al.</i> , 2016 [1]
36	<i>Lyrella lyra</i>	<i>Navicula lyra</i>	Karaveya, 1978 [1]
37	<i>Muniera membranacea</i>	<i>Stauroneis membranacea</i>	Hasle y Syvertsen, 1997 [1]
38	<i>Neodelphineis silenda</i>	<i>Neodelphineis pelagica</i>	Desianti y Potapova, 2005 [6]
39	<i>Nitzschia chinensis</i>	<i>Gomphonitzschia chinensis</i>	Skvortsov, 1931[1]
40	<i>Parlibellus cruciloides</i>	<i>Navicula cruciloides</i>	Witkowski, Lange-Bertalot y Metzelin, 2000 [1]
41	<i>Petroneis marina</i>	<i>Navicula marina</i>	Round <i>et al.</i> ,1990 [6]

Listado de especies de fitoplancton en la bahía de Tumaco

Tabla 3. Continuación.

Número	Nombre aceptado	Sinónimo	Autores y año
42	<i>Petrodictyon gemma</i>	<i>Surirella gemma</i>	Round <i>et al.</i> , 1990 [1]
43	<i>Plagiotropis vitrea</i>	<i>Tropidoneis vitrea</i>	Cleve y Grunow 1880 [2]
44	<i>Plagiotropis elegans</i>	<i>Tropidoneis elegans</i>	Van Heurck, 1885 [1]
45	<i>Pleurosigma simonsenii</i>	<i>Pleurosigma planctonicum</i>	Hasle y Syvertsen 1997 [2]
46	<i>Psammodictyon mediterranium</i>	<i>Nitzschia mediterranea</i>	Round <i>et al.</i> , 1990 [1]
47	<i>Psammodiscus nitidus</i>	<i>Coscinodiscus nitidus</i>	Round y Mann, 1980 [6]
48	<i>Psammodictyon panduriformis</i>	<i>Nitzschia panduriformis</i>	Round <i>et al.</i> , 1990 [1]
49	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	Tempere y Peragallo, 1910 [2,4, 6, 7]
50	<i>Tryblionella aerophila</i>	<i>Nitzschia aerophila</i>	Round <i>et al.</i> , 1990 [2]
51	<i>Tryblionella apiculata</i>	<i>Nitzschia constricta</i>	Gregory, 1857 [2]
52	<i>Tryblionella compressa</i>	<i>Nitzschia compressa</i>	Poulin <i>et al.</i> , 1990 [1]
53	<i>Tryblionella scalaris</i>	<i>Nitzschia scalaris</i>	Siver y Hamilton, 2005 [6]
54	<i>Ulnaria ulna</i>	<i>Synedra ulna</i>	Compère, 2001 [6]
Dinophyceae			
55	<i>Akashiwo sanguinea</i>	<i>Gymnodinium sanguineum</i>	Daugberg et a., 2000 [4]
56	<i>Blixaea quinquecornis</i>	<i>Peridinium quinquecorne</i>	Gottschling, 2017 [1]
57	<i>Cucumeridinium coeruleum</i>	<i>Gymnodinium coeruleum</i>	Gómez <i>et al.</i> , 2015 [2, 7]
580	<i>Lingulodinium polyedra</i>	<i>Gonyaulax polyedra</i>	Guiry y Guiry, 2018 [3, 4]
59	<i>Scrippsiella acuminata</i>	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	Kretschmann et al., 2015 [4]
60	<i>Triadinium sphaericum</i>	<i>Goniodoma sphaericum</i>	Dodge, 1981 [4]
61	<i>Tripes eugrammus</i>	<i>Tripes furca</i>	Gómez, 2021 [2, 3, 5, 6, 7]
62	<i>Tripes furca</i>	<i>Tripes lineatum</i>	Gómez, 2021 [6]
63	<i>Tripes gallicus</i>	<i>Tripes deflexus</i>	Gómez, 2021 [7]
64	<i>Tripes gibberus</i>	<i>Tripes contortus</i>	Gómez, 2021 [7]
65	<i>Tripes gracilis</i>	<i>Tripes declinatus</i>	Gómez, 2021 [7]
66	<i>Tripes gravidus</i>	<i>Tripes praelogum</i>	Gómez, 2021 [7]
67	<i>Tripes intermedius</i>	<i>Tripes horridus</i>	Gómez, 2021 [7]
68	<i>Tripes muelleri</i>	<i>Tripes schmidtii</i>	Gómez, 2021 [4, 6, 7]
69	<i>Tripes pacificus</i>	<i>Tripes belone</i>	Gómez, 2021 [7]
70	<i>Tripes pulchellus</i>	<i>Tripes muelleri</i> var. <i>porrectus</i>	Gómez, 2021 [6]
71	<i>Tripes setaceus</i>	<i>Tripes kofoidii</i>	Gómez, 2021 [7]
72	<i>Tripes tenuis</i>	<i>Tripes buceros</i> var. <i>tenuis</i>	Hallegraef <i>et al.</i> , 2020 [2]

Tabla 4. Especies de fitoplancton pertenecientes a los diferentes hábitats que conforma la bahía de Tumaco.

Clase	Dulceacuícolas	Bentónicos	Desconocidos	Estuarinos	Litorales	Neríticos	Oceánicos
Cyanophyceae	0	0	5	3	0	0	0
Trebouxiophyceae	0	0	1	0	0	0	0
Zygnematophyceae	2	0	3	0	0	0	0
Euglenophyceae	1	0	0	0	0	0	0
Coccolithophyceae	0	0	0	1	0	1	1
Cictyochophyceae	0	0	2	0	0	0	0
Coscinodiscophyceae	0	1	37	8	2	17	10
Mediophyceae	2	0	17	3	1	56	18
Bacillariophyceae	7	2	62	15	7	36	2
Noctilucofhyceae	0	0	0	0	0	0	1
Dinophyceae	0	3	17	20	1	59	68
Total	12	6	144	50	11	169	100

Discusión

Distribución de sitio de recolecta

En la figura 1 se observa un patrón en la distribución de los sitios de recolecta en el tiempo. En las primeras investigaciones, correspondientes a Calderón (1979) y Collazos (1992), se presenta un esfuerzo en toma de muestras en zonas cercanas a la costa, principalmente en los fondos de los esteros, caños y desembocaduras de los ríos Rosario, Mexicano y Curay. Estudios posteriores comenzaron a incluir zonas de recolecta con mayor distancia de la costa (Medina, 1997; García-Hansen, 2009) y una combinación entre sitios cercanos y lejanos (Guzmán *et al.*, 2014; Osorio-Cardoso, 2019, y el presente estudio).

Lo anterior evidencia el gran interés de la comunidad científica sobre el conocimiento de la dinámica fitoplanctónica, debido a la relevancia que tiene en el funcionamiento de los ecosistemas marinos, la productividad pesquera y el efecto negativo de algunas especies productoras de FAN sobre la economía y la salud de las comunidades costeras (Suárez y Guzmán, 2005).

Composición del listado de fitoplancton

La revisión de los registros indica que existe una mayor riqueza de especies de la división Bacillariophyta (diatomeas); en segundo lugar se encuentra Dinophyta (dinoflagelados), y en una menor medida se reportan Cyanophyta (cianobacterias), Chlorophyta (clorófitas), Euglenozoa (euglenas), Charophyta (desmidias), Haptophyta (flagelados) y Ochrophyta (silicoflagelados). Dentro de Bacillariophyta, la clase Bacillariophyceae (diatomeas pennadas) fue mayor en Calderón (1979) y Osorio-Cardoso (2019), mientras que Mediophyceae (diatomeas polares) y Coscinodiscophyceae (diatomeas centrales) sobresalen, en términos de números de especies, entre los resultados de García-Hansen (2009) y Osorio-Cardoso (2019). Por otra parte, la Dinophyta (dinoflagelados), en cuanto a riqueza de especies, fue mayormente representada por los trabajos de Medina (1997) y García-Hansen (2009). Las demás mostraron un rango de presencia de especies comprendidas entre uno y seis (tabla 2).

En este estudio, al analizar muestras del 2017 y del 2020, se identificó una comunidad fitoplanctónica en términos de riqueza de especie muy similar a la reportada en los trabajos de Calderón (1979), García-Hansen (2009) y Osorio-Cardoso

(2019). Sin embargo, se registran por primera vez especies de diatomeas, dinoflagelados y euglenófitas debido a las estrategias de toma muestras que se emplearon en la bahía. De esta forma, la diatomeas céntricas, pennadas y polares y algunos dinoflagelados como *Protoperidinium claudicans*, *P. latissinum*, *P. lipopodium*, *Prorocentrum balticum* y *P. mexicanum* tuvieron un factor de frecuencia <5 y fueron hallados en la toma de muestra que se realizó en un lapso de 24 horas en dos estaciones. Por otra parte, el género *Euglena*, los dinoflagelados del género *Tripos* y la especie *Pyrocystis fusiformis* se encontraron ocasionalmente en la toma de muestras que se realizó desde junio hasta diciembre en la estación fija.

Notas sobre nomenclatura

La determinación de los nombres actuales de las especies de fitoplancton en la bahía de Tumaco arrojó que Osorio-Cardoso (2019), Collazos (1992), Calderón (1979) y García-Hansen (2009) fueron los que presentaron mayor número de especies con nombres desactualizados. Con todo, estos estudios producto de tesis de pregrado, maestría y doctorado, aunque no han sido publicados bajo el lente de pares académicos, se han convertido en un gran aporte para la flora fitoplanctónica de la bahía. Además, el apoyo de Luis Alfonso Vidal Velásquez y Elcira Delgado, especialistas en la identificación taxonómica de fitoplancton, proporciona veracidad en la identificación de las especies en estos trabajos, por lo que han sido fundamentales en la elaboración del presente estudio:

En la tabla 2 se muestran las actualizaciones de los nombres de algunas especies de diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados registradas previamente y producidas durante el análisis de laboratorio. La validación de las especies se basó en investigaciones de análisis morfológicos, sistemáticos y moleculares, argumentados a continuación.

Mediante técnicas de microscopía electrónica de barrido, Siver y Hamilton (2005) observaron una serie de rasgos que promovieron la transferencia de *Nitzschia scalaris* a *Tryblionella scalaris*. Asimismo, Abarca *et al.* (2020) argumentaron la relación estrechamente morfológica y molecular de *Gomphonema longiceps* con *G. acuminatum*, por lo cual fue incluida en la variedad de especie *G. acuminatum* var. *longiceps*.

Ashworth *et al.* (2013) ratificaron, a través de análisis moleculares y morfológicos, que las especies *Odontella*

chinensis, *O. mobiliensis* y *O. regia* hacen parte del nuevo género *Trieres*. En efecto, sus nombres aceptados son *T. chinensis*, *T. mobiliensis* y *T. regia*. Por otro lado, la especie *Neodelphineis pelagica* se invalidó al considerarse sinónimo heterotípico de *Fragilaria silendum*, y se renombró *Neodelphineis silenda* (Desianti *et al.*, 2015). De manera similar, *Surirella fastuosa* y *S. guatemalensis* fueron reclasificadas y validadas como *Campylodiscus neofastusus* e *Iconella guatemalensis* (Ruck *et al.*, 2016).

De manera análoga, se resalta el cambio de tres especies de *Stephanopyxis* al género *Eupyxidicula*, reconocidas como *E. palmeriana*, *E. nipponica* y *E. turris*, puesto que el holotipo original era *Pyxidicula*, considerado ilegítimo. Del mismo modo, *Eucampia cornuta* ahora es aceptada como *Neomellaria cornuta* (Blanco y Wetzel, 2016).

Gómez *et al.* (2017), en su estudio de filogenia molecular, encontraron que el género *Hemidiscus* comprendía dos clados relacionados estrechamente con *Actinocyclus*, evidenciando alto grado de similitud molecular. Esto, en conjunto con la ausente diferenciación morfológica entre ambos géneros, llevó a incluir a *Hemidiscus* dentro de *Actinocyclus*. De esta manera, *H. cuneiformis* está registrada para la bahía y es actualmente aceptada con el nombre de *A. cuneiformis*. Caso similar sucedió con las especies *Odontella dubia* y *O. longicuris*, enmendadas a *Pseudictyota dubium* y *Hobaniella longicuris*, respectivamente, cuando Sims *et al.* (2018) describieron una nueva familia Odontellaceae y los géneros *Pseudictyota*, *Hobaniella* y *Ralfsiella*. Por otra parte, *Melosira* sol fue transferida a *Ellerbeckia sol* (Crawford y Sims, 2006).

Asimismo, a partir de las observaciones realizadas por Sims *et al.* (2018), *Biddulphia rhombus* retornó a su identificación original, *Zygoceros rhombus*, al determinar que ciertos rasgos no se habían tenido en cuenta en su redescrición. Con respecto a *Achnanthes longipes*, se reconoció como sinónimo heterotípico de *A. amillaris* (Guiry, 2019), por lo que en la actualidad este último nombre es el válido. Hasle y Syvertsen (1997) propusieron una nueva combinación para *Pleurosigma planctonicum*, denominándola como *P. simonsenii*. Por último, evidencia morfológica por microscopía electrónica de barrido permite transferir *Donkinia recta* a *Carinastigma rectum* (Reid, 2012). Las demás especies de diatomeas que se actualizaron, fueron reasignadas a otros géneros o especies, o retornaron a su descripción original.

Los dinoflagelados han sido un grupo controversial puesto que su taxonomía, basada inicialmente en criterios arbitrarios, ha

tenido diferentes modificaciones que surgen a partir del avance en la microscopía y en técnicas moleculares. Tal es el caso de *Goniodoma sphaericum*, que a raíz de los análisis de Dodge (1981) de muestras frescas con microscopía de luz y electrónica adoptaría el nuevo nombre de *Triadinium sphaericum*. De mismo modo, los análisis moleculares de Daugbjerg *et al.* (2000) sustentaron la división del género *Gymnodinium* en cuatro géneros: *Karenia*, *Karlodinium*, *Gymnodinium* y *Akashiwo*, razón evidente por la que *G. sanguineum* es conocida actualmente como *Akashiwo sanguinea*. Por su parte, *Scrippsiella acuminata* fue la nueva identidad para *S. trochoidea* y *Peridinium acuminatum* debido que Kretschmann *et al.* (2015) evidenciaron conespecificidad entre ambas especies.

El género *Ceratium* descrito por Schrank incluía especies dulceacuícolas y marino-costeras. Sin embargo, Sournia (1986) observa diferencias entre las especies de distintos ambientes: las dulceacuícolas presentan cinco placas cingulares (5C), y las marinas, cuatro (4C). Estas observaciones fundamentaron el análisis molecular realizado por Gómez *et al.* (2010), quienes propusieron agrupar las especies marinas en un nuevo género *Neoceratium* (Gómez *et al.*, 2010). En respuesta, Calado y Huisman (2010) rechazaron la propuesta al señalar que *Neoceratium* no era un género antiguo, por lo que recomendaron reasignar las especies marinas dentro del ya establecido género *Tripos*. Posteriormente, Gómez (2013) retoma el género *Tripos* y realiza nuevas combinaciones a partir de análisis moleculares y morfológicos, documentando 77 especies y numerosas variedades y formas a nivel mundial.

No obstante, la cantidad de formas de transición encontradas ha generado sesgo y conflicto para una adecuada identificación de las especies (Ojeda-Rodríguez, 1998). Por consiguiente, Gómez (2021) propuso 68 especies y transfirió algunas otras, tomando como referencia las descripciones originales de Christian Gottfried Ehrenberg de las especies *T. belone*, *T. furca* y *T. lineatum*, que actualmente son aceptadas como *T. pacificus*, *T. eugrammus* y *T. furca*, respectivamente. Otras fueron identificadas como estadios del ciclo de vida de especies ya definidas, tales como: *T. declinatus*, *T. deflexus*, *T. horridus*, *T. kofoidii*, *T. muelleri* var. *porrectus*, *T. praelogum* y *T. scmidtii*, transferidas a *T. gracilis*, *T. gallicus*, *T. intermedius*, *T. setaceus*, *T. pulchellus*, *T. gravidus* y *T. muelleri*. Sin embargo, las subespecies y variedades *T. eugrammus* subsp. *berghii* (= *Ceratium furca* var. *berghii*), *T. fusus* var. *seta* (*Ceratium fusus* var. *seta*), *T. massiliensis* var. *armatus* (*C. massiliense* f. *armatum*), *T. massiliensis* var. *massiliensis* (*C.*

massiliense var. massiliense), *T. muelleri* f. *parallelus* y *T. scmidtii* fueron incluidas en las especies *T. eugrammus*, *T. fusus*, *T. massiliensis* y *T. muelleri*.

La especie de dinoflagelado heterótrofo del orden Gymnodiniales *Gymnodinium coeruleum* fue reasignada en el género *Balechina* como resultado de los análisis de muestras de la expedición del océano Índico (Taylor, 1976). Empero, el género *Balechina* fue basado en la especie tipo *B. pachydermata* (= *G. pachydermatum*), conocida por sus numerosas y finas estrías longitudinales, mientras que *B. coerulea* mostraba alrededor de 24 crestas o surcos longitudinales prominentes en la superficie y una pigmentación azul distintiva. Ahora bien, los análisis filogenéticos exhibieron un clado que agrupó las especies *B. coerulea*, *G. cucumis* y *G. lira*, por lo que se propuso un nuevo género llamado *Cucumeridinium* para especies con crestas longitudinales y un surco apical circular. De esta manera, las especies mencionadas son renombradas como *C. coeruleum*, *C. cucumis* y *C. lira*. (Gómez *et al.*, 2015). Por otra parte, *Peridinium quinquecorne* fue sustituida por *Blixaea quinquecornis*, con base en los resultados de los datos moleculares y morfológicos (Gottschling *et al.*, 2017).

De igual manera, *Gonyaulax polyedra* fue transferida a *Lingulodinium polyedrum* porque era sinónimo de *L. polyedrum*, el cual fue utilizado en cerca de 225 publicaciones. Sin embargo, su epíteto fue reestablecido siguiendo las reglas lingüísticas del latín, y por eso en la actualidad es aceptado como *L. polyedra* (Guiry y Guiry, 2018). Por último, el silicoflagelado *Dictyocha octonaria* actualmente es definido como *Octatis octonaria* (Hovasse, 1946).

En contraste, la influencia de las cianobacterias en la bahía es escasa, un patrón común en las aguas marinas. Se presentan registros ocasionales de los géneros *Anabaena*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Phormidium* y *Merismopedia*, así como de la especie *Chroococcus turgidus* (Osorio-Cardoso, 2019). Por su parte, se reconocieron dos especies de silicoflagelados: *Dictyocha fibula*, cosmopolita y abundante, y *Octatis octonaria*, anteriormente llamada *Dictyocha octonaria*, que es considerada rara debido a su baja frecuencia (Cupp, 1943; Jiménez, 1983).

Las clorofitas presentan un único registro, correspondiente al género *Chlorella*. Con respecto a las Charofitas (desmidias), se registran los géneros *Closterium*, *Gonatozygon* y *Staurastrum*, así como la especie *Closterium kuetzingii*. El registro de las especies de desmidias es un dato por destacar dada la

exclusividad de este grupo para ambientes dulceacuícolas. Este hallazgo posiblemente se dio por la presencia de descargas de aguas continentales por parte de los ríos que desembocan en la bahía.

Hábitat

El mayor número de especies listadas presentan una afinidad con hábitats neríticos debido a que la zona de estudio cuenta con una plataforma continental de 120 km de extensión (Santos, 2008), que puede permitir el desarrollo de organismos adaptados a estos ambientes. Sin embargo, se encontró un número considerable de especies oceánicas, lo que constituye un dato atípico dada la naturaleza nerítica de la bahía. Esto se puede explicar por el hecho de que las aguas superficiales ecuatoriales y las costeras peruanas tienen una alta incidencia sobre el sur de Pacífico colombiano y en la bahía de Tumaco (Grados *et al.*, 2008; Morón, 2011).

Además, el fitoplancton varía significativamente cuando se presenta el evento de El Niño (Ochoa y Gómez, 1997). Mientras que en condiciones normales la comunidad fitoplanctónica está constituida por diatomeas, durante El Niño los dinoflagelados de aguas cálidas se acercan generalmente a la costa (Ochoa *et al.*, 1985). Debido a que algunas especies de estos presentan rangos estrictos en sus requerimientos de temperatura, salinidad y, en los casos más específicos, de necesidades nutricionales, estos organismos en particular resultan ideales para su monitoreo del fitoplancton en el tiempo y espacio (Antonietti *et al.*, 1993).

Lo anterior se corrobora con los eventos de El Niño de los años 1991, 1997 y 1998, cuando se presentó una amplia cobertura de dinoflagelados con respecto a las diatomeas. Estas últimas presentaron características de "indicador biológico" de masas de aguas cálidas y coincidieron con los registros de especies mencionadas en el listado, esto es: *Amphisolenia bidentata*, *Blepharocysta splendor-maris*, *Ceratocorys horrida*, *Gonyaulax fragilis*, *Gonyaulax sphaeroidea*, *Gymnodinium splendens*, *Heterocapsa niei*, *Lingulodinium polyedra* (= *Gonyaulax polyedra*), *Ornithocercus quadratus*, *O. magnificus*, *O. steinii*, *Oxytoxum turbo*, *Prorocentrum gracile*, *Protoperidinium elegans*, *Tripes brevis* (= *Ceratium breve*), *T. eugrammus* (= *C. furca* var. *furca*), *T. extensus* (= *C. extensum*), *T. fusus* (= *C. fusus* var. *seta*), *T. longirostrum* (= *C. longirostrum*), *T. muellerii* (= *Ceratium tripes* var. *tripos*) y *T. trichoceros* (= *C. trichoceros*) (Vizcaíno-Bravo, 1993; Medina, 1998; Uribe-Palomino, 2003).

Aportes al conocimiento de los FAN

Dentro de la comunidad fitoplanctónica se encuentran las diatomeas como microalgas potencialmente generadoras de FAN. Aunque son muy pocas, se destacan algunas especies de los géneros *Pseudosolenia*, *Chaetoceros*, *Leptocylindrus*, *Cerataulina* y *Cylindrotheca*, reconocidas por producir sustancias mucilaginosas que facilitan el agotamiento de oxígeno, provocando así anoxia e hipoxia en la columna de agua. Este fenómeno se ha consolidado como una problemática mundial que incide en la pérdida de hábitats bentónicos y de la diversidad de fauna, por lo que constituye una potencial amenaza para la biodiversidad marina (Sarkar, 2018).

Por otro lado, se han reconocido también en la bahía diatomeas potenciales generadoras de toxinas. Tal es el caso del complejo de especies de *Pseudo-nitzschia*, que tienen la capacidad de sintetizar una neurotoxina llamada ácido domoico, responsable de la intoxicación amnésica por mariscos, al igual que *Ditylum sol*, generadora de ictiotoxinas que provocan mortandad de peces durante la ocurrencia de estas proliferaciones (Sarkar, 2018; Al-Yamani y Saburova, 2019b). Igualmente, se han determinado dinoflagelados generadores de toxinas que pueden a su vez ocasionar FAN y, de esta manera, afectar el medio ambiente y causar problemáticas de salud pública, así como económicas, en el sector turístico y pesquero (Mancera-Pineda et al., 2009). Por último, en Tumaco se registraron especies de los géneros *Gymnodinium*, *Akashiwo*, *Heterocapsa*, *Prorocentrum*, *Alexandrium*, *Gonyaulax*, *Lingulodinium*, *Tripas*, *Dinophysis* y *Phalacroma*, las cuales se asocian con la producción de ácido domoico, dinotoxinas, pectitoxinas, yesotoxinas, saxitoxinas, toxinas de acción rápida e incluso toxinas desconocidas (Allen, 2018; Al-Yamani y Saburova, 2019a).

Limitación en los métodos aplicados

En el Pacífico colombiano, los trabajos con fitoplancton han sido limitados al análisis de microorganismos de un tamaño $>20 \mu\text{m}$ (LeGresley y McDermott, 2010), dejando a un lado las especies de menor tamaño como el nanoplancton (de 2 a 20 μm) y el picoplancton o bacterioplancton (células inferiores a 2 μm), que generalmente constituyen la biomasa más abundante del océano (Malone, 1971). Esto se debe a la dificultad que implica trabajar con microorganismos $<20 \mu\text{m}$, ya que es necesario el uso de herramientas moleculares y de microscopía electrónica de barrido para la identificación y caracterización de las especies. Además, estos suelen escapar con frecuencia al

recuento e identificación, sesgando una parte importante de la muestra. Por estas razones, entre otras, los métodos utilizados (cámara Sedgwick Rafter y gota a gota) pueden resultar inadecuados.

Asimismo, el uso exclusivo de microscopía óptica en todos los estudios realizados representa una gran dificultad puesto que en muchas especies de microalgas es necesario observar estructuras diagnósticas que solo son discernibles en microscopía electrónica de barrido o transmisión, dejando en cierto grado de incertidumbre la identificación de muchas de las especies, especialmente dinoflagelados tecados o atecados y algunas especies de diatomeas como las de los géneros *Coscinodiscus* y *Pseudo-nitzschia*.

Conclusiones

Este listado florístico dista de estar completo. El escaso número de especies de dinoflagelados desnudos y de algunos géneros como *Coscinodiscus*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros* y *Cocconeis* permite inferir un posible incremento de las especies en futuros estudios. La implementación de una adecuada metodología de recuento e identificación (por ejemplo: cámara Utermöhl) permitirá detectar microorganismos nanoplanctónicos, fundamentales para conocer la dinámica de la producción primaria en los océanos. Esto también se logrará con el uso de la microscopía electrónica de barrido o de transmisión y la aplicación de herramientas moleculares.

El monitoreo de especies FAN permite generar medidas de prevención y control frente a efectos negativos y pérdidas económicas. También se pueden implementar herramientas tecnológicas para la detección de toxinas. Es importante generar una colección de referencia con material fijado, placas semipermanentes y una iconoteca, de forma que sea posible corroborar la identidad de los registros de la bahía de Tumaco y la cuenca pacífica colombiana.

Agradecimientos

A la dirección general marítima-DIMAR por el apoyo y la financiación de los proyectos Antares, calidad de agua y prevención de la contaminación biológica transferida por el tráfico marítimo internacional a través de la bioincrustación y otros vectores (agua, sedimentos de lastres), Así como agradecer al personal del área de protección al medio marino-APROMM, al Laboratorio del centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas del Pacífico-CCCP; al profesor Luis Alfonso Vidal Velásquez (Q.E.P.D) por la colaboración en la

identificación de algunas especies, a Mauricio Alejandro Perea Ardila por la elaboración del mapa.

Referencias

- Abarca, N., Zimmermann, J., Kusber, W., Mora, D., Van, A., Skibbe, O. y Jahn, R. 2020. Defining the core group of the genus *Gomphonema* Ehrenberg with molecular and morphological methods. *Botany Letters* 167 (1): 114-159. Doi: <https://doi.org/10.1080/23818107.2019.1694980>.
- Agardh, C.A. 1824. *Systema algarum*. Lundae: Literis Berlingianis, Berling.
- Al-Yamani, F. y Saburova, M.A. 2019a. *Marine phytoplankton of Kuwait's waters. Volume I. Cyanobacteria, Dianoflagellates, Flagellates*. Waves Press, Kuwait.
- Al-Yamani, F. and Saburova, M.A. .2019. *Marine phytoplankton of Kuwait's waters. Volume II. Diatoms*. Waves Press, Kuwait
- Allen, J. 2018. Chapter I. HABSOS Initiative: Training Programs for the Identification of Harmful Algae. En: Steidinger, K.A. y Meave del Castillo, M.E., Editores. *Guide to the Identification of Harmful Microalgae in the Gulf of Mexico, Volume I: Taxonomy*. Fish and Wildlife Conservation Commission, Fish and Wildlife Research Institute; Florida.
- Antonietti, E., Villanueva, P., Delgado, E. y Chang, F. 1993. Organismos indicadores: dinoflagelados indicadores de El Niño 1991-1992. *Boletín ERFEN* 1:20-22.
- Arosemena, D., Cárdenas, H., Garzón, F., Ibáñez, F., Morenos, C. y Sierra, J. 1973. Algunos dinoflagelados y diatomeas de la bahía de Cartagena y sus alrededores. *Informe Museo Marino* 8: 11.
- Arias, F.A. y Durán, J.C. 1984. Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográfica del Caribe* (5): 61-116. Doi: <http://doi:10.26640/22159045.17>.
- Ashworth, M.P., Nakov, T. y Theriot, E.C. 2013. Revisiting Ross and Sims (1971); toward a molecular phylogeny of the Biddulphiaceae and Eupodisceae (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology* 49(6): 1207-1222. Doi: <http://doi:10.1111/jpy.12131>.
- Balech, E. 1988. *Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental*. Instituto Español de Oceanografía, Madrid.
- Blanco, S. y Wetzel, C.E. 2016. Replacement names for botanical taxa involving algal genera. *Phytotaxa* 266(3): 195-205.
- Brunel, J. 1962. Le phytoplancton de la Baie des Chaleurs. *Contributions du Ministère de la Chasse et des Pêcheries* 91: 1-365.
- Calado, A. y Huisman, J. 2010. Commentary: Gómez, F., Moreira, D., and López-García, P. (2010). *Neoceratium* gen. nov., a new genus for all marine species currently assigned to *Ceratium* (Dinophyceae). *Protist* 161:35-54. *Protist* 161: 517-519. Doi: <http://doi:10.1016/j.protis.2010.04.003>
- Calderón, S. E. 1979. Contribución al conocimiento del fitoplancton nerítico de Tumaco y alrededores. Tesis de pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Cali, Valle del Cauca. Colombia.
- Carreto, J., Montoya, N. y Carignan, M. 2008. Florecimientos de algas nocivas. Atlas de sensibilidad ambiental del mar y costa. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar de Plata.
- Castillo, F.A. y Vizcaino, Z. 1992. Los indicadores biológicos del fitoplancton y su relación con el fenómeno de El Niño 1991-92 en el Pacífico colombiano. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe* (12): 13-22. <https://doi.org/10.26640/01200542.12.13.22>.
- Castillo, F.A. y Vizcaino, B. 1993. Observación del fitoplancton del Pacífico colombiano durante 1991-1992 en condiciones El Niño. *Bulletin Institute France*: 179-190.
- Caycedo, I.E. 1977. Fitoplancton de la Bahía de Nenguange (Parque Nacional Tayrona). mar Caribe, Colombia. *Instituto de Investigaciones Marinas* 9: 17-44. Doi: <http://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1977.9.0.518>.
- Collazos, A. 1992. Contribución al estudio del fitoplancton en la ensenada de Tumaco (Pacífico colombiano). Tesis de pregrado. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Compère, P. 2001. Ulnaria (Kützing) Compère, a new genus name for *Fragilaria* subgen. *Alterasynedra* Lange-Bertalot with comments on the typification of *Synedra* Ehrenberg. In: Jahn, R., Kocielek, J.P., Witkowski, A. y Compère, P. Editores. *Studies on diatoms dedicated to Prof. Dr. Dr. h.c. Horst Lange-Bertalot on the occasion of his 65th birthday*. Ruggell Gantner Königstein Koeltz Scientific Books, Berlin.
- Cox, E.J. 1982. Taxonomic studies on the diatom genus *Navicula* Bory. IV. *Climaconeis* Grun., a genus including

- Okedenia inflexa* (Bréb.) Eulenz. ex De Toni and members of *Navicula* sect. Johnsonieae sensu Hustedt, *British Phycological Journal* 17(2): 147-168. Doi: <https://doi.org/10.1080/0007161820065016>.
- Cleve, P.T. y Grunow, A. 1880. Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar* 17(2): 1-121.
- Cleve, P.T. 1904. *Plankton table for the North Sea. Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*. University of the California Libraries. California.
- Cupp, E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. University of the California Press. Berkeley and Los Angeles.
- Crawford, R. y Sims, P.A. 2006. The diatoms *Radialiplicata sol* (Ehrenberg) Glezer and *R. clavigera* (Grunow) Glezer and their transfer to *Ellerbeckia* Crawford, thus a genus with freshwater and marine representatives. *Nova Hedwigia, Beiheft* 130: 137-162.
- Daugbjerg, N., Hansen, G., Larsen, J. y Moestrup, Ø. 2000. Phylogeny of some of the major genera of dinoflagellates based on ultrastructure and partial LSU rDNA sequence data, including the erection of three new genera of unarmoured dinoflagellates. *Phycologia* 39(4): 302-317. Doi: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-39-4-302.1>.
- Desianti, N., Potapova, M. y Beals, J. 2015. Examination of the type materials of diatoms described by Hohn and Hellerman from the Atlantic Coast of the USA. *Diatom Research* 30(2): 93-116. Doi: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2014.1000020>.
- Devis-Morales, A. 2002. Análisis de las condiciones oceanográficas y meteorológica de la bahía de Tumaco y su relación con eventos de escala global. *Boletín Científico Centro de Control de Contaminación del Pacífico* (9): 1-21. Doi: <https://doi.org/10.26640/01213423.9.5.18>.
- Dodge, J. D. 1981. Three new generic names in the Dinophyceae: *Herdmania*, *Clerodinium* and *Triadinium* to replace *Heteraulacus* and *Goniodoma*. *British Phycological Journal* 16: 273-280. <https://doi.org/10.1080/00071618100650291>.
- Ehrenberg, C.G. 1844. Mittheilung über 2 neue Lager von Gebirgsmassen aus Infusorien als Meeres-Absatz in Nord-Amerika und eine Vergleichung derselben mit den organischen Kreide-Gebilden in Europa und Afrik. Bericht über die zur Bekanntmachung Geeigneten Verhandlungen der Königl. Preuss. Akademie Der Wissenschaften zu Berlin. Berlin.
- Falkowski, P., Katz, M., Knoll, A., Quigg, A. Raven, J., Scholfield, O y Taylor, F. 2004. The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *Science* 305: 354-360. Doi: <http://doi:10.1126/science.1095964>.
- Fenchel, T. 1988. Marine plankton food chains. *Annual Review of Ecology and Systematics* 19 (1): 19-38. Doi: <http://doi:10.1146/annurev.es.19.110188.000315>.
- Field, C., Behrenfeld, M., Randerson, J. y Falkowski P. 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281: 237-240. Doi: <http://doi:10.1126/science.281.5374.237>.
- Garay-Tinoco, J.A., Gómez López, D. I. y Ortiz Galvis, J.R. 2006. Diagnóstico integral biofísico y socioeconómico relativo al impacto de 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 Control Contaminación del Pacífico CCCP- Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO, Santa Marta.
- García-Hansen, I. 2009. The effects of climate variability on the structure of the phytoplankton community in Tumaco Bay, Colombia. Tesis de doctorado. University of Southern Mississippi. URL: <https://aquila.usm.edu/dissertations/1035/>. Consultado 17 de septiembre 2020.
- García-Hansen, I., Cortés-Altamirano, R. y Sierra-Beltrán, A. 2004. La marea roja causada por el dinoflagelado *Alexandrium tamarense* en la costa pacífica colombiana (2001). *Revista de Biología Tropical* 52: 59-68.
- Giraldo-López, A. y Ramírez, D.G. 2010. Fitoplancton costero en Cabo Marzo y Punta Cruces, margen nororiental del Océano Pacífico colombiano. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográfica del Caribe* (28): 173-203. Doi: <http://doi:10.26640/01200542.28.173.203>.
- Giraldo, A., Valencia, B., Acevedo, J.D. y Rivera, M. 2014. Fitoplancton y zooplancton en el área marina protegida de Isla Gorgona, Colombia y su relación con variables oceanográficas en estaciones lluviosa y seca. *Revista Biológica Tropical* 62 (1):117-132. Doi: <http://doi:10.15517/RBT.V62I0.15982>.
- Gómez, F. 2021. Speciation and infrageneric classification in

- the planktonic dinoflagellate *Tripos* (Gonyaulacales, Dinophyceae). *Current Chinese Science* 1 (3): 346-372. Doi: <https://doi.org/10.2174/2210298101999210101231020>.
- Gómez, F., Wang, L., Hernández-Becerril, D.U., Lisunova, Y.O., Lopes, R.M. y Lin, S. 2017. Molecular phylogeny suggest transfer of *Hemidiscus* into *Actinocyclus* (Coscinodiscales, Coscinodiscophyceae). *Diatom Research* 32 (1): 21-28. Doi: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2017.1313783>.
- Gómez, F., López-García, P., Takayama, H. y Moreira, D. 2015. Balechina and the new genus *Cucumeridinium* gen. nov. (Dinophyceae), unarmored dinoflagellates with thick cell coverings. *Journal of phycology* 51 (6): 1088-1105. Doi: <http://doi.org/10.1111/jpy.12346>.
- Gómez, F. 2012. A checklist and classification of living Dinoflagellates (Dinoflagellata, Alveolata). *CICIMAR Oceanides* 27(1): 67-140. Doi: <http://doi:10.37543/oceanides.v27i1.111>.
- Gómez, F. 2013. Reinstatement of the Dinoflagellate genus *Tripos* to replace *Neoceratium*, marine species of *Ceratium* (Dinophyceae, Alveolata). *CICIMAR Oceanides* 28 (1): 1-22. Doi: <http://doi:10.37543/oceanides.v28i1.119>.
- Gómez, F. 2021. Speciation and infrageneric classification in the planktonic dinoflagellate *Tripos* (Gonyaulacales, Dinophyceae). *Current Chinese Science* 1 (3): 346-372. <https://doi.org/10.2174/2210298101999210101231020>.
- Gómez, F., Moreira, D. y López-García, P. 2010. *Neoceratium* gen. nov., a new genus for all marine species currently assigned to *Ceratium* (Dinophyceae). *Protist* 161 (1):35-54. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.protis.2009.06.004>.
- Gómez, F., López-García, P., Takayama, H. y Moreira, D. 2015. Balechina and the new genus *Cucumeridinium* gen. nov. (Dinophyceae), unarmored dinoflagellates with thick cell coverings. *Journal of Phycology* 51 (6): 1088-1105. Doi: <http://doi.org/10.1111/jpy.12346>.
- Gómez, F., Wang, L., Hernández-Becerril, D.U., Lisunova, Y.O., Lopes, R.M. y Lin, S. 2017. Molecular phylogeny suggest transfer of *Hemidiscus* into *Actinocyclus* (Coscinodiscales, Coscinodiscophyceae). *Diatom Research* 32 (1): 21-28. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2017.1313783>.
- Gottschling, M., Čalasan, A., Kretschmann, J. y Gu, H. 2017. Two new generic names for dinophytes harbouring a diatom as an endosymbiont, *Blixaea* and *Unruhadinium* (Kryptoperidiniaceae, Peridinales). *Phytotaxa* 306 (4): 296-300. Doi: <http://doi.org/10.11646/phytotaxa.306.4.6>.
- Grados, C., Chaigneau, Echevin, V. y Dominguez, N. 2018. Upper ocean hydrology of the Northern Humboldt Current System at seasonal, interannual and interdecadal scales. *Progress in Oceanography* 165: 123-144. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.05.005>.
- Gregory, W. 1857. On the post-Tertiary diatomaceous sand of Glenshira. Part II. Containing an account of a number of additional undescribed species. *Transactions of the Microscopical Society of London* 5: 67-88.
- Guillard, R. 1978. Counting slides: The Sedgwick-Rafter Slide. En: Sournia, A., Editor. *Phytoplankton manual*. Unesco, París.
- Guiry, M.D. 2019. Nomenclatural notes on two chain-forming marine diatoms described by O.F. Müller. *Notulae Algarum* 92: 1-3.
- Guiry, M. y Guiry, G. 2018. AlgaeBase. Worldwide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <https://www.algaebase.org/>. Consultado 6 enero 2018.
- Guiry, M. y Guiry, G. 2020. AlgaeBase. Worldwide electronic publication, National University of Ireland, Galway URL: <https://www.algaebase.org/>. Consultado: 25 septiembre 2020.
- Guiry, M. y Guiry, G. 2021. AlgaeBase. Worldwide electronic publication, National University of Ireland, Galway URL: <https://www.algaebase.org/>. Consultado: 23 marzo de 2021.
- Guzmán, A., Zambrano-Ortiz, M., Casanova-Rosero, R., Selvaraj, J. y Martínez, A. 2014. La condición ecológica de la bahía de Tumaco (Pacífico colombiano): evaluación de la calidad del agua y del fitoplancton. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográfica del Caribe* 32: 3-16. Doi: <http://doi:10.26640/01200542.32.3.16>.
- Hallegraeaf, G., Eriksen, R., Davies, C., Slotwinski, A., McEnulty, F., Coman, F., Uribe-Palomino, J., Tonks, M. y Richardson, A. 2020. The marine planktonic dinoflagellate *Tripos*. 60 years of species-level distributions in Australian waters. *Australian Systematic Botany* 33: 392-411. Doi: <http://doi.org/10.1071/SB19043>.
- Hasle, G.R. y Sims, P. A. 1986. The diatom genera *Stellarima* and *Symbolophora* with comments on the genus *Actinoptychus*. *British Phycological Journal* 21(1): 97-114.
- Hasle, G.R. y Syvertsen, E.E. 1997. The Planktonic marine flagellates. En: Tomas, C. Editor. *Identifying marine phytoplankton*. Elsevier, San Diego.

- Hasle, G.R. y Fryxell, G.A. 1977. The genus *Thalassiosira*. some species with a linear areola array. In: Simonsen, R. Editor. *Proceedings of the Fourth Symposium on Recent and Fossil Marine Diatoms*, Beihefte zur Nova Hedwigia, Oslo.
- Higuera, P.J.R. y Ortiz, J.R. 2007. Comportamiento del fitoplancton durante el evento ENOS en el océano Pacífico colombiano. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 6: 5–15.
- Holstein, J. 2018. worms: Retriving Aphia Information from World Register of Marine Species. R package version 0.2.2. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=worms>. Consultado: 25 septiembre 2020.
- Hovasse, R. 1946. Flagellés à squelette siliceux: silicoflagellés et Ébridés provenant du plancton recueilli au cours des campagnes scientifiques du Prince Albert 1er de Monaco (1885-1912). *Resultes Campagnes Sci. Monaco* 107: 1-20.
- Jiménez, R. 1983. Diatomeas y silicoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil: I Edición. *Acta Oceanográfica del Pacífico* 19 (1): 1-89.
- Jones, D. A., Ealey, B., Livesey, S. y Al-Jamali, F. 2007. Gulf desert developments encompassing a marine environment, a compensatory solution to the loss of coastal habitats by infill and reclamation: The case of the Pearl City Al-Khiran, Kuwait. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 10(3): 268–276. Doi: <https://doi.org/10.1080/14634980701512814>.
- Karajeva, N.I. 1978. New genus of the family Naviculaceae West. *Botanicheskii Zhurnal* 63 (11): 1593-1596.
- Komárek, J., Kaštovský, J., Mareš, J. y Johansen J.R. 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes 2014 using a polyphasic approach. *Preslia* 86 (4): 295-335.
- Kretschmann, J., Elbrächter, M., Zinssmeister, C., Soehner, S., Kirsch, M., Kusber, W.H. y Gottschling, M. 2015. Taxonomic clarification of the dinophyte *Peridinium acuminatum* Ehrenberg, = *Scrippsiella acuminata*, comb. nov. (Thoracosphaeraceae, Peridinales). *Phytotaxa* 220(3): 239-256. Doi: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.220.3.3>.
- Lauder, H.S. 1864. Remarks on the marine Diatomaceae found at Hong Kong, with descriptions of new species. *Transactions of the Microscopical Society of London, New Series* 12: 75-79. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.1864.tb01628.x>.
- LeGresley, M., y McDermott, G. 2010. Counting chamber methods for quantitative phytoplankton analysis—haemocytometer, Palmer-Maloney cell and Sedgewick-Rafter cell. UNESCO (IOC manuals and guides).
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L. A. y Gabriel, R. N. S. 2011. Lista de especies de dinoflagelados (Dinophyta) registrados en el mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 40(2): 361–380. Doi: <http://doi:10.25268/bimc.inveemar.2011.40.2.116>.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L.A. y Navas, G. R. 2010. Listado de especies de diatomeas (Bacillariophyta) registrados en el mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 39 (1): 83–116. Doi: <http://doi:10.25268/bimc.inveemar.2010.39.1.144>.
- Malone, T.E. 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. *Limnology y Oceanography* 16: 633-639.
- Mancera-Pineda, J.E., Gavio, B. y Arencibia-Caraballo, G. 2009. Floraciones algales nocivas, intoxicación por microalgas e impactos en el desarrollo regional: El caso de San Andrés Isla, Caribe colombiano. *Cuadernos del Caribe* 7 (13): 46–62.
- Margalef, R. 1957. Fitoplancton de las costas de Puerto Rico. *Revista de investigación pesquera* 6: 39-52.
- Marsson, T. 1901. Diatomaceen von Neu-Vorpommern, Rügen und Usedom. *Zeitschrift für Angewandte Mikroskopie und Klinische Chemie* 6: 253-268.
- Medina, L. 1997. Composición y comportamiento del fitoplancton en el área del Pacífico colombiano, años 1995-1997. *Boletín Científico Centro de Control de Contaminación del Pacífico* 6: 95–108. Doi: http://doi.org/10.26640/01213423.6.95_108.
- Medina, C. L. 1998. Cambios en la composición y abundancia de la comunidad microalgal del Pacífico colombiano, en relación con el evento " El Niño " 97-98. *Boletín Científico Centro de Control de Contaminación del Pacífico* 7: 58–66. URL: Doi: https://doi.org/10.26640/01213423.7.58_66.
- Medlin, L.K. y Kaczmarek, I. 2004. Evolution of the diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. *Phycologia* 43(3): 245–270. Doi: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-43-3-245.1>.
- Mereschkowsky, C. 1903. K morfologii diatomovykh vodoroslei: Morphology of the diatom algae: Part II. Uchenye zapiski Kazanskogo Gosudarstvennogo Univer. im. V.I. Ulyanova-

Lenina, Botanika 70 (11): 33-252.

Morón, O. 2011. *Climatología de la salinidad superficial del mar frente a la costa peruana. 1960-2008*. Instituto del Mar del Perú 38 (1). Informe Imarpe, Lima.

Nizamuddin, M. 1983. New combinations of diatoms found in Libya. *Nova Hedwigia Beiheft* 36 (2-4): 703-707.

Ochoa, N. y Gómez, O. 1997. Dinoflagelados del mar peruano como indicadores de masas de agua durante los años 1982 a 1985. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 16(2):1-60.

Ochoa, N., De Mendiola, R.B. y Gómez O. 1985. Identificación del Fenómeno de EL Niño a través de los organismos fitoplanctónicos. *Boletín Instituto del Mar del Perú*. 23-31.

Ochoa, J. L., Nuñez-Vasquez, E. y Saad, J. 2003. Diferentes términos utilizados para describir las "Mareas Rojas". *Revista de Biología Tropical* 51 (3): 621-627.

Ojeda-Rodríguez, A. 1998. Dinoflagelados de Canarias: estudio taxonómico y ecológico. Tesis de Doctorado. Universidad de las palmas de Gran Canarias. Las Palmas de Gran Canarias.

Okolodkov, Y. 2008. *Protoperidinium* Bergh (Dinophyceae) del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México, con clave de identificación. *Acta Botánica Mexicana* (84): 93-149. Doi: <https://doi.org/10.21829/abm84.2008.1068>.

Okolodkov, Y. 2010 *Ceratium* Schrank (Dinophyceae) del parque nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México, con clave para identificación. *Acta Botánica Mexicana* 93: 41-101. Doi: <https://doi.org/10.21829/abm93.2010.275>.

Osorio-Cardoso, J. S. 2019. Comunidad fitoplanctónica de tres áreas portuarias del Pacífico colombiano y su relación con algunas variables ambientales, inclusive el tráfico marino. Tesis de maestría, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Peña, V. y Pinilla, G.A. 2002. Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la ensenada de Utría, Pacífico colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 37 (1): 67-81. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572002000100008>.

Poulin, M., Bérard-Therriault, L., Cardinal, A. y Hamilton, P.B. 1991. Les Diatomées (Bacillariophyta) benthiques de substrats durs des eaux marines et saumâtres du Québec. 9. Bacillariaceae. *Le Naturaliste Canadien* 117(2): 73-101.

Reid, G. 2012. A revision of the family Pleurosigmales (Bacillariophyta). Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G. Alemania.

Reimann, B.E.F. y Lewin, J.C. 1964. The diatom genus *Cylindrotheca* Rabenhorst. *Journal of the Royal Microscopical Society* 83(3): 283-296.

Ricard, M. 1987. *Atlas du Phytoplankton Marin. Vol. 2. Diatomophycées*. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.

Round, F.E. y Mann, D.G. 1980. *Psammodiscus* nov. gen. based on *Coscinodiscus nitidus*. *Annals of Botany* 46: 367-373.

Round, F.E., Crawford, R.M. y Mann, D.G. 1990. *Diatoms: Biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge.

Ruck, E.C., Nakov, T., Alverson, A.J. y Theriot, E.C. 2016. Nomenclatural transfers associated with the phylogenetic reclassification of the Surirellales and Rhopalodiales. *Notulae Algarum* 10: 1-4.

Santos, B.Y. 2015. Morfología del margen continental del Pacífico colombiano en los sectores de bahía Solano y Tumaco. *Boletín Científico CIOH* 33: 169-186. Doi: <http://doi.org/10.26640/22159045.284>.

Sarkar, S.K. 2018. *Marine Algal Bloom: Characteristics, Causes and Climate Change Impacts*. Springer, Singapore.

Sanders, R.W. 1991. Mixotrophic protists in marine and freshwater ecosystems. *The Journal of protozoology* 38(1): 76-81. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1991.tb04805.x>.

Simonsen, R. 1979. The diatom system: ideas on phylogeny. *Bacillaria* 2: 9-71.

Sims, P.A., Williams, D.M. y Ashworth, M. 2018. Examination of type specimens for the genera *Odontella* and *Zygoceros* (Bacillariophyceae) with evidence for the new family Odontellaceae and a description of three new genera. *Phytotaxa* 382(1): 1-56. Doi: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.382.1.1>.

Siver, P. y Hamilton, P.B. 2005. Observation on new and rare species of freshwater diatoms from Cape Cod, Massachusetts, USA. *Canadian Journal of Botany* 83: 362-378. <https://doi.org/10.1139/b05-010>.

Skvortzov, B.V. 1931. Marine diatoms from Formosa Strait. *Philippine Journal of Science* 47(1): 151-161.

Smayda, T.J. 1963. A quantitative analysis of the phytoplankton of the Gulf of Panama: I. Results of the regional phytoplankton surveys during July and November 1957 and March 1958.

- Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin* 7(3): 191–253.
- Sournia, A. 1986. *Atlas du phytoplancton marin. Volume 1. Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et raphidophycées*. Éditions du centre national de la recherche scientifique, Paris.
- Stoecker, D. K. 1998. Conceptual models of mixotrophy in planktonic protists and some ecological and evolutionary implications. *European Journal of Protistology* 34(3): 281–290. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0932-4739\(98\)80055-2](https://doi.org/10.1016/S0932-4739(98)80055-2).
- Suárez, B. y Guzmán, L. 2005. *Floraciones de Algas Nocivas: Mareas Rojas y Toxinas Marinas*. Santiago: Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Tangen, S. 1978. Sampling techniques: Nets. En: Sournia, A., Editor. *Phytoplankton manual*. Unesco. París.
- Taylor, F.J.R. 1976. *Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition*. Bibliotheca Botanica, Stuttgart.
- Tempère, J. y Peragallo, H. 1909. *Diatomées du Monde Entier*. Edition 2. 30 fascicules, Paris.
- Thomas, W.H. 1969. Phytoplankton nutrient enrichment experiments off Baja California and in the eastern equatorial Pacific Ocean. *Journal of the Fisheries Board of Canada* 26(5): 1133–1145. Doi: <https://doi.org/10.1139/f69-104>.
- Thornton, D.C.O. 2012. *Primary production in the ocean. In Advances in Photosynthesis-Fundamental Aspects*. Intech Open, London.
- Thronsdén, J. 1978. Preservation and storage. En: Sournia, A., Editor. *Phytoplankton manual*. París.
- Thronsdén, J. 1997. The Planktonic marine flagellates. En: Tomas, C., Editor. *Identifying marine phytoplankton*. Elsevier. San Diego, California.
- Tomas, C.R. 1997. *Identifying marine phytoplankton*. Elsevier. San Diego.
- Uribe-Palomino, H.J. 2003. Relaciones entre las condiciones ambientales y la comunidad fitoplanctónicas (Diatomeas y dinoflagelados) en la Cuenca del Pacífico colombiano. Tesis de Pregrado. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Van Heurck, H. 1885. *Synopsis des Diatomées de Belgique*. Anvers: Martin Brouwers & Co, Belgique.
- Van Heurck, H. 1909. *Expédition Antarctique Belge, Résultats du Voyage du S.Y. Belgica en 1897-1898-1899*. Rapports Scientifiques. Botanique, Diatomées, Belgique.
- Venrick, E. 1978. Sampling techniques: Water-bottles. En: Sournia, A. Editor. *Phytoplankton manual*. Unesco, París.
- Vidal-Velásquez, L.A. 2010. *Manual de fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta.
- Vidal, L.A. y Carbonell, M.C. 1977. Diatomeas y dinoflagelados de la Bahía de Cartagena. Tesis de pregrado de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Vizcaino-Bravo, Z. 1993. Fitoplancton del Pacífico colombiano como indicador biológico del Fenómeno El Niño. Tesis de pregrado. Facultad de Biología. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Winder, M. y Sommer, U. 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia* 698(1): 5–16. Doi: <http://doi:10.700/s10750-012-1149-2>.
- Witkowski, A., Lange-Bertalot, H. y Metzeltin, D. 2000. Diatom flora of marine coasts I. *Iconographia Diatomologica* 7: 1-925.
- World Register of Marine Species. 2021. Available from URL: <https://www.marinespecies.org>. Consultado: 10 de febrero 2021.

Citar como: Hoyos -Acuña, J.J. Quintana-Manotas, H.L., Bermúdez-Rivas, C., Molina-Triana, A.F. Castrillón, F. A. y Parada-Gutiérrez, J.L. Felipe Fredy Albeiro Castrillón y Jenny Lisbeth. 2021. Listado de especies de fitoplancton en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Intropica* 16(2): 214 - 231. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4064>.

Material suplementario. Listado de especies fitoplancton registradas en la bahía de Tumaco. Cuando el nombre de la especie ha cambiado, se escribe los nombres actualizados y se indica con el símbolo “=” seguido por el sinónimo de la especie. Hábitat de las especies: dulceacuícola (DUL), bentónicos (BEN), estuarinos (ES), costeros (COS), desconocidos (D), litorales (LI), marinos (M), neríticos (NE), oceánicos (O), planctónicos (PL) y Salobres (S). Especies productoras de florecimientos algales nocivos-FAN: especies nociva (anoxia e hipoxia) (AH), ácido domoico (DA), ácido okadaico (AO), dinophysitoxina (DTX), especie acompañante en FAN (EA), toxina de acción rápida (FAT), hemolítica (HEM), ictiotoxina (IT), toxina no conocida (NTK), pectinotoxina (PTX), saxitoxina (STX) y yessotoxina (YTX).

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Cyanophyta			
Cyanophyceae			
Nostocophycideae			
Nostocales			
Nostocaceae			
<i>Anabaena</i> sp Bory ex Bornet & Flahault 1886	ES	AH	Collazo (1992); Guzmán <i>et al.</i> (2014); presente estudio
Oscillatophycideae			
Chroococcales			
Chroococcaceae			
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli 1849	ES	NF	Guzmán <i>et al.</i> (2014); Osorio-Cardoso (2019)
Cyanotrichaceae			
<i>Johannesbastiptia</i> sp G. De Toni 1934	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Oscillatoriales			
Oscillatoriaceae			
<i>Lyngbya</i> sp C. Agardh ex Gomont 1892	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Oscillatoria</i> sp Vaucher ex Gomont 1892	ES	AH	Calderón (1979); Guzmán <i>et al.</i> (2014); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Phormidium</i> sp Kützing & Gomont 1892	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Gomontiellaceae			
<i>Komvophoron crassum</i> (Vozzhennikova) Anagnostidis & Komáček 1988	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Synechococcophycidae			
Synechococcoales			
Merismopediaceae			
<i>Merismopedia</i> sp Meyen 1839	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Chlorophyta			
Trebouxiophyceae			
Chlorellales			
Chlorellaceae			
<i>Chlorella</i> sp Beyerinck [Beyerinck] 1890	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Charophyta			
Zygnematophyceae			
Desmidiiales			
Desmidiaceae			
<i>Closterium kuetzingii</i> Brébison 1856	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Closterium</i> sp Nitzsch ex Ralfs, 1848	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Staurastrum</i> sp Meyen ex Ralfs 1848	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Gonatozygaceae			
<i>Gonatozygon pilosum</i> Wolle 1882	DUL	NF	Calderón (1979)
<i>Gonatozygon</i> sp De Bary, 1858	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Zygnematales			
Zygnemataceae			
<i>Mougeotia</i> C. Agardh 1824	DUL	NF	Calderón (1979)
Euglenozoa			
Euglenophyceae			
Euglenophycidae			
Euglenida			
Euglenidae			
<i>Euglena</i> sp Ehrenberg 1830	DUL	NF	Presente estudio
Haptophyta			
Coccolithophyceae			
Phaeocystales			
Phaeocystaceae			
<i>Phaeocystis</i> sp Lagerheim 1893	NE, ES y OC	AH	Collazos (1992)
Ochrophyta			
Dictyochophyceae			
Dictyochales			
Dictyochaceae			
<i>Dictyocha fibula</i> Enrenberg 1839	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Octatis octonaris</i> (Ehrenberg) Hovasse 1946 = <i>Dictyocha octonaria</i> (Ehrenberg) 1844	D	NF	Calderón, 1979; presente estudio
Bacillariophyta			
Coscinodiscophytina			
Coscinodiscophyceae			
Archaeogladiopsophycidae			
Stephanopyxales			
Hydroseraceae			
<i>Hydrosera</i> sp. Wallich 1858	D	NF	Presente estudio
Stephanopyxidaceae			
<i>Eupixidicula palmeriana</i> (Greville) S. Blanco & C.E. Wetzel 2016 = <i>Stephanopyxis palmeriana</i> (Greville) Grunow 188	NE	NF	García-Hansen (2009); presente estudio

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Eupyxidicula nipponica</i> (Gran & Yendo) S. Blanco & C. E. Wetzel 2016 = <i>Stephanopyxis turris</i> Gran & Yendo 1914	NE	NF	Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Eupyxidicula turris</i> (Greville) S. Blanco & C. E. Wetzel 2016 = <i>Stephanopyxis turris</i> (Greville) Ralfs 1861	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
Asteriolamprales			
Asteriolampraceae			
<i>Asterolampra</i> sp Ehrenberg 1844	D	NF	Presente estudio
<i>Asteromphalus cleveanus</i> Grunow 1876	NE y OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Asteromphalus elegans</i> Cleve 1859	D	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009)
<i>Asteromphalus flabellatus</i> (Brébisson) Greville 1859	D	NF	Calderón (1979); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Asteromphalus heptactis</i> (Brébisson) Ralfs 1861	D	NF	García-Hansen (2009)
Aulacoseirales			
Aulacoseiraceae			
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979 = <i>Melosira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs 1861	ES	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Corethrophyceae			
Corethrales			
Corethraceae			
<i>Corethron pennatum</i> (Grunow) Ostenfeld 1909 = <i>Corethron criophilum</i> Castracane 1886	NE y OC.	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019)
Coscinodiscophycidae			
Coscinodiscales			
Aulacodiscaceae			
<i>Aulacodiscus argus</i> (Ehrenberg) A. W. F. Schmidt 1886	D	NF	Calderón (1979)
<i>Aulacodiscus kittonii</i> Arnott Ex Ralfs 1861	D	NF	Presente estudio
Coscinodiscaceae			
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg 1884	M y OC	NF	Calderón (1979); Collazos (1992) presente estudio
<i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg 1839	OC	NF	Calderón (1979); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Coscinodiscus concinnus</i> W. Smith 1856	NE	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Coscinodiscus excavatus</i> Greville ex Ralfs 1861	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Coscinodiscus gigas</i> Ehrenberg 1841	D	NF	Calderón (1979); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Coscinodiscus granii</i> L.F. Gough 1905	NE	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); Guzmán <i>et al.</i> (2014); presente estudio

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg 1843	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg 1840	ES y M	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Guzmán <i>et al.</i> (2014); presente estudio
<i>Coscinodiscus perforatus</i> Ehrenberg 1844	D	NF	Presente estudio
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1840	D	NF	García-Hansen (2009)
Hemidiscaceae			
<i>Actinocyclus curvatus</i> Janisch 1878	NE	NF	García-Hansen (2009)
(Wallich) F. Gómez, Lu Wang & Senjei Lin 2017= <i>Hemidiscus cuneiformis</i> Wallich 1860	OC	NF	Collazos (1992); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Actinocyclus normanii</i> (W. Gregory ez Greville) Hustedt 1957	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenberg 1837	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Azpeitia nodulifera</i> (A.W.F. Schmidt) G.A. Fryxell & P.A. Sims 1986	M	NF	García-Hansen (2009)
<i>Pseudoguinaridia recta</i> Stock 1986	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Heliopeltaceae			
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1843	NE	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Actinoptychus splendes</i> (Shabdolt) Ralfs 1861	NE y LI	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)
Stellarimales			
Gossleriellaceae			
<i>Gossleriella tropica</i> Schütt 1893	D	NF	García-Hansen (2009); presente estudio
Stellarimaceae			
<i>Stellarima stellaris</i> (Roper) G. R. Hasle & P. A. Sim 1986= <i>Coscinodiscus stellaris</i> Roper 1858	D	NF	Calderón (1979)
Melosiropycidae			
Melosirales			
Melosiraceae			
<i>Melosira lineata</i> (Dillwyn) C. Agardh 1824 = <i>Melosira juergensii</i> C. Agardh 1824	ES	NF	García-Hansen (2009)
<i>Melosira octogona</i> A.W.F. Schmidt 1893	D	NF	Collazos (1992)
<i>Melosira major</i> E. Grove 1892	ES	NF	Presente estudio
<i>Melosira moliniiformis</i> C. Agardh 1824	BEN, NE y LI	NF	Calderón (1979); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Melosira nummuloides</i> C. Agardh 1824	AD	NF	Calderón (1979)
Paraliales			
Paraliaceae			
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve 1873	NE y LI.	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Radialiplicataceae			
<i>Ellerbeckia sol</i> (Ehrenberg) R. M. Crawford & P. A. Sims 2006= <i>Melosira sol</i> (Ehrenberg) Kützing 1849	D	NF	Calderón (1979)
Rhizosoleniales			
Rhizosoleniaceae			
<i>Dactyliosolen antarcticus</i> Castracane 1886	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle 1997	D	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) H. Peragallo 1892	D	AH	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle 1997	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Guzmán et al. (2014); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Neocalyptrella robusta</i> (G. Norman ex Ralfs) Hernández-Becerril & Meave del Castillo 1997	OC	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Proboscía alata</i> (Brightwell) Sundström 1986	OC	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Proboscía indica</i> (H. Peragallo) Hernández-Becerril 1995	D	NF	Presente estudio
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> B.G. Sundström 1986	OC	AH	Calderón (1979); García-Hansen (2009)
<i>Rhizosolenia acicularis</i> B.G. Sundström 1986	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Rhizosolenia acuminata</i> (H. Peragallo) H. Peragallo 1907	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Rhizosolenia bergonii</i> H. Peragallo 1892	OC	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Rhizosolenia castracane</i> H. Peragallo 1888	D	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009)
<i>Rhizosolenia formosa</i> H. Peragallo 1888	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Rhizosolenia hebetata</i> Bailey 1856	D	NF	Guzmán <i>et al.</i> (2014); presente estudio
<i>Rhizosolenia hyalina</i> Ostfeld 1901	NE	NF	García-Hansen (2009); presente estudio

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell 1858	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Guzmán <i>et al.</i> (2014); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Rhizosolenia ostenfeldii</i> B.G. Sundström 1986	D	NF	Presente estudio
<i>Rhizosolenia pungens</i> A. Cleve 1937 = <i>Rhizosolenia setigera f. pungens</i> (A. Cleve) Brunel 1962	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell 1858	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Rhizosolenia styliformis</i> T. Brightwell 1858	D	NF	Presente estudio
Triceratales			
Triceratiaceae			
<i>Triceratium favus</i> Ehrenberg 1839	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Triceratium reticulum</i> Ehrenberg 1844 = <i>Trigonium reticulum</i> (Ehrenberg) Simonsen 1974	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Mediophyceae			
Biddulphiophycidae			
Biddulphiales			
Bellerocheaceae			
<i>Bellerochea malleus</i> (Brightwell) Van Heurck 1885	D	NF	Calderón (1979)
<i>Bellerochea</i> sp Van Heurck 1885	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Climacodium frauenfeldianum</i> Grunow 1868	OC	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
Biddulphiaceae			
<i>Biddulphia alternans</i> (Bailey) Van Heurck 1885	NE	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Biddulphia biddulphiana</i> (J.E. Smith) Boyer 1900	M	NF	Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Biddulphia californicus</i> (A.W. F. Schmidt) Wolle 1890	D	NF	Calderón (1979)
<i>Biddulphia membranacea</i> Cleve 1878	M	NF	García-Hansen (2009)
Biggerales			
Streptothecaceae			
<i>Helicotheca tamesis</i> (Shrubsole) M. Rard 1987 = <i>Streptotheca tamesis</i> Shrubsole 1891	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); presente estudio
Chaetocerothecidae			
Anaulales			

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Anaulalceae			
<i>Terpsinoë americana</i> (Bailey) Ralfs 1861	DUL	NF	Calderón (1979)
<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg 1843	DUL	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)
Chaetocerotales			
Chaetocerotaceae			
<i>Bacteriastrum comosum</i> Pavillard 1916	OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Bacteriastrum delicatulum</i> Cleve 1897	OC	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Bacteriastrum elegans</i> Pavillard 1916	OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Bacteriastrum elongatum</i> Cleve 1897	OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Bacteriastrum furcatum</i> Shadbolt 1854	OC	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder 1864	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros aequatorialis</i> Cleve 1901	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1864	NE	NF	Calderón (1979); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros anastomosans</i> Grunow 1882	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)
<i>Chaetoceros atlanticus</i> Cleve 1873	OC	AH	Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros brevis</i> F. Schütt 1895	NE	NF	Calderón (1979); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Chaetoceros cinctus</i> Gran 1897	NE	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder 1864	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Chaetoceros coarctatus</i> Lauder 1864	NE y OC	NF	Calderón (1979); Medina (1997); presente estudio
<i>Chaetoceros constrictus</i> Gran 1897	NE	NF	Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Chaetoceros costatus</i> Pavillard 1911	NE	NF	García-Hansen (2009)
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve 1889	NE	AH	Calderón (1979); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve 1889	NE	AH	Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve 1873	OC	AH	Medina (1997); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros debilis</i> Cleve 1894	NE	AH	Medina (1997)
<i>Chaetoceros dichaeetus</i> Ehrenberg 1844	D	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009)
<i>Chaetoceros didymus</i> Ehrenberg 1845	NE	AH	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros didymus</i> var. <i>anglicus</i> (Grunow) Gran 1908	NE	NF	Medina (1997)
<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve 1873	NE	AH	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros eibenii</i> Grunow 1882	NE	NF	García-Hansen (2009)
<i>Chaetoceros lacinosus</i> F. Schütt 1895	NE	NF	García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow 1863	NE	AH	Calderón (1979); Medina (1997); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros muelleri</i> Lemmermann 1898	D	NF	Presente estudio
<i>Chaetoceros pelagicus</i> Cleve 1873	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwelli 1856	OC	AH	Calderón (1979); Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros protuberans</i> Lauder 1894 = <i>Chaetoceros didymus</i> var. <i>protuberans</i> (H.S. Lauder) Gran & K.Yendo 1914	NE	NF	Presente estudio
<i>Chaetoceros radicans</i> F. Schütt 1895	NE	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Chaetoceros rostratus</i> Ralfs 1864	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Chaetoceros socialis</i> H.S. Lauder 1864	NE	A	Calderón (1979); García-Hansen (2009)
<i>Chaetoceros subsecundus</i> (Grunow ex Van Heurck) Hustedt 1930	NE	NF	Presente estudio
<i>Chaetoceros subtilis</i> Cleve 1896	NE	NF	Collazos (1992); presente estudio

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Leptocylindraceae <i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve 1889	NE	AH	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Guzmán <i>et al.</i> (2014); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i> (H. Peragallo) Hasle 1975	NE y OC	NF	García-Hansen (2009); presente estudio
Cymatosirales Cymatosiraceae <i>Campylosira cymbelliformis</i> (A. W. F. Schmidt) Grunow ex Van Heurck 1885	D	NF	Calderón (1979)
Eupodiscales Eupodiscaceae Eupodiscus radiatus Bailey 1851	D	NF	Calderón (1979)
Odontellaceae <i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) C. Agardh 1832	M, NE y LI	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Hobaniella longicruris</i> (Greville) P.S. Sims & D.M. Williams 2018 = <i>Odontella longicruris</i> (Greville) M.A. Hoban 1983	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Pseudictyota dubium</i> (Brightwell) P.S. Sims & D.M. Williams 2018 = <i>Odontella dubia</i> (Brightwell) Cleve 1901	NE	NF	Presente estudio
<i>Trieres mobiliensis</i> (Bailey) Ashworth & E.C. Theriot 2013 = <i>Odontella mobiliensis</i> (Bailey) Grunow 1884	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Trieres regia</i> (M. Schultze) Ashworth & Theriot 2013 = <i>Odontella regia</i> (Schultze) Simonsen 1974	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Trieres chinensis</i> (Greville) Ashworth & E.C. Theriot 2013 = <i>Odontella chinensis</i> (Greville) Grunow 1884	NE y OC	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Zygoceros rhombus</i> Ehrenberg 1839 = <i>Biddulphia rhombus</i> (Ehrenberg) W. Smith 1854	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); presente estudio
Hemiaulales Hemiaulaceae <i>Cerataulina bicornis</i> (Ehrenberg) Hasle 1985	NE	AH	Calderón (1979); García-Hansen (2009)
<i>Cerataulina dentata</i> Hasle 1980	NE	AH	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey 1937	NE	AH	Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Neomoelleria cornuta</i> (Cleve) S. Blanco & C. E. Wetzel 2016 = <i>Eucampia cornuta</i> (Cleve) Grunow 1883	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg 1839	NE	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Hemiaulus chinensis</i> Greville 1865	NE	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow ex Van Heurck 1882	NE	NF	Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Hemiaulus membranaceus</i> Cleve 1873	OC	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Huttoniela</i> sp. G. Karsten 1928	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Lithodesmiales Lithodesmiaceae			
<i>Ditylum brightwellii</i> (T. West) Grunow 1885	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Ditylum sol</i> Grunow 1883	NE	ICT?	Presente estudio
<i>Lithodesmium undulatum</i> Ehrenberg 1839	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
Stephanodiscales Stephanodiscaceae			
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing 1844	ES	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow 1880	ES	NF	García-Hansen (2009); presente estudio
Thalassiosirales Lauderiaceae			
<i>Lauderia annulata</i> Cleve 1873	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Lauderia borealis</i> Gran 1900	NE	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Thalassiosiraceae			
<i>Detonula confervacea</i> (Cleve) Gran 1900	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Planktoniella sol</i> (G.C. Wallich) Schütt 1892	OC	NF	Calderón (1979); presente estudio
<i>Thalassiosira angustilineata</i> (A.W.F. Schmidt) G. Fryxell & Hasle 1977	D	NF	García-Hansen (2009)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Thalassiosira decipiens</i> (Grunow ex Van Heurck) E. G. Jorgensen 1905	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve 1904= <i>Coscinodiscus eccentricus</i> Ehrenberg 1840	ES	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Thalassiosira lacutris</i> (Grunow) G.R. Hasle 1977 = <i>Cyclotella punctata</i> W. Smith 1856	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Thalassiosira leptopus</i> (Grunow) Hasle & Fryxell 1977	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Thalassiosira lineata</i> Josué 1968	NE	NF	Presente estudio
<i>Thalassiosira pacifica</i> Gran & Angst 1931	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Thalassiosira subtilis</i> (Ostenfeld) Gran 1900	D	NF	García-Hansen (2009); presente estudio
Skeletonemataceae			
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve 1873	NE y OC	AH	Calderón (1979); Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); Guzmán (2014); Osorio-Cardoso (2019) Presente estudio
<i>Skeletonema pseudocostatum</i> Medlin 1991	NE y OC	AH	Presente estudio
<i>Skeletonema tropicum</i> Cleve 1990	NE y OC	AH	Calderón (1979); presente estudio
Bacillariophyceae			
Bacillariophycidae			
Bacillariales			
Bacillariaceae			
<i>Bacillaria paxillifer</i> (O.F.Müller) T. Marsson 1901 = <i>Bacillaria paradoxa</i> J. F. Gmelin 1791	LI y NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C. Lewin 1964 = <i>Nitzschia Closterium</i> (Ehrenberg) W. Smith 1853	D	AH	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Guzmán et al. (2014); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Nitzschia angularis</i> W. Smith 1853	ES y M	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009)
<i>Nitzschia bicapitata</i> Cleve 1901	M	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009)
<i>Nitzschia braarudii</i> Hasle 1997	M	NF	Presente estudio
<i>Nitzschia brebissonii</i> W. Smith 1853	ES	NF	Medina (1997); presente estudio
<i>Nitzschia brevirostris</i> Hustedt 1955	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Nitzschia chinensis</i> Skvortsov 1931= <i>Gomphonitzschia chinensis</i> (Skvortsov) Mills	D	NF	Calderón (1979)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Nizstchia claussi</i> Hantzsch 1860	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Nitzschia lanceolata</i> W. Smith 1853	M	NF	García-Hansen (2009)
<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs 1861	M y NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Guzmán et al. (2014); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Nitzschia navicularis</i> (Brébisson) Grunow 1880	D	NF	Presente estudio
<i>Nitzschia obtusa</i> W. Smith 1853	ES	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Nitzschia pacifica</i> Cupp 1943	NE y OC	NF	Medina (1997)
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch ex Rabenhorst 1862	M	NF	García-Hansen (2009)
<i>Nitzschia sigma</i> (Kützing) W. Smith 1853	ES y M	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009)
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith 1853	M	NF	Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Psammodictyon mediterranium</i> (Hustedt) D. G. Mann 1990= <i>Nitzschia mediterranea</i> Hustedt 1921	D	NF	Calderón (1979)
<i>Psammodictyon panduriformis</i> (W. Gregory) D. G. Mann 1990= <i>Nitzschia panduriformis</i> W. Gregory 1857	D	NF	Calderón (1979)
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden 1928	NE	DA	García-Hansen (2009)
<i>Pseudo-nitzschia lineola</i> (Cleve) Hasle 1993	NE	DA	García-Hansen (2009); Guzmán et al. (2014).
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle 1993	NE	DA	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Pseudo-nitzschia subpacifica</i> (Hasle) Hasle 1993	NE	DA	García-Hansen (2009)
<i>Tryblionella aerophila</i> (Hustedt) D. G. Mann 1990 = <i>Nitzschia aerophila</i> Hustedt 1942	D	NF	Collazos (1992)
<i>Tryblionella apiculata</i> W. Gregory 1857 = <i>Nitzschia constricta</i> (Kützing) Ralfs 1861	D	NF	Collazos (1992)
<i>Tryblionella levidensis</i> W. Smith 1856	DUL	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Tryblionella compressa</i> (Bailey) Poulin 1990= <i>Nizstchia compressa</i> (Bailey) Poulin 1990	DUL	NF	Calderón (1979)
<i>Tryblionella scalaris</i> (Ehrenberg) Siver & P.B. Hamilton 2005 = <i>Nizstchia scalaris</i> (Ehrebeng) W. Scmith 1853	DUL	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Cocconeidales			
Cocconeidaceae			
<i>Cocconeis scutellum</i> Enrenberg 1838	ES y M	NF	Presente estudio

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Cymbellales			
Cymbellaceae			
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G. Mann 1990 = <i>Cymbella minuta</i> Hilse 1862	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg 1838	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Gomphonema acuminatum</i> var. <i>longiceps</i> (Ehrenberg) N. Abarca & Jahn 2020 = <i>Gomphonema longiceps</i> Ehrenberg 1854	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Lyrellales			
Lyrellaceae			
<i>Lyrella lyra</i> (Ehrenberg) Karayeva 1978 = <i>Navicula Lyra</i> Ehrenberg 1841	D	NF	Calderón (1979)
<i>Petroneis humerosa</i> (Brébisson ex W. Smith) Stickle & D.G. Mann 1990	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Petroneis marina</i> (Ralfs) D. G. Mann 1990 = <i>Navicula marina</i> Ralfs 1861	M y LI	NF	Presente estudio
Mastogloiales			
Achnanthaceae			
<i>Achnantes armillaris</i> (O. F. Müller) Guiry 2019 = <i>Achnanthes longipes</i> C. Agardh, nom. Illeg 1824	LI	NF	García-Hansen (2009)
Naviculales			
Amphipleuraceae			
<i>Frickea lewisiana</i> (Greville) Heiden 1906	D	NF	Calderón (1979)
<i>Frustulia interposita</i> (Lewis) De Toni 1891	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)
Berkeleyaceae			
<i>Berkeleya scopulorum</i> (Bréisson ex Kützing) E. J. Cox 1979	D	NF	Collazos (1992)
<i>Climaconeis delicatula</i> (Cleve) E. J. Cox 1982 = <i>Navicula delicatula</i> Cleve 1894	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Parlibellus cruciloides</i> (C. Brockmann) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin 2000 = <i>Navicula cruciloides</i> C. Brockmann 1950	D	NF	Calderón (1979)
Diploneidaceae			
<i>Diploneis bombus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1853	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009)
<i>Diploneis bombus</i> var. <i>bombiformis</i> (Cleve) Hustedt 1937	D	NF	Presente estudio
<i>Diploneis coffeiformis</i> (A.W.F. Schmidt) Cleve 1894	ES	NF	Presente estudio
<i>Diploneis didymus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1845	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve 1894	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Naviculaceae			
<i>Caloneis westii</i> (W. Smith) Hendey 1964	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)
<i>Fragilariopsis</i> sp Hustedt 1913	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Gyrosigma balticum</i> (Ehrenberg) Rabenhorst 1853	D	NF	Calderón (1979)
<i>Gyrosigma fasciola</i> (Ehrenberg) J. W. Griffith & Henferey 1856	D	NF	Collazos (1992)
<i>Gyrosigma macrum</i> (W. Smith) J.W. Griffith & Henfrey 1856	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Gyrosigma prolongatum</i> (W. Smith) J. W. Griffith & Henfrey 1856	D	NF	Calderón (1979)
<i>Navicula cancellata</i> Donkin 1872	M	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing 1844	DUL	NF	Calderón (1979)
<i>Navicula digitoradiata</i> (W. Gregory) Ralfs 1861	D	NF	Presente estudio
<i>Navicula directa</i> (W. Smith) Brébisson 1854	M	NF	García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Navicula lata</i> (Brébisson) Kützing 1844	ES	NF	Presente estudio
<i>Navicula molesta</i> A. Mann 1925	D	NF	Calderón (1979)
<i>Navicula pungens</i> A. Cleve	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Navicula transitans</i> var. <i>derasa</i> Cleve 1883	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) Cleve 1894	ES	NF	Calderón (1979)
Pinnulariaceae			
<i>Pinnularia gibba</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1843	D	NF	Calderón (1979); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenhost 1853	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Plagiotropidaceae			
<i>Meuniera membranacea</i> (Cleve) P.C. Silva 1996 = <i>Stauroneis membranacea</i> (Cleve) Hustedt 1959	NE	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Plagiotropis elegans</i> (W. Smith) Grunow 1885 = <i>Tropidoneis elegans</i> (W. Smith) Cleve 1894	D	NF	Calderón (1979)
<i>Plagiotropis lepidoptera</i> (W. Gregory) Kuntze 1898	M	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Plagiotropis vitrea</i> (W. Smith) Grunow 1880 = <i>Tropidoneis vitrea</i> (W. Smith) Cleve 1894	D	NF	Collazos (1992)
Pleurosigmataceae			
<i>Carinasigma rectum</i> (Donkin) G. Reid 2012 = <i>Donkinia recta</i> (Donkin) Carruthers 1864	D	NF	Calderón (1979)
<i>Pleurosigma angulatum</i> (J.T. Quekett) W. Smith 1852	BEN, ES, NE y M	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Pleurosigma directum</i> Grunow 1880	M	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Smith 1852	D	NF	Calderón (1979)
<i>Pleurosigma nicobaricum</i> Grunow 1880	ES	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Pleurosigma normanii</i> Ralfs 1861	M y LI	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Pleurosigma simonsenii</i> Hasle y Syvertsen 1997 = <i>Pleurosigma planctonicum</i> Simonsen 1974	D	NF	Collazos (1992)
<i>Pleurosigma strigosum</i> W. Smith 1852	M y LI	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019)
Stauroneidaceae			
<i>Stauroneis</i> sp Ehrenberg 1843	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Scoliotropidaceae			
<i>Scoliotropis latestriata</i> (Brébisson ex Kützing) Cleve 1894	DUL	NF	Calderón (1979)
Rhopadiales			
Rhopalodiaceae			
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O Müller 1895	DUL	NF	Calderón (1979)
Surirellales			
Entomoneidaceae			
<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1845	ES y M	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Entomoneis gigantea</i> (Grunow) Nizamuddin 1983 = <i>Amphiphora gigantea</i> Grunow 1860	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Surirellaceae			
<i>Campylodiscus neofastuosus</i> Ruck & Nakov 2016= <i>Surirella fastuosa</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1843	ES y M	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Iconella guatemalensis</i> (Ehrenberg) Ruck & Nakov 2016= <i>Surirella guatemalensis</i> Ehrenberg 1854	D	NF	Calderón (1979)
<i>Petrodictyon gemma</i> (Ehrenberg) D. G. Mann 1990= <i>Surirella gemma</i> (Ehrenberg) Kützing 1844	D	NF	Calderón (1979)
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot 1987	BEN	NF	Presente estudio
<i>Surirella febigerii</i> F. W. Lewis 1861	D	NF	Calderón (1979)
<i>Surirella praeclara</i> A.W.F. Schmidt 1875	D	NF	Collazos (1992)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Surirella rattayi</i> A. W. F. Schmidt 1875	D	NF	Calderón (1979)
<i>Surirella recedens</i> A.W.F. Schmidt 1875	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)
Thalassiophysales			
Catenulaceae			
<i>Amphora arenicola</i> Grunow ex Cleve 1895	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Amphora acuta</i> Gregory 1857	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)
<i>Amphora egreria</i> Ehrenberg 1861	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)
<i>Amphora lineolata</i> Enrenberg 1838	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Amphora marina</i> W. Smith 1857	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Amphora osteraria</i> Brébisson ex Kützing 1849	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Amphora ovalis</i> (Krützing) Krützing 1844	ES y M	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Halamphora coffeiformis</i> (C. Agardth) Mereschkowsky 1903= <i>Amphora coffeiformis</i> (C. Agardth) Kützing 1844	NE	NF	Calderón (1979)
Eunotiophycidae			
Eunotiales			
Eunotiaceae			
<i>Eunotia didyma</i> Grunow ex Zimmermann 1915	M	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Fragilariophycidae			
Fragilariales			
Fragilariaceae			
<i>Asteroplanus karianus</i> (Grunow) C. Gardner & R.M. Crawford 1997	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton 1869	M	NF	Calderón (1979); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Podocystis adriatica</i> (Kützing) Ralfs 1861	ES y M	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Podocystis spathulata</i> (Shadbolt) Van Heurck 1896	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Licmophorales			
Licmophoraceae			
<i>Licmophora lyngbyei</i> (Kützing) Grunow 1867	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Licmophora remulus</i> (Grunow) Grunow 1867	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère 2001 = (Nitzsch) Ehrenberg 1832	DUL	NF	Calderón (1979); Osorio-Cardoso (2019)
Rhabdonematales			
Grammatophoraceae			
<i>Grammatophora marina</i> (Lynbye) Kützing 1844	LI	NF	Calderón (1979); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Grammatophora oceanica</i> Ehrenberg 1840	LI	NF	Calderón (1979); Collazos (1992)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Thalassionematales			
Thalassiosionemataceae			
<i>Lioloma pacificum</i> (Cupp) Hasle 1996	M	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Thalassionema elegans</i> Hustedt 1958	D	NF	Guzmán <i>et al.</i> (2014); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Thalassionema frauefeldii</i> (Grunow) Tempère & Peragallo 1910 = <i>Thalassiothrix frauenfeldii</i> (Grunow) Grunow 1880	OC	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky 1902	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Thalassiothrix heteromorpha</i> Karsten 1907	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Thalassiothrix mediterranea</i> Pavillard 1916	D	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); García-Hansen (2009); presente estudio
Urneidophycidae			
Rhaphoneidales			
Asterionellopsidaceae			
<i>Asterionellopsis gracialis</i> (Castracane) Round 1990 = <i>Asterionella japonica</i> Cleve 1882	NE	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); Guzmán <i>et al.</i> (2014) Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Asterionellopsis kariana</i> (Grunow) Round 1990	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Psammodiscaceae			
<i>Psammodiscus nitidus</i> (W. Gregory) Round & D.G. Mann 1980 = <i>Coscinodiscus nitidus</i> W. Gregory 1857	NE y M	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Plagiogrammales			
Plagiogrammaceae			
<i>Plagiogramma</i> sp Greville 1859	D	NF	Calderón (1979)
Rhaphoneidaceae			
<i>Neodelphineis silenda</i> (M.H. Hohn & J. Hellerman) N. Desianti & M. Potapova 2015 = <i>Neodelphineis pelagica</i> H. Takano, nom. Inval. 1982	ES	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Dinophyta			
Noctilucophyceae			
Noctilucales			
Kofoidiniaceae			
<i>Kofoidinium velloides</i> Pavillard 1929	OC	NF	Medina (1997)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Dinophyceae			
Gymnodiniales			
Gymnodiniaceae			
<i>Akashiwo sanguinea</i> (K. Hirasaka) Gert Hansen & Moestrup 2000 = <i>Gymnodinium sanguineum</i> K. Hirasaka 1922	ES y NE	SURF	García-Hansen (2009)
<i>Gymnodinium catenatum</i> H.W. Graham 1943	M	STX	Medina (1997); García-Hansen (2009)
<i>Gymnodinium splendens</i> Lebour 1925	D	NF	Medina (1997)
<i>Plectodinium nucleovolvatum</i> Biecheler 1934	D	NF	Medina (1997)
Gymnodiniales incertae sedis			
<i>Cucumeridinium coeruleum</i> (Dogiel) F. Gómez, P. López-García, H. Takayama & D. Moreira 2015 = <i>Gymnodinium coeruleum</i> Dogiel 1906	OC	NF	Collazos (1992)
Peridinales			
Cladopyxidaceae			
<i>Palaeophalacroma verrucosa</i> Schiller 1928	OC	NF	García-Hansen, (2009)
Diplopsaliaceae			
<i>Diplopelta asymmetrica</i> (Margin) Balech 1988	NE y OC	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Preperidinium meunieri</i> Elbrächter 1993	ES y NE	NF	Calderón (1979); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
Heterocapsaceae			
<i>Heterocapsa niei</i> (Loeblich) L.C. Morrill & Loeblich III 1981	ES y NE	NTK	Medina (1997); García-Hansen (2009)
Kryptoperidiniaceae			
<i>Blixaea quinquecornis</i> (Abé) Gottschling 2017 = <i>Peridinium quinquecorne</i> Abé 1927	ES	NF	Calderón (1979)
Oxytoxaceae			
<i>Corythodinium constrictum</i> (F. Stein) F.J. R. Taylor 1976	OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Oxytoxum curvatum</i> (Kofoid) Kofoid & J.R. Michener 1911	OC	NF	Medina (1997)
<i>Oxytoxum longiceps</i> Schiller 1937	OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Oxytoxum parvum</i> J. Schiller 1937	OC	NF	Presente estudio
<i>Oxytoxum sceptrum</i> (F. Stein) Schröder 1906	OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Oxytoxum scolopax</i> F. Stein 1883	OC	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Oxytoxum turbo</i> Kofoid 1907	OC	NF	García-Hansen (2009)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Podolampadaceae			
<i>Blepharocysta splendor-maris</i> (Ehrenberg) F. Stein 1883	NE y OC	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009)
<i>Podolampas bipes</i> F. Stein 1883	OC	NF	García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Podolampas palmipes</i> Stein 1883	OC	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009)
<i>Podolampas spinifera</i> Okamura 1912	OC	NF	Medina (1997); presente estudio
Protopteridiniaceae			
<i>Protopteridinium abei</i> (Paulsen) Balech 1974	NE	NF	García-Hansen (2009)
<i>Protopteridinium cepa</i> Balech (Balech) 1974	D	NF	Calderón (1979)
<i>Protopteridinium conicum</i> (Gran) Balech 1974	NE y ES	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009)
<i>Protopteridinium claudicans</i> (Paulsen) Balech 1974	ES, NE y OC	NF	Presente estudio
<i>Protopteridinium depressum</i> (Bailey) Balech 1974	NE y OC	NF	Calderón (1979); Collazos (1992); presente estudio
<i>Protopteridinium elegans</i> (Cleve) Balech 1974	NE y OC	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009)
<i>Protopteridinium excentricum</i> (Paulsen) Balech 1974	ES y NE	NF	Collazos (1992); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Protopteridinium hirobis</i> (T.H. Abé) Balech 1974	NE	NF	Presente estudio
<i>Protopteridinium latidorsale</i> (P.A. Dangeard) Balech 1974	LI	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Protopteridinium latissimum</i> (Kofoid) Balech 1974	ES y NE	NF	Presente estudio
<i>Protopteridinium leonis</i> (Pavillard) Balech 1974	D	NF	Calderón (1979)
<i>Protopteridinium lipopodium</i> (Balech) Balech 1974	ES y NE	NF	Presente estudio
<i>Protopteridinium oblongum</i> (Avirivillius) Parke & Dodge 1976	NE y OC	NF	Collazos (1992)
<i>Protopteridinium oceanicum</i> (Vanhöffen) Balech 1974	NE y OC	NF	García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Protopteridinium oviforme</i> (Dangeard) Balech 1974	NE y OC	NF	Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Protopteridinium ovum</i> (J. Schiller) Balech 1974	OC	NF	Presente estudio
<i>Protopteridinium pellucidum</i> Bergh 1881	NE	NF	Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Protopteridinium pentagonum</i> (Gran) Balech 1974	NE y OC	NF	Calderón (1979); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Protopteridinium pyrum</i> (Balech) Balech 1974	D	NF	Calderón (1979)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Protoperidinium sphaeroideum</i> (Margin) Balech 1974	D	NF	Medina (1997)
<i>Protoperidinium sphaericum</i> (G. Murray & Whitting) Balech 1974	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Protoperidinium steinii</i> (E.G. Jorgensen) Balech 1974	NE y OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Protoperidinium thulesense</i> (Balech) Balech 1974	D	NF	Calderón (1979)
<i>Protoperidinium venustum</i> (Matzenauer) Balech 1974	D	NF	Calderón (1979)
Prorocentrales			
Prorocentraceae			
<i>Prorocentrum arcuatum</i> Issel 1928	NE y OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Prorocentrum balticum</i> (Lohmann) Loeblich III 1970	NE	NTK	Presente estudio
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T.H. Abé ex J.D. Dodge 1975	NE y OC	NF	Medina (1997)
<i>Prorocentrum cordatum</i> (Ostenfeld) Dodge 1975 = <i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) J. Schiller 1933	ES y NE	HEM	Medina (1997); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Prorocentrum gracile</i> F. Schütt 1895	NE	EA	Calderón (1979); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Prorocentrum lima</i> (Ehrenberg) F. Stein 1878	BEN, ES y NE	AO, DTX, Y FAT.	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Prorocentrum mexicanum</i> Osorio-Tafall 1942	BEN, ES y NE	FAT	Presente estudio
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg 1834	ES y NE	NTK	Calderón (1979); Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); Guzmán et al. (2014); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Prorocentrum sigmoides</i> Böhm 1933	NE	NF	Osorio-Cardoso (2019)
Dinophysales			
Amphisoleniaceae			
<i>Amphisolenia bidentata</i> B. Schröder 1900	OC	NF	Medina (1997); presente estudio
Dinophysaceae			
<i>Dinophysis acuminata</i> Clarapède & Lachmann 1859	NE	AO	Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio Cardoso (2019)
<i>Dinophysis caudata</i> W. S. Kent 1881	NE y ES	AO, DTX y PTX.	Calderón (1979); Medina (1997); Guzmán et al. (2014); Osorio Cardoso (2019); presente estudio
<i>Dinophysis fortii</i> Pavillard 1924	NE y OC	AO y PTX.	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Dinophysis ovum</i> F. Schütt 1895	OC	AO	García-Hansen (2009)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Ornithocercus heteroporus</i> Kofoid 1907	OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Ornithocercus quadratus</i> Schütt 1900	OC	NF	Presente estudio
<i>Ornithocercus splendidus</i> F. Schütt 1892	OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Ornithocercus steinii</i> Schütt 1900	OC	NF	Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio Cardoso (2019); presente estudio
<i>Ornithocercus magnificus</i> F. Stein 1883	OC	NF	Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Ornithocercus thumii</i> (A.W.F. Schmidt) Kofoid & Skogsberg 1928	NE y OC	NF	Medina (1997); Osorio Cardoso (2019); presente estudio
Oxyphysaceae			
<i>Phalacroma mitra</i> F. Schütt 1895	NE y OC	AO	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Phalacroma rotundatum</i> (Clarapède & Lachmann) Kofoid J.R. Michener 1911	NE y OC	AO y PTX	Presente estudio
Gonyaulacales			
Ceratiaceae			
<i>Tripes arietinus</i> (Cleve) F. Gómez 2021	NE y OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Tripes brevis</i> (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F. Gómez 2021	OC	NF	Calderón (1979); presente estudio
<i>Tripes candelabrum</i> (Ehrenberg) F. Gómez 2013	OC	NF	Presente estudio
<i>Tripes carriensis</i> (Gourret) Gómez 2021	OC	NF	Presente estudio
<i>Tripes dens</i> (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F. Gómez 2013	OC	NTK	Presente estudio
<i>Tripes eugrammus</i> (Ehrenberg) F. Gómez 2021 = <i>Tripes furca</i> (Ehrenberg) F. Gómez 2013	NE y OC	NTK	Calderón (1979); Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio
<i>Tripes extensus</i> (Gourret) F. Gómez 2021	D	NF	García-Hansen (2009)
<i>Tripes furca</i> (Ehrenberg) F. Gómez 2021 = <i>Tripes lineatus</i> (Ehrenberg) F. Gómez 2013	NE y OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Tripes fusus</i> (Ehrenberg) F. Gómez 2013	ES, NE y OC	NTK	Calderón (1979); Collazos (1992); Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019); presente estudio

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Tripes gallicus</i> (kofoid) F. Gómez 2021 = <i>Tripes deflexus</i> (kofoid) Gómez 2013	D	NF	Presente estudio
<i>Tripes gibberus</i> (Gourret) F. Gómez 2021 = <i>Tripes contortus</i> Gourret F. Gómez 2013	NE y OC	NF	Collazos (1992); presente estudio
<i>Tripes gracilis</i> (Pavillard) F. Gómez 2021 = <i>Tripes declinatus</i> (G. Karsten) F. Gómez 2013	OC	NF	Presente estudio
<i>Tripes gravidus</i> (Gourret) F. Gómez 2021 = <i>Tripes praelongum</i> (Lemmermann) Gómez 2013	OC	NF	Medina (1997)
<i>Tripes hircus</i> (Schörder) F. Gómez 2013	OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Tripes intermedius</i> (E.G. Jorgensen) F. Gómez 2021 = <i>Tripes horridus</i> (Cleve) F. Gómez 2013	NE	NF	Presente estudio
<i>Tripes inflatus</i> (Kofoid) F. Gómez 2013	OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Tripes longirostrum</i> (Gourret) Gómez 2021	D	NF	Medina (1997)
<i>Tripes lunula</i> (Schimper ex Karsten) F. Gómez 2013	NE y OC	NF	Presente estudio
<i>Tripes macroceros</i> (Ehrenberg) Gómez 2021	NE y OC	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009); presente estudio
<i>Tripes massiliensis</i> (Gourret) Gómez 2021	NE y OC	NF	Calderón (1979); Medina (1997); presente estudio
<i>Tripes muelleri</i> Bory 1826	NE y OC	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009); Osorio-Cardoso (2019)
<i>Tripes pacificus</i> (Scröder) F. Gómez 2021 = <i>Tripes belone</i> (Cleve) F. Gómez 2013	OC	NF	Presente estudio
<i>Tripes pulchellus</i> (Scröder) F. Gómez 2021 = <i>Tripes muelleri</i> var. <i>porrectus</i> (Karsten) Gómez 2013	D	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Tripes pentagonus</i> (Gourret) F. Gómez 2013	OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Tripes setaceus</i> (E. G. Jorgensen) F. Gómez 2021 = <i>Tripes kofoidii</i> (Jörgensen) Gómez 2013	NE y OC	NF	Presente estudio
<i>Tripes tenuis</i> (Ostenfeld & Johannes Schmidt) Hallegraef & Huisman 2020 = <i>Tripes buceros</i> var. <i>tenuis</i> (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F. Gómez 2013	OC	NF	Collazos (1992)
<i>Tripes teres</i> (Kofoid) F. Gómez 2013	NE y OC	NF	Medina (1997); presente estudio
<i>Tripes trichoceros</i> (Ehrenberg) Gómez 2013	NE y OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Tripes vultur</i> (Cleve) F. Gómez 2020	OC	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
Goniodomataceae			
<i>Alexandrium catenella</i> (Whedon & kofoid) Balech 1985	D	STX	Guzmán <i>et al.</i> (2014); presente estudio
<i>Alexandrium tamarense</i> (Lebour) Balech 1995	NE y OC	STX	García-Hansen (2004)
<i>Alexandrium tropicale</i> Balech 1985	NE y OC	NTK	García-Hansen (2009)
Gonyaulacaceae			
<i>Gonyaulax fragilis</i> (Schütt) Kofoid 1911	NE y OC	NF	Medina (1997); García- Hansen (2009)
<i>Gonyaulax milneri</i> (G. Murray & Whitting) Kofoid 1911	ES	NF	García-Hansen (2009)
<i>Gonyaulax pacifica</i> Kofoid 1907	OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Gonyaulax polygramma</i> F. Stein 1883	NE	NTK	Medina (1997); García- Hansen (2009)
<i>Gonyaulax sphaeroidea</i> Kofoid 1911	D	NF	Medina (1997); García- Hansen (2009)
<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparede & Lachmann) Diesing 1866	NE y ES	YTX	Medina (1997); Osorio- Cardoso (2019)
<i>Gonyaulax sousae</i> Balech 1959	D	NF	Medina (1997)
<i>Gonyaulax turbynei</i> Murray & Whitting 1899	D	NF	Medina (1997); García- Hansen (2009)
Lingulodiniaceae			
<i>Lingulodinium polyedra</i> (F. Stein) J.D. Dodge 1989 = <i>Gonyaulax polyedra</i> F. Stein 1883	ES y NE	YTX	Medina, 1997; García- Hansen (2009)
Ostreopsidaceae			
<i>Ostreopsis</i> sp Johs. Schmidt 1901	BEN, ES y NE	NTK	Medina (1997)
Protoceratidaceae			
<i>Ceratocorys armata</i> (Schütt) Kofoid 1910	NE y OC	NF	Osorio-Cardoso (2019)
<i>Ceratocorys horrida</i> Stein 1883	NE y OC	NF	Medina (1997); García- Hansen (2009); Osorio- Cardoso (2019); presente estudio
Pyrocystaceae			
<i>Pyrophacus horologium</i> F. Stein 1883	NE y OC	NF	Calderón (1979); Osorio- Cardoso (2019)

Taxón	Hábitat	FAN	Autores
<i>Pyrophacus steinii</i> (schiller) Wall & Dale 1971	NE y OC	NF	Medina (1997); García-Hansen (2009; presente estudio)
<i>Pyrocystis fusiformis</i> C.W. Thomson 1876	OC	NF	Presente estudio
<i>Pyrocystis hamulus</i> Cleve 1900	OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Pyrocystis Pseudonociluca</i> Wyville-Thompson 1876	OC	NF	García-Hansen (2009)
<i>Pyrocystis robusta</i> Kofoid 1907	OC	NF	Medina (1997)
Thoracosphaerales			
Thoracosphaeraceae			
<i>Triadinium sphaericum</i> (G. Murray & Whitting) J. D. Dodge 1981 = <i>Goniodoma sphaericum</i> Schiller nom, illeg 1937	D	NF	García-Hansen (2009)
Calciadinellaceae			
<i>Scrippsiella acuminata</i> (Ehrenberg) Kretschmann, Elbrächter, Zinssmeister, S. Soehner, Kirsch, Kurber & Gottschling 2015 = <i>Scrippsiella trochoidea</i> (F. Stein) A.R. Loeblich III 1976	NE y ES	NTK	García-Hansen (2009)

Comunidad fitoplanctónica en una playa de la costa central de Venezuela y su relación con variables ambientales en un ciclo anual

Phytoplankton community in a beach of the central coast of Venezuela and its relationship with environmental variables in an annual cycle

Carlos Pereira^{*}, Griselda Ferrara De Giner², Luis Troccoli-Ghinaglia³, Vanessa Hernández¹, Carolina Peña⁴, Ricardo Losada⁴ y Francisco Vera⁴

1. Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela
2. Escuela de Ingeniería Sanitaria. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela
3. Instituto de Investigaciones Científicas, Universidad de Oriente. Boca de Río, Venezuela
4. Gerencia de Ambiente, PDVSA Intevep. Los Teques, Venezuela

*Autor de correspondencia: carlosjpereyra@gmail.com

Recibido: 27 de marzo de 2021

Aceptado: 10 diciembre de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen

Palabras clave:
Bioindicadores; comunidad;
fitoplancton; mar Caribe

El fitoplancton es un indicador excelente de la calidad del agua y de la condición del ambiente. Con la finalidad de identificar las especies de microalgas indicadoras de las condiciones hidrográficas de la zona marina y costera de una playa ubicada en la zona central de Venezuela y la variabilidad espacial y temporal de su estructura comunitaria, se realizaron 13 muestreos mensuales durante el período entre abril de 2010 – abril de 2011. Se recolectaron muestras de fitoplancton y se estimaron variables fisicoquímicas de interés para la calidad del agua. La comunidad fitoplanctónica estuvo representada por 168 especies o morfotipos distribuidos en 94 diatomeas, 55 dinoflagelados, ocho clorofitas, cinco euglenofitas y un flagelado, y se evidenciaron cambios temporales en su estructura comunitaria, relacionados con el aporte de aguas continentales durante las épocas de máximas precipitaciones y un ascenso de aguas profundas durante los primeros meses del año. Se evidencia una diversidad biológica alta de esta comunidad con una variedad de especies que incluye microalgas bentónicas, planctónicas, costeras, estuarinas y oceánicas. Adicionalmente, se identificaron las especies *Trichodesmium thiebautii*, *Pseudonitzschia seriata*, *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros socialis*, *Thalassiosira nordeskioldii* y *Triplos massiliensis* como bioindicadoras de las condiciones de la zona, debido a su relación con variables fisicoquímicas específicas y a su capacidad de diferenciar la comunidad espacial y temporalmente.

Abstract

Key words:
Bioindicators; community,
phytoplankton; Caribbean Sea

Phytoplankton is an excellent indicator of water quality and the environmental conditions. In order to identify the microalgae species that are indicators of the hydrographic conditions of the marine and coastal area of a beach located in the central zone of Venezuela and to understand the spatial and temporal variability of its community structure, 13 monthly samplings were conducted from April 2010 to April 2011. Phytoplankton samples were collected and physicochemical variables of water quality were estimated. The phytoplankton community showed a richness of 168 species or morphotypes distributed in 94 diatoms, 55 dinoflagellates, 8 chlorophytes, 5 euglenophytes, and one flagellate. Temporary changes were evidenced in its community structure, related to the contribution of continental waters during periods of maximum rainfall and a deep water ascent during the first months of the year. There was a high biological diversity of this community with a variety of species that included benthic, planktonic, coastal, estuarine, and oceanic microalgae. Additionally, the species *Trichodesmium thiebautii*, *Pseudonitzschia seriata*, *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros socialis*, *Thalassiosira nordeskioldii*, and *Triplos massiliensis* were identified as bioindicators of the environmental conditions of the area, due to their relationship with specific physicochemical variables and their ability to differentiate the community spatially and temporally.

Introducción

Una de las grandes preocupaciones de la humanidad relacionada al aseguramiento de su permanencia en el planeta es la disponibilidad de agua con la calidad requerida para los diferentes usos. De hecho, la Organización de las Naciones Unidas, entre sus objetivos de desarrollo sostenible, ha establecido un objetivo relacionado con el agua y su saneamiento. También ha establecido otro vinculado con los océanos, debido a que las fuentes de este recurso renovable han enfrentado un deterioro continuado desde el siglo pasado, que ha incidido sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la diversidad biológica (Naciones Unidas, 2019). Esta degradación se debe al crecimiento acelerado de las ciudades y a que las características químicas y biológicas de las aguas costeras son susceptibles a ser modificadas por el ingreso de contaminantes, ya que a pesar de que algunas sustancias son biodegradables, muchas de ellas son altamente persistentes (Vikas y Dwarakish, 2015).

Una carga excesiva de compuestos orgánicos y nutrientes, provenientes de los asentamientos humanos en las adyacencias de los mares, puede provocar eutrofización de las zonas costeras, floraciones algales nocivas y otros desequilibrios ecológicos con consecuencias sobre la diversidad biológica (Zingone y Wyatt, 2004; Bergström y Karlsson, 2019; Le Fur *et al.*, 2019; Elshobary *et al.*, 2020). Una de las primeras comunidades que responde a los cambios de su ambiente es el fitoplancton, la cual agrupa a un conjunto de organismos fotosintéticos de tamaño microscópico, incluidos en al menos ocho *phyla* o grupos taxonómicos que están a merced de los movimientos de las masas de agua (Falkowski *et al.*, 2003). La riqueza y abundancia del fitoplancton pueden variar a escalas temporales diferentes, en función de sus interacciones biológicas y de las variables ambientales como la luz, la temperatura, la salinidad, y la concentración de los nutrientes (Al-Yamani y Saburova, 2019; Busseni *et al.*, 2020; Sari *et al.*, 2021). Esta capacidad de respuesta le atribuye a la comunidad fitoplanctónica su designación como indicador ideal de las condiciones ambientales y de la calidad del agua (Hemraj *et al.*, 2017).

En Venezuela, se han realizado diversos estudios sobre la composición y distribución de la comunidad fitoplanctónica, siendo más numerosos en la zona oriental del país y destacando los de Margalef (1965); Halim (1967); Brewer (1977); Troccoli (1989); López (1997); La Barbera *et al.* (1999); Gómez *et al.* (2000); Varela *et al.* (2003); Lárez (2004); Fernández (2007); Martín *et al.* (2007); Pirela-Ochoa *et al.* (2008) y Calvo-Trujillo

et al. (2018). En la zona occidental destaca el de Briceño *et al.* (2009) y en las Dependencias Federales, los de Gamboa *et al.* (1994); Gamboa y Ferreira (1994); Sánchez-Suárez (1994); Ayala (2005); Rodríguez-Centeno *et al.* (2010) y Pereira *et al.* (2018). No obstante, en la zona central, sólo se han realizado los de Ferraz-Reyes (1983) en la cuenca Tuy-Cariaco, García (2011) en las costas del estado La Guaira y el de González-Perozo *et al.* (2020) en las costas del estado Miranda, por lo que este estudio representa una contribución para el conocimiento de la diversidad de microalgas planctónicas de la zona.

En este estudio se realizó una evaluación mensual durante un año para medir algunas condiciones hidrográficas, evaluar el aporte de la quebrada, analizar la estructura comunitaria del fitoplancton e identificar especies de microalgas indicadoras de calidad de agua del medio.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la costa central de Venezuela, específicamente en el municipio Brión, estado Miranda (figura 1). El sitio posee una franja costera de aproximadamente 750 m y cuenta con la mayoría de los servicios básicos, con la excepción de un sistema de recolección de aguas residuales, por lo que las aguas grises llegan a la quebrada que desemboca en la playa. En la zona se practican actividades agrícolas, pesqueras, turísticas y de extracción de arena. En cuanto a sus características físicas y naturales, la zona presenta un clima costero con temperatura media anual de 26 °C y una precipitación media anual de 99 mm, con máximos en junio y diciembre (Solé y Vera, 1997). La comunidad se encuentra asentada en los alrededores de la quebrada de Chirimena, la cual suministra agua potable, y en la actualidad, se encuentra afectada por deforestaciones en su cabecera. La vegetación es de tipo arbustiva, de bosque seco tropical en su parte montañosa y se presentan uveros y cocotales en la zona baja costera. De acuerdo con los criterios de clasificación de playas, Chirimena es una meso playa con formación de dunas de arenas silíceas que, según su línea de costa, se considera mixta por presentar la desembocadura de un río y márgenes de caleta (Martínez, 1996).

Obtención de los datos

Se realizaron muestreos mensuales desde abril de 2010 hasta abril de 2011 en tres estaciones (figura 1). Se midieron variables

físicas y químicas en la capa superficial de la columna de agua: temperatura, pH y oxígeno disuelto fueron medidas usando una sonda multiparamétrica; la salinidad con un salinómetro de inducción; la transparencia del agua con un disco de Secchi y los nutrientes disueltos (amonio, nitritos, nitratos y fosfatos) fueron analizados en un espectrofotómetro UV-visible, empleando métodos estandarizados (Krawczyk y Gonglewski, 1959; Strickland y Parsons, 1972; APHA, 1998). Para la captura del fitoplancton, se realizaron arrastres con una red cónica de 15 cm de diámetro y porosidad de malla de 60 μm en las estaciones marinas, durante 10 minutos, a una velocidad promedio de 5 km h^{-1} y se tomaron muestras en botellas de 1 L para estimar la densidad. Las muestras se fijaron en el momento

de la captura con soluciones de lugol y formalina neutralizada al 5 % v/v. En el caso de la quebrada, las muestras se tomaron directamente con botellas de 500 mL. En el laboratorio se estimó la abundancia de las microalgas mediante el método de sedimentación de Utermöhl (1958) y su identificación taxonómica se realizó usando un microscopio invertido y los trabajos de Cupp (1943), Peragallo (1965), Ferguson (1968), Saunders y Glenn (1969), Sournia (1986), Balech (1988), Round et al. (1990), Chretiennot-Dinet *et al.* (1993), Tomas (1996), Yamaji (1996), Berárd-Therriault *et al.* (1999) y Al-Yamani y Saburova (2019). Los nombres científicos de las especies fueron verificados en la página web algaebase.org. (Guiry y Guiry, 2020).

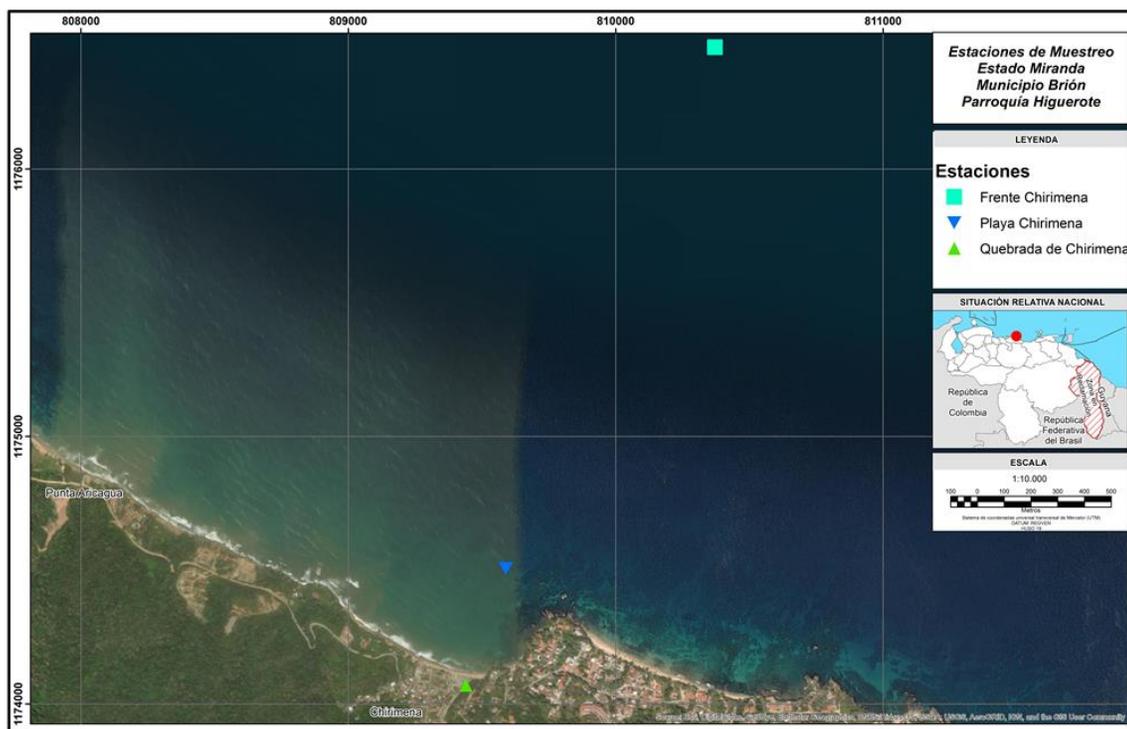


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en el área costera de Chirimena, Venezuela.

Análisis estadístico

Para evaluar la variabilidad espacial y temporal de las variables fisicoquímicas, se emplearon análisis de varianza, posterior a la evaluación de la normalidad de los datos con una prueba Shapiro-Wilk. En caso de encontrarse diferencias estadísticas significativas, se utilizó la prueba a posteriori de Duncan para comparar los datos entre zonas de muestreo (Sokal y Rohlf, 2012). Se calculó el índice diversidad biológica de Shannon-Wiener, usando el logaritmo base 2 como base de cálculo. Para reducir las dimensiones de los datos, extraer las variables que

más contribuyen a la variabilidad e identificar asociaciones entre las variables físicas y químicas, se aplicó un análisis de clasificación y ordenación (ACP, análisis de componentes principales), basado en una matriz de correlaciones, usando distancias euclidianas sobre los datos normalizados, previa evaluación de la normalidad de los datos (Johnson y Wichern, 2007). Para ilustrar los patrones de distribución de las especies, se aplicó un análisis de ordenación multidimensional no métrico (nMDS), usando la medida de similitud Bray Curtis. Para cuantificar la contribución de cada especie a la disimilaridad espacial y temporal, se aplicó la prueba SIMPER. Con el fin de

identificar especies indicadoras, se seleccionaron las especies que contribuyeron con mayor peso a la disimilaridad de las muestras y se realizó un análisis de correspondencia canónica con el fin de identificar relaciones de estas especies con las variables ambientales. Finalmente, para conocer la influencia de las variables fisicoquímicas sobre la estructura comunitaria, se aplicó una prueba BIOENV, basada en comparación de matrices por permutaciones (Clarke *et al.*, 2014). Estas pruebas estadísticas se realizaron en el programa estadístico PAST 6.0 (Hammer *et al.*, 2001).

Resultados

Condiciones ambientales

Durante el período de muestreo, se obtuvo una temperatura media de $29,1 \pm 2,6$ °C y un gradiente de temperatura que va desde una media de $30,74 \pm 3$ °C en la quebrada hasta $28,28 \pm 2,2$ °C en la estación más alejada de la costa (figura 2). La temperatura varió en toda la zona ($F = 5,06$; $p < 0,05$) con valores entre 25,5 °C (Frente Chirimena en abril de 2011) y 34,3 °C (Río Chirimena en abril de 2010). Temporalmente, se encontraron diferencias significativas ($F = 1,48$; $p < 0,05$). En las estaciones marinas se observó un patrón definido en el que los valores más altos se presentaron de junio a octubre y los más bajos de noviembre a abril. Sin embargo, en la quebrada el patrón temporal fue más irregular y presentó dos máximos, uno que coincide con el de las playas y otro entre enero y febrero (figura 2).

La salinidad disminuyó ligeramente en las estaciones marinas desde octubre hasta diciembre y ascendió ligeramente en mayo, septiembre, enero y febrero ($F = 0,005$; $p > 0,05$). Asimismo, se observó mayor similitud entre las salinidades mensuales de las estaciones marinas, las cuales presentaron una media de $37,24 \pm 0,88$ g kg⁻¹ mientras que la quebrada presentó una media de $0,67 \pm 0,45$ g kg⁻¹ ($F = 10780$; $p < 0,05$) (figura 2). El pH mostró una media de $7,9 \pm 0,5$ durante todos los muestreos, sin diferencias significativas entre estaciones ($F = 3,061$; $p > 0,05$) y meses ($F = 0,849$; $p > 0,05$). Sin embargo, se puede observar una diferenciación leve de la estación de la quebrada con un pH promedio de $7,6 \pm 0,6$ del resto de las estaciones, las cuales presentaron una media de $8,05 \pm 0,26$ (figura 2).

La concentración de oxígeno disuelto mostró un valor medio de $8,45 \pm 3,15$ mg L⁻¹. Especialmente, los valores más altos se encontraron en la estación de la quebrada ($10,5 \pm 4,63$ mg L⁻¹), debido a que esta variable mostró valores de sobresaturación entre abril y agosto, mostrando diferencias significativas con el resto de las estaciones ($F = 5,25$; $p < 0,05$) pero sin diferencias temporales ($F = 0,75$; $p > 0,05$). A partir de septiembre, cuando el canal de la desembocadura al mar fue abierto por efecto de las lluvias, las concentraciones de oxígeno disuelto no llegaron a niveles de saturación en esta estación. En las estaciones marinas los valores se mantuvieron temporalmente más constantes, con una media de $7,36 \pm 1,25$ mg L⁻¹ (figura 2).

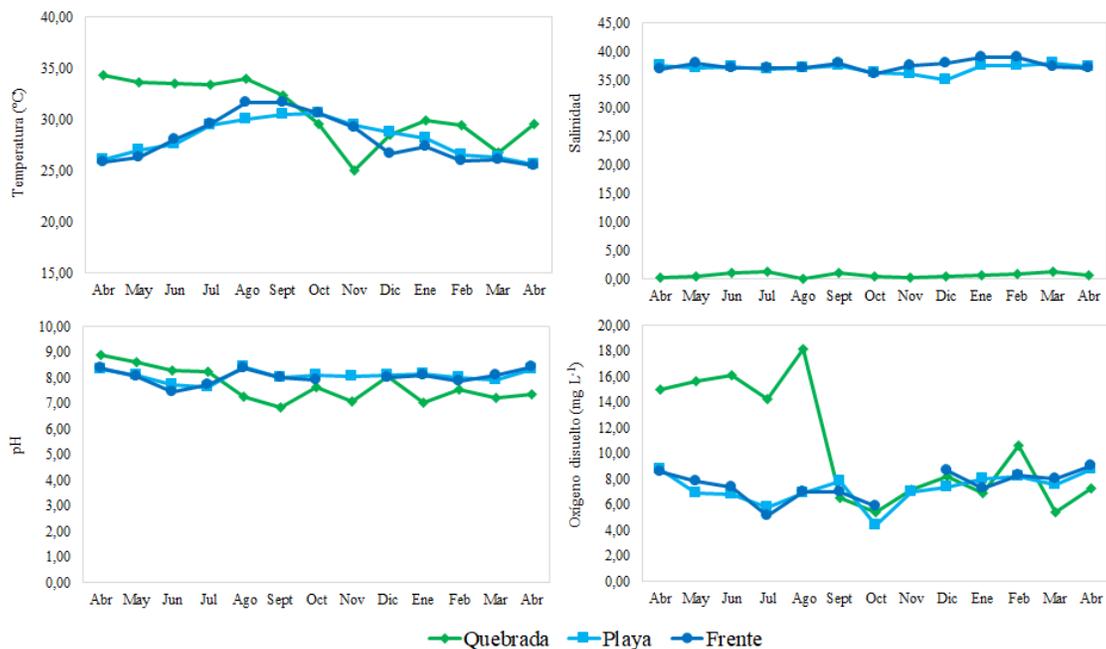


Figura 2. Variabilidad espacial y temporal de la temperatura, salinidad, pH y concentración de oxígeno disuelto de las aguas superficiales de la zona costera de Chirimena (abril de 2010 - abril de 2011).

El amonio tuvo una concentración media de $0,11 \pm 0,14 \mu\text{g L}^{-1}$. Se observaron diferencias espaciales entre las concentraciones de la estación de la quebrada con un promedio de $0,22 \pm 0,15 \mu\text{g L}^{-1}$ y el resto de las estaciones con $0,04 \pm 0,08 \mu\text{g L}^{-1}$ ($F = 8,97$; $p < 0,05$). Temporalmente, no se observó un patrón temporal definido, sólo dos disminuciones en agosto y diciembre y tres aumentos en junio, de septiembre a octubre y en abril de 2011 en las estaciones marinas (figura 3); no obstante, no se encontraron diferencias significativas ($F = 0,66$;

$p > 0,05$). Por su parte, la concentración media de nitritos fue de $0,007 \pm 0,005 \mu\text{g L}^{-1}$ con diferencias significativas entre la estación de la quebrada y las marinas ($F = 3,42$; $p < 0,05$), las cuales presentaron medias de $0,010 \pm 0,006 \mu\text{g L}^{-1}$ y $0,006 \pm 0,004 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Temporalmente, la concentración de nitritos aumentó levemente a partir de noviembre y se mantuvo relativamente constante hasta abril en la quebrada y hasta febrero en las estaciones marinas (figura 3).

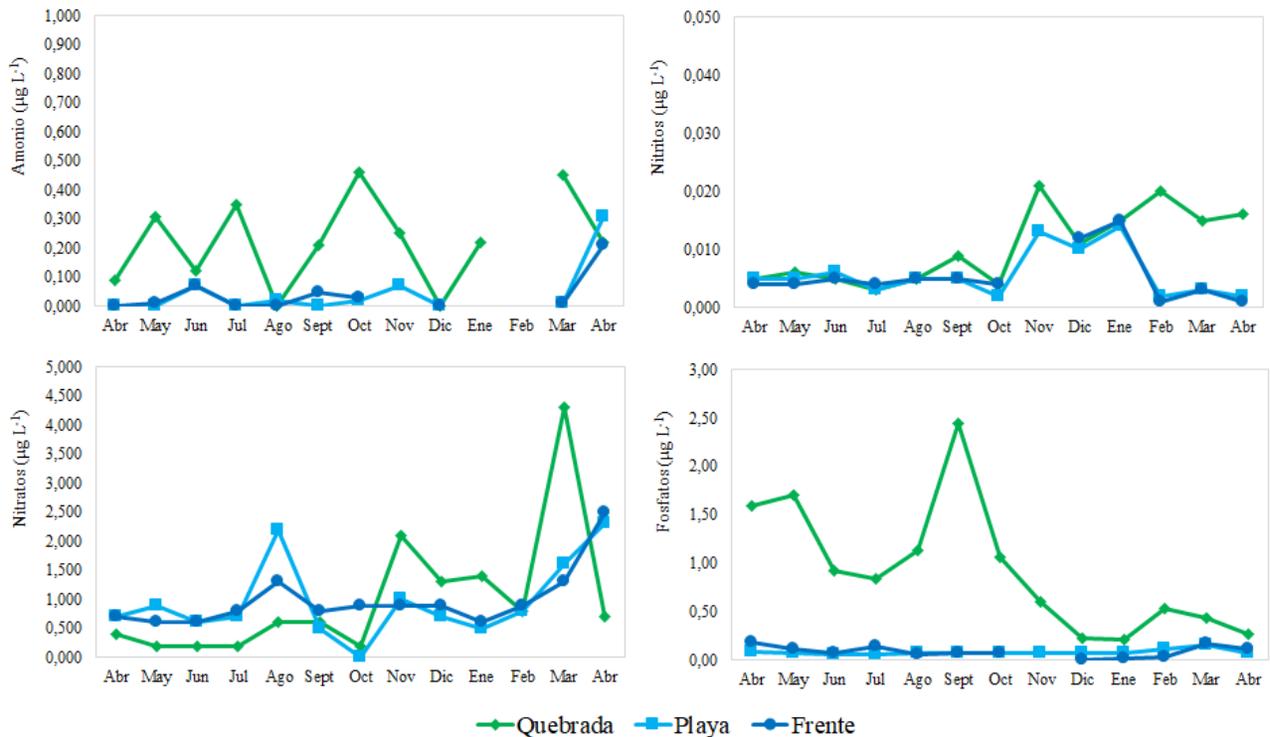


Figura 3. Variabilidad espacial y temporal de los nutrientes (amonio, nitritos, nitratos y fosfatos) de las aguas superficiales de la zona costera de Chirimena (abril de 2010 - abril de 2011).

Por su parte, la concentración media de nitratos fue de $0,98 \pm 0,81 \mu\text{g L}^{-1}$, sin diferencias significativas entre las estaciones marinas y la quebrada ($F = 0,007$; $F > 0,05$). Temporalmente, se observó que las concentraciones se mantuvieron constantes en el año, pero con la presencia de tres máximos en agosto, noviembre y marzo-abril, (figura 3). En cuanto a los fosfatos, la concentración media fue de $0,372 \pm 0,554 \mu\text{g L}^{-1}$ con diferencias significativas entre la estación de la quebrada, la cual presentó una media de $0,921 \pm 0,667 \mu\text{g L}^{-1}$ y las marinas con $0,086 \pm 0,043 \mu\text{g L}^{-1}$, lo cual está relacionado con el aporte de fósforo proveniente de las descargas residuales de la comunidad de Chirimena ($F = 18,54$; $p < 0,05$). En las estaciones marinas se observaron dos máximos, uno en julio y otro en marzo, mientras que en la quebrada se observó un patrón relacionado con las

temporadas vacacionales en los primeros meses del año y entre agosto y octubre (figura 3). No obstante, estos máximos no representan diferencias estadísticamente significativas ($F = 0,421$; $p > 0,05$).

En cuanto al coeficiente de extinción de luz, la quebrada y la playa son estaciones someras, por lo que, en algunas ocasiones, el disco de *Secchi* se visualizó hasta el fondo, lo que indica que la luz penetró toda la columna de agua, sin representar un factor limitante para el crecimiento fitoplanctónico. Sin embargo, durante los primeros meses del estudio, la quebrada presentó un crecimiento microalgal acelerado, producto de las condiciones eutróficas características de la desembocadura de ese cuerpo de agua, lo cual limitó la visualización del disco en el fondo. Temporalmente, se observó que en los meses de

máximas precipitaciones aumentó este coeficiente producto de la resuspensión de sólidos en la columna de agua, obteniéndose 29 m^{-1} en noviembre, lo cual limitó la penetración de la luz solar a la columna de agua.

Con respecto a la relación entre estas variables, los dos primeros componentes extraídos del ACP mostraron una variabilidad acumulada de 98,6 %, siendo ambos significativos. El primer

componente, con un valor propio de 319,33 y una varianza del 95,58 %, se asoció a la salinidad, agrupando las muestras de las estaciones marinas de un lado y las dulceacuícolas del otro. El segundo componente, con un valor propio de 10,11 y una varianza explicada de 3,03 %, se asoció a la temperatura y concentración de oxígeno disuelto e incluyó las muestras de los meses en la que las lluvias fueron más intensas (figura 4).

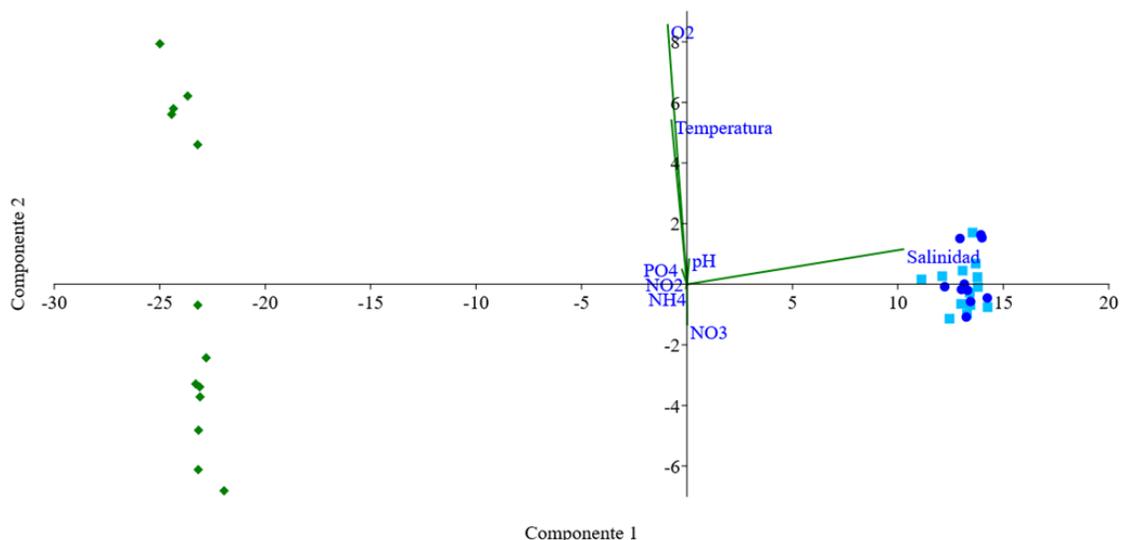


Figura 4. Proyección de las variables fisicoquímicas de las aguas superficiales de la zona costera de Chirimena (abril de 2010 - abril de 2011), definida por los dos primeros componentes del análisis de componentes principales.

Composición y abundancia del microfitoplancton

En las muestras analizadas, se identificaron 168 especies o morfotipos distribuidos de la siguiente manera: 94 diatomeas (55,9 %), 55 dinoflagelados (32,7 %), ocho clorofitas (4,8 %), cinco cianobacterias (3 %), cinco euglenofitas (3 %) y un flagelado (0,6 %). Las especies más frecuentes correspondieron al grupo de las cianobacterias: *Trichodesmium thiebauthii* y *Anabaena* sp., seguidas de las diatomeas: *Nitzschia* sp., *Thalassiosira aestivalis*, *Pseudo-nitzschia seriata*, *Lyrella lyra*, *Asterionellopsis glacialis* y *Thalassiosira nordenskioldii*, los dinoflagelados: *Tripos massiliensis*, *Dinophysis caudata*, *T. furca*, *T. karstenii* y *Protoperidinium depressum*, las clorofitas: *Tetrademus obliquus*, *Kirchneriella* sp., *Ankistrodesmus* sp., *Chlorella* sp., *Closterium kuetzingii* y *Cosmarium* sp. y por último, las euglenofitas: *Phacus* sp. y *Eutreptiella gymnastica*. Es importante destacar la presencia de especies potencialmente tóxicas, tales como *Dinophysis* spp., *Coolia monotis*, *Eutreptiella gymnastica* y *Ostreopsis* spp., de las cuales las dos últimas han generado intoxicaciones masivas en la zona, producto de

floraciones que alcanzan densidades superiores a $3,000 \text{ cel L}^{-1}$ (Pereira *et al.*, 2020).

En cuanto al análisis temporal y espacial del fitoplancton, se pudo observar mayor dispersión de los datos entre las estaciones durante los primeros meses del año, debido a que al estar la quebrada aislada de la playa y no mantener una circulación constante del agua con una descarga continua de nutrientes, se generaron condiciones ideales para el crecimiento de microalgas en densidades muy altas. Esta misma condición hizo que la estación de la quebrada se diferenciara de las estaciones marinas, las cuales presentaron una tendencia más uniforme con aumentos leves en septiembre, diciembre y enero.

El análisis por grupos funcionales indicó que las diatomeas, clorofitas y euglenofitas tuvieron un patrón similar al descrito para el fitoplancton en general, debido a que el primer grupo constituyó la mayor abundancia del fitoplancton y los otros dos grupos crecieron en mayor densidad en la quebrada durante el tiempo en que no hubo comunicación entre la quebrada y la playa. Sin embargo, las euglenofitas presentaron un patrón más

irregular con máximos en mayo, agosto y noviembre. Los dinoflagelados y las cianobacterias presentaron un comportamiento diferente al resto de los grupos. Las mayores densidades de dinoflagelados ocurrieron en la estación marina más costera y el mayor florecimiento se observó en diciembre. Por otra parte, las cianobacterias presentaron menores densidades en la estación marina más cercana de la costa y un comportamiento temporal similar al del resto de los grupos funcionales, aunque en la estación más alejada de la costa, se observó un aumento entre agosto y septiembre.

En la estación de la quebrada, la riqueza promedio fue de 15 especies por muestra. Los valores menores se observaron desde abril hasta octubre con una media de 10 ± 3 especies. A partir de noviembre y hasta finalizar el período de muestreo, la riqueza incrementó sustancialmente a 20 ± 3 especies. Las especies representativas de esta estación fueron las diatomeas *Nitzschia* sp., *Thalassiosira aestivalis*, *Pseudo-nitzschia seriata*, *Lyrella lyra*, *Navicula* spp., *Cymbella* sp. y *Amphora* sp., seguidas por las clorofitas mencionadas anteriormente; las cianobacterias: *Anabaena* sp. y *Oscillatoria* spp. y las euglenofitas: *Phacus* sp. y *Euglena* sp.

Con relación a la abundancia relativa, se observó una correlación inversa con el número de especies, debido a que, entre abril y octubre, se obtuvieron los valores de abundancia más altos con una media de $31,795,000 \pm 24,060,000$ cel L⁻¹ y a partir de noviembre, un promedio de $478,300 \pm 420,500$ cel L⁻¹. En cuanto a la proporción de la abundancia relativa por grupos funcionales, se observó una dominancia de las diatomeas, seguidas por las clorofitas y en menor proporción, el resto de los grupos. La diversidad promedio fue de $2,22 \pm 1,2$ bits ind⁻¹, alcanzando valores superiores ($3,29 \pm 0,33$ bits ind⁻¹) a partir de noviembre, cuando comienzan a aparecer nuevos grupos funcionales y mayor número de especies debido a la desembocadura de la quebrada en la playa.

En las estaciones marinas, se obtuvo una riqueza media de 28 especies sin un patrón temporal definido en el que se evidenciaron máximos en mayo, agosto, enero, febrero y abril de 2011 con un promedio de 42 especies y el resto de los meses presentaron una riqueza promedio de 22 especies. Al no considerar el factor temporal, la riqueza mayor correspondió a las diatomeas con 80 especies, siendo las más representativas *Helicotheca tamesis*, *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros* spp., *Pseudo-nitzschia* spp., *Coscinodiscus perforatus*, *Guinardia delicatula*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp. y *Rhizosolenia* spp., seguidas por los dinoflagelados con 48 especies, de las cuales destacan varias especies de los géneros

Protoperdinium y *Triplos*, las especies *Dinophysis caudata*, *Triadinium polyedricum*, *Scrippsiella acuminata*, *Pyrophacus horologium*, *Pyrocystis* spp. y *Gonyaulax digitalis*, la euglenofita *Eutreptiella gymnastica* y la cianobacteria *Trichodesmium thiebautii*.

En cuanto a la abundancia, en la estación más cercana a la costa, se obtuvo una densidad promedio de $407,300 \pm 1,050,000$ cél L⁻¹, con la abundancia más baja en septiembre, noviembre y marzo con un promedio de $6,200 \pm 2,900$ cél L⁻¹ y la más alta en diciembre con $3,714,580$ cél L⁻¹. Las diatomeas fueron el grupo más numeroso de esta estación en cuanto a su densidad (75 %), seguidas por los dinoflagelados (18 %) y cianobacterias (7 %), con diferencias temporales en la que los dinoflagelados fueron el grupo más representativo del fitoplancton entre octubre y noviembre, mientras que, en abril de 2011, dominaron las cianobacterias.

En la estación más oceánica, los valores más bajos se observaron en julio, octubre y abril con una densidad media de $30,000 \pm 24,000$ cél L⁻¹, mientras que los más altos ocurrieron en agosto, septiembre y enero con una media de $1,250,000 \pm 270,000$ cél L⁻¹. La abundancia relativa mostró un dominio de las cianobacterias, específicamente de la especie *Trichodesmium thiebautii*, seguidas por las diatomeas y dinoflagelados. En términos temporales, las cianobacterias dominaron durante el año 2010, pero a partir de enero de 2011, hubo un predominio de diatomeas hasta el mes de marzo, en el cual fueron sustituidas por los dinoflagelados. La diversidad promedio en las estaciones marinas fue de 3 bits célula⁻¹ con mínimos en diciembre y abril de 2011 con 2,4 y 2,5 bits célula⁻¹, respectivamente y máximos en septiembre, febrero y marzo con valores del índice de diversidad superiores a 4 bits célula⁻¹.

Por su parte, la clorofila, como indicador de la biomasa fitoplanctónica, mostró una concentración media de $3,96 \pm 5,71$ mg L⁻¹. En la estación de la quebrada, se observó una mayor dispersión de los datos ($7,32 \pm 8,46$ mg L⁻¹), debido a que el cuerpo de agua se mantuvo cerrado durante la época de sequía y hubo un aporte constante de nutrientes producto de las descargas de la comunidad que favoreció el crecimiento de microalgas. A partir de que se abrió la comunicación entre la quebrada y la playa, los valores de clorofila se mantuvieron constantes hasta abril, en el cual ocurrió otro máximo. Las estaciones marinas presentaron una concentración media de $2,34 \pm 2,76$ mg L⁻¹ con máximos de abril a junio y en diciembre, sin un patrón estacional definido. Los feopigmentos mostraron una concentración media de $27,70 \pm 67,15$ µg L⁻¹ y un comportamiento espacial y temporal similar al de la clorofila *a*.

No obstante, en la quebrada disminuyó la concentración de feopigmentos a partir de noviembre de $44,34 \mu\text{g L}^{-1}$ a $3,15 \mu\text{g L}^{-1}$, cuando se abrió el canal de comunicación entre ambos cuerpos de agua. Las estaciones marinas presentaron una concentración media de $0,49 \pm 2,08 \text{ mg L}^{-1}$.

En el análisis de ordenación de escala multidimensional no métrica, se observó una separación clara de las muestras de la estación dulceacuícola de las marinas (figura 5). En las

estaciones marinas, se observó que, desde abril hasta junio de 2010, la abundancia del fitoplancton se mantuvo constante y con valores similares entre ambas estaciones, lo cual indicó un proceso de mezcla efectivo de las masas de aguas. En julio, la estructura comunitaria comenzó a variar, pero aún con similitud entre las estaciones. A partir de agosto, comenzaron a diferenciarse las estaciones y se observaron mayores fluctuaciones temporales por efecto de las lluvias.

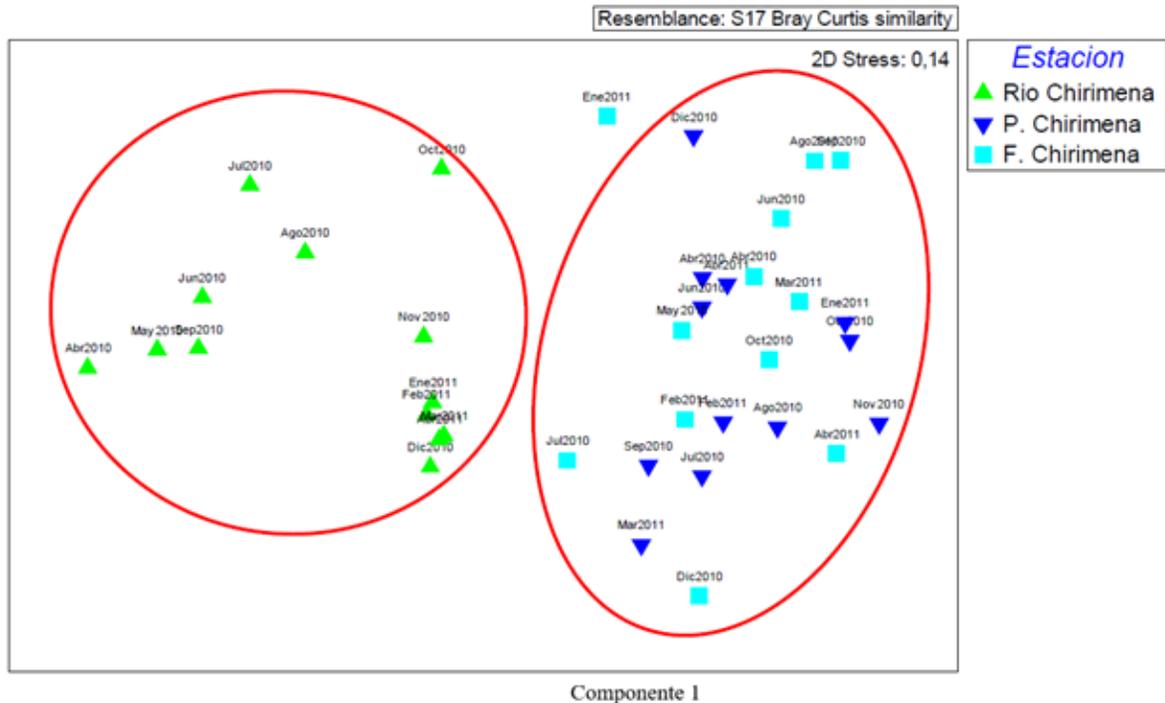


Figura 5. Análisis de ordenación de escalamiento multidimensional no métrico del microfitoplancton de la zona costera de Chirimena entre abril de 2010 y abril de 2011.

Relación de las variables ambientales y el microfitoplancton

Los resultados que se presentan a continuación muestran las especies que modulan la variabilidad de la estructura comunitaria del fitoplancton y al ser correlacionadas con variables físicas y químicas del agua, se identifican aquellas especies indicadoras de dichas condiciones. La prueba SIMPER para la estación Quebrada Chirimena arrojó una similitud media de 15,23 %, con una contribución del 23,66 % por la especie *Nitzschia* sp., 15,68 % por una especie de *Navicula* y 13,46 % por *Thalassiosira aestivalis*, lo cual representa, por grupo, una contribución del 68,34 % para diatomeas, 11,42 % clorofitas, 8,49 % cianobacterias y 2,39 %

euglenofitas. En la estación más cercana a la costa, se obtuvo una similitud del 8,59 %, con una contribución del 38,44 % de dinoflagelados del género *Triplos*, 28,67 % por la cianobacteria: *Trichodesmium thiebautii* y 23,34 % por las diatomeas *Asterionellopsis glacialis*, *Coscinodiscus* spp., *Isthmia enervis*, *Pseudo-nitzschia* spp., *Paralia sulcata*, *Lauderia annulata* y *Skeletonema costatum*. La estación más alejada de la costa presentó una similitud de 10,79 % con una contribución del 79,69 % por *Trichodesmium thiebautii*, 8,78 % por las diatomeas: *Pseudo-nitzschia* spp., *Climacodium frauenfeldianum* y *Nitzschia longissima* y 1,67 % por el dinoflagelado *Triplos furca*.

En el ACP, se obtuvo una variabilidad explicada del 63,84 % en los dos primeros ejes, mostrando una relación entre las

diatomeas *Climacodium frauenfeldianum*, *Skeletonema costatum*, *Lauderia annulata*, *Nitzschia longissima*, *Isthmia enervis*, *Chaetoceros socialis*, *Thalassiosira nordeskioldii*, *Asterionellopsis glacialis*, *Paralia sulcata*, *Pseudo-nitzschia seriata* y los dinoflagelados del género *Tripos* con aguas más oceánicas que tienen salinidad, pH y transparencia más altos. La especie *Thalassiosira aestivalis* se correlacionó positivamente con concentraciones altas de nitratos mientras que las especies *Lyrella lyra*, *Coscinodiscus* spp. y *Nitzschia* spp. con temperaturas y concentraciones de oxígeno disuelto, nitritos, amonio y fosfatos altas, característicos de las aguas provenientes de la quebrada, las cuales permitieron identificar estas especies como indicadores de la calidad del agua.

Por último, la correlación entre las variables fisicoquímicas y la estructura comunitaria del microfitoplancton arrojó que la salinidad y la concentración de fosfatos fueron las variables más importantes, con una correlación del 73,0 %, lo cual indica la influencia de la quebrada de Chirimena sobre el fitoplancton de la zona marina de Chirimena, evidenciado por un gradiente de variación de la salinidad.

Discusión

Se han realizado pocos estudios sobre la estructura comunitaria del fitoplancton marino y su relación con las condiciones hidrográficas en la zona central del país, por lo que este estudio contribuye al conocimiento sobre su biodiversidad marina y sus procesos costeros. Los resultados ponen en evidencia un efecto de la quebrada sobre la zona marina, el cual es más fuerte durante los meses de altas precipitaciones. El aporte de la quebrada y las escorrentías generan procesos de mezcla y enriquecimiento de las aguas marinas durante la época lluviosa debido al arrastre de nutrientes y sólidos, propiciando áreas locales de alta productividad (Pearsons *et al.*, 1979).

Por otro lado, se pone en evidencia un incremento de los nutrientes y disminución de la temperatura superficial del agua durante los primeros meses del año, los cuales son indicadores del ascenso de aguas subsuperficiales, que producen un aumento de la abundancia del fitoplancton y del zooplancton herbívoro (Ferraz-Reyes, 1983). De hecho, Castellanos *et al.* (2002) observaron la presencia de un foco de surgencia en el Cabo Codera, el cual se encuentra a pocos kilómetros del área de estudio, en febrero y marzo de 1996, con una extensión de 10,000 km², en el que la pluma se extendía hacia el noroeste y en ocasiones, hacia el norte. Estos investigadores sugirieron que, en períodos de máxima

surgencia, las plumas de dispersión de diferentes focos de surgencia pueden unirse y formar extensas áreas de aguas frías en el país (Castellanos *et al.*, 2001). Este mismo foco de surgencia podría estar afectando la zona costera de Chirimena.

Durante el estudio, se observaron dos aumentos de la concentración de los nutrientes (figura 3) y clorofila. Este comportamiento temporal responde al aporte continental durante las épocas de máximas precipitaciones y al ascenso de aguas sub-superficiales observado en este estudio durante los primeros meses del año. Estos resultados coinciden con los de Ferraz-Reyes (1983) para la cuenca Tuy-Cariaco, en la cual los ríos Tuy, Capaya y Curiepe tienen una incidencia directa sobre los cambios estacionales de las condiciones ambientales de la costa y como respuesta a ello, de su comunidad fitoplanctónica (González-Perozo *et al.*, 2020).

Se observan patrones temporales y espaciales en algunas variables fisicoquímicas del agua (figuras 2 y 3). Por ejemplo, existe un gradiente espacial en el que las temperaturas descienden en la estación alejada de la costa y otro temporal con un máximo de temperatura en agosto y un mínimo en marzo, meses en los que las concentraciones de las formas de nitrógeno y ortofosfatos son mayores. Asimismo, se observó mayor salinidad en las estaciones alejadas de la costa; pero el patrón se mantuvo constante en el año, con una ligera disminución en los meses de máximas precipitaciones. Durante todo el estudio, se registraron altas concentraciones de oxígeno disuelto, característico de playas de alta energía (oleaje y corrientes) como la de Chirimena.

En cuanto al fitoplancton, se observó mayor dispersión de los datos en los primeros meses del año, debido a la comunicación escasa entre la quebrada y la playa. Esta condición hace que la quebrada se diferencie de las estaciones marinas. Se observó gran heterogeneidad en la zona, debido a la presencia de géneros oceánicos, tales como los dinoflagelados *Ornithocercus* y *Ceratocorys* (Vila *et al.*, 2001); bentónicos como *Coolia*, *Diplopsalis*, *Gambierdiscus*, *Ostreopsis*, *Pleurosigma*, *Odontella*, *Auricula* y *Paralia sulcata*, y costeras características de las costas venezolanas, indicando procesos de mezcla e influencia de masas de aguas oceánicas y continentales. Aunque no se obtuvieron evidencias de floraciones algales nocivas en las muestras analizadas, algunos géneros, tales como *Scropsiella*, *Lingulodinium*, *Gymnodinium*, *Goniaulax*, *Coolia* y *Ostreopsis* son potencialmente productoras de este fenómeno (Ignitiades, 1994). Asimismo, otro estudio realizado en la zona en agosto

de ese mismo año evidenció la ocurrencia de una floración algal nociva de la euglenofita *Eutreptiella gymnastica* y el dinoflagelado *Ostreopsis siamensis* (Pereira *et al.*, 2020). En el caso particular de *Eutreptiella*, estos organismos se distribuyen en ambientes costeros con presencia de altas concentraciones de contaminantes de origen orgánico (Jeffrey y Vesk, 1997), mientras que *Ostreopsis* es un dinoflagelado bentónico con una distribución cosmopolita (Faust *et al.*, 1996).

En general, el fitoplancton estuvo representado en mayor proporción por las diatomeas, tanto en número de especies como en abundancia, las cuales suelen ser el grupo más abundante de la comunidad fitoplanctónica en áreas costeras, debido a su capacidad de asimilación rápida de nutrientes y su tasa reproductiva alta, lo cual les da el calificativo de especies oportunistas (Margalef, 1980; Triantafyllou *et al.*, 2001; Cetin y Sen, 2004). En este mismo orden de ideas, Spiniello (1996) señaló que el grupo de las diatomeas, a nivel nacional, presenta una riqueza de 385 especies y 25 variedades agrupadas en 99 géneros, de los cuales *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, *Navicula* y *Nitzschia* reúnen a más del 35 % de las especies, tal como se observó en los resultados obtenidos en este estudio.

Los dinoflagelados constituyeron el segundo grupo más representativo en las estaciones marinas tanto en riqueza como abundancia, con una relación promedio de un dinoflagelado y siete diatomeas en la estación más costera, la cual varía a un dinoflagelado y 230 diatomeas en la estación más alejada de la costa por la presencia de estos organismos en muy bajas densidades durante los meses de máximas precipitaciones. Esto se explica por el hecho de que los dinoflagelados suelen estar más adaptados a la vida en alta mar y, por ende, dominan sobre las diatomeas en aguas oceánicas. Cuando existe una influencia de aguas continentales en el mar, esta relación se revierte y disminuye la cantidad de dinoflagelados con relación a las diatomeas (Margalef, 1972).

En cuanto a la variabilidad de los pigmentos, Margalef (1965) señaló que cuando se obtienen valores de clorofila a que oscilan alrededor de $0,2 \mu\text{g L}^{-1}$, se puede decir que la concentración de fitoplancton se considera baja, por lo que se sugiere que en este estudio la producción fitoplanctónica fue elevada. También se observó que los meses con mayor concentración de clorofila a coincidieron con los que presentaron altas concentraciones de nutrientes. De hecho, las abundancias obtenidas en este estudio se asemejan a las

obtenidas en el Golfo de Cariaco (La Barbera *et al.*, 1999; Calvo-Trujillo *et al.*, 2018), mientras que fueron inferiores a las obtenidas en la bahía El Tablazo (Briceño *et al.*, 2009), ubicada en la zona occidental del país, y superiores a las obtenidas en la plataforma nororiental de Venezuela (Valera *et al.*, 2003) y la zona oceánica de la Plataforma Deltana (Martín *et al.*, 2007).

A partir de este estudio, se consideran especies indicadoras en la zona a *Trichodesmium thiebautii*, *Pseudo-nitzschia seriata*, *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros socialis*, *Thalassiosira nordeskioldii* y *Tripos massiliensis*, debido a que contribuyen con el 60 % de la disimilitud de la estructura comunitaria entre las estaciones marinas. En el caso particular de *T. thiebautii*, la presencia de cianobacterias se asocia a fenómenos de eutrofización por su capacidad de sobrevivir en cuerpos de agua con altos niveles de materia orgánica y fosfatos (Paerl y Tucker, 1995). No obstante, también pueden encontrarse abundantemente en áreas marinas bajo condiciones normales; de hecho, esta especie está adaptada a cuerpos de agua oligotróficos (Hoffman, 1999; Livingston, 2001), y en este estudio fueron encontradas en todas las muestras de las estaciones marinas, pero con mayor concentración en los meses de transición entre las épocas de sequía y lluvia.

Por su parte, el género *Nitzschia* crece en ambientes ricos en nutrientes; siendo capaz de modificar estas condiciones y hacerlas apropiadas para el desarrollo de otros componentes del fitoplancton (Barber y Ryther, 1969). Anteriormente, *Cylindrotheca closterium* y las especies del género *Pseudo-nitzschia* pertenecían al género *Nitzschia*, por lo que en este trabajo *Pseudo-nitzschia seriata* podría considerarse un indicador de altas concentraciones de nutrientes nitrogenados en el ecosistema (Soler *et al.*, 2003; Caroppo *et al.*, 2005; Bresnan *et al.*, 2015). Asimismo, los géneros: *Chaetoceros*, *Leptocylindrus*, *Nitzschia*, *Rhizosolenia*, *Thalassionema* y *Thalassiosira* se consideran oportunistas y, por lo tanto, indicadoras de las primeras etapas de una sucesión ecológica, debido a que suelen aflorar como consecuencia de las perturbaciones que ocurren constantemente en la zona, relacionadas a los movimientos de las masas de agua (Margalef, 1965; Margalef, 1980; Bresnan *et al.*, 2015). El género *Tripos*, anteriormente *Ceratium*, tiene ventaja sobre aquellos que no pueden sobrevivir en ambientes oligotróficos por su capacidad de migrar verticalmente en la columna de agua en busca de nutrientes, lo que le permite ser un excelente bioindicador de ausencia de fosfatos en la superficie. Asimismo, el género

Asterionellopsis, acompañado de altas densidades de dinoflagelados y cianobacterias, puede indicar ambientes con altas concentraciones de nutrientes, pero sin condiciones de eutrofización (Bellinger y Sigee, 2010).

En cuanto a la diversidad, Margalef (1980) considera que la diversidad del fitoplancton marino oscila entre 1 y 2,5 bits célula⁻¹ y que ésta experimenta cambios regulares a lo largo de la sucesión, presentándose baja diversidad en las primeras etapas por la presencia de pocas especies dominantes. En este estudio, se encontró una diversidad superior a la indicada por Margalef, lo cual explica el potencial pesquero de la zona y la influencia directa de los cuerpos de agua dulce. En la estación más cercana a la costa, el valor de diversidad se mantuvo más constante que en la más oceánica, donde los valores de diversidad mostraron una relación negativa con la abundancia de las especies de cianobacterias, debido al dominio de la especie *Trichodesmium thiebautii* sobre el resto de las especies, durante los meses previos a los de precipitaciones máximas.

Conclusiones

La zona marina y costera de Chirimena se caracteriza por una comunidad fitoplanctónica diversa, característica de aguas turbulentas. Se evidencia un gradiente continente-océano, relacionado con el aporte de aguas continentales durante las épocas de máximas precipitaciones y un ascenso de aguas profundas durante los primeros meses del año. Se identificaron las especies *Trichodesmium thiebautii*, *Pseudonitzschia seriata*, *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros socialis*, *Thalassiosira nordeskioldii* y *Triplos massiliensis* como bioindicadoras de las condiciones de la zona, debido a su relación con variables físicas y químicas específicas y a su capacidad de diferenciar la comunidad espacial y temporalmente.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por Petróleos de Venezuela, S.A. Las muestras fueron analizadas en los laboratorios de Ecotoxicología de la Gerencia de Ambiente de PDVSA Intevap y de Plancton del Instituto de Investigaciones Científicas de la Universidad de Oriente.

Referencias

Al-Yamani, F. y Saburova, M. 2019. *Marine phytoplankton atlas of Kuwait's waters*. Institute for Scientific Research, Kuwait.

APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard methods for the

examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, D.C.

Ayala, R. 2005. Cambios estructurales del fitoplancton e hidrografía en la bahía de Puerto Real, archipiélago de Los Frailes, en el periodo enero – julio, 2004. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Boca del Río, Venezuela.

Balech, E. 1988. *Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental*. Instituto Español de Oceanografía, Madrid.

Barber, R. y Ryther, J. 1969. Organic chelators: factors affecting primary production in the Cromwell current upwelling. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 3: 191-199. Doi: [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(69\)90017-3](https://doi.org/10.1016/0022-0981(69)90017-3).

Bellinger, E. y Sigee, D. 2010. *Freshwater algae*. Walley Blackwell, Londres.

Berárd-Therriault, L., Poulin, M. y Bossé, L. 1999. *Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du Golfe de Saint-Laurent*. Incluant également certains protozoaires. Conseil National de Recherches du Canada, Ottawa.

Bergström, A. y Karlsson, J. 2019. Light and nutrient control phytoplankton biomass responses to global change in northern lakes. *Global Change Biology* 25(19): 2021-2029. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.14623>.

Bresnan, E., Kraberg, A., Fraser, S., Brown, L., Hughes, S. y Wiltshire K. 2015. Diversity and seasonality of *Pseudonitzschia* (Peragallo) at two North Sea time-series monitoring sites. *Helgoland Marine Research* 69: 193-204. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10152-015-0428-5>.

Brewer, J. 1977. Estudio taxonómico y distribución del fitoplancton del Golfo de Santa Fé y áreas adyacentes durante los años 1973-1974. Tesis de maestría, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Briceño, H., Buonocore, R., Sangronis, C., García-Pinto, L., Rojas, J., Chirinos, J., González, A. y López, C. 2009. Composición y abundancia del plancton de la Costa Noreste de la Bahía El Tablazo, Sistema de Maracaibo, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas* 43(4): 463-485.

Busseni, G., Caputi, L., Piredda, R., Fremont, P., Mele, B., Campese, L., Scalco, E., de Vargas, C., Bowler, C., d'Ovidio, F., Zingone A., Ribera, M. y Iudicone, D. 2020. Large scale patterns of marine diatom richness: Drivers and trends in a changing

- ocean. *Global Ecology and Biogeography* 00: 1-14. Doi: <https://doi.org/10.1111/geb.13161>.
- Calvo-Trujillo, A., Rincones-Reyes, K., Díaz-Ramos, J., Márquez-García, B., Subero-Pino, S., Elista-Ramírez, E. y Troccoli-Ghinaglia, L. 2018. Distribución espacial y temporal del fitoplancton en el golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, febrero 2014 – enero 2015. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 47(2): 63-82. Doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemmar.2018.47.2.747>.
- Caroppo, C., Congestri, R., Bracchini, L. y Albertano, P. 2005. On the presence of *Pseudo-nitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup et Hasle and *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden in the Southern Adriatic Sea (Mediterranean Sea, Italy). *Journal of Plankton Research* 27: 763-774. Doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbi050>.
- Castellanos, P., Varela, R. y Müller, F. 2002. Descripción de las áreas de surgencia al sur del mar Caribe examinadas con el sensor infrarrojo AVHRR. *Memoria Sociedad de Ciencias Naturales La Salle* 154: 55-76.
- Cetin, M. y Sen, M. 2004. Seasonal distribution of phytoplankton in Orduzu Dam Lake (Malatya, Turkey). *Turk Journal Botanical* 28: 279-285. <https://journals.tubitak.gov.tr/botany/issues/bot-04-28-3/bot-28-3-2-0211-14.pdf>.
- Chretiennot-Dinet, M., Sournia, A., Ricard, M. y Billard, C. 1993. A classification of the marine phytoplankton of the world from class to genus. *Phycology* 32(3): 159-179. Doi: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-32-3-159.1>.
- Clarke, K., Gorley, R., Somerfield, P. y Warwick, R. 2014. *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation*. PRIMER-E: Plymouth Marine Laboratory, Plymouth.
- Cupp, E. 1943. Marine plankton diatoms of the West Coast of North America. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography Technical Series* 15: 1-238. <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.31822004276283>.
- Elshobary, M., Essa, D., Attiah, A., Salem, Z. y Qi, X. 2020. Algal community and pollution indicators for the assessment of water quality of Ismailia canal, Egypt. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 34: 1089-1103. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01809-w>.
- Falkowski, P., Laws, E., Barber, R. y Murray, J. 2003. Phytoplankton and their role in primary, new, and export production. En: Fasham M., Editor. *Ocean Biogeochemistry. Global Change - The IGBP Series*, Springer, Stockhol.
- Faust, M., Morton, S. y Quod, J. 1996. Further SEM study of marine dinoflagellates: the genus *Ostreopsis* (Dinophyceae). *Journal of Phycology* 32(6): 1053-1065. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1996.01053.x>.
- Ferguson, J. 1968. *Dinoflagellates of the Caribbean Sea and adjacent areas*. University of Miami, Florida.
- Fernández, A. 2007. Cambios estructurales del fitoplancton de La bahía de Juan Griego y su relación con las condiciones hidrográficas durante el período enero - diciembre del 2004. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Boca del Río, Venezuela.
- Ferraz-Reyes E. 1983. Estudio del fitoplancton en la Cuenca Tuy-Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 22(1&2): 111-124.
- Gamboa, M. y Ferreira, J. 1994. Estudio taxonómico de los dinoflagelados (Pyrrophytas) de los islotes Dos Mosquises, Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Boca del Río, Venezuela.
- Gamboa-Márquez, J., Sánchez-Suárez, I. y La Barbera-Sánchez, A. 1994. Dinoflagelados (Pyrrophyta) del Archipiélago Los Roques (Venezuela): Familias Prorocentraceae y Ostreopsidaceae. *Biología Marina* 45: 140-152.
- García, G. 2011. Estructura comunitaria del fitoplancton y su relación con algunas condiciones hidrográficas en Chichiriviche, estado Vargas (enero-diciembre 2009). Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Boca del Río, Venezuela.
- Gómez A. 1996. Causas de la fertilidad marina en el nororiente de Venezuela. *Interciencia* 21(3): 140-146.
- González-Perozo, C., Pereira, C., Troccoli-Ghinaglia, L, Hernández, V, Peña, C., Cruz-Motta, J. y Castillo, A. 2020. Estructura comunitaria del microfitoplancton de la zona costera entre Cabo Codera y Paparo, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 59(1): 51-68.
- Guiry, M. y Guiry, G. 2020. AlgaeBase_URL: <http://www.algaebase.org>. Consultado: 16 de febrero de 2021.
- Halim, I. 1967. Dinoflagellates of the South-East Caribbean (East Venezuela). *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 52: 701-755. Doi: <https://doi.org/10.1002/iroh.19670520504>.

- Hammer, O., Harper, D. y Ryan, P. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 1-9.
- Hemraj, D., Hossain, M., Ye, Q., Qin, J. y Leterme, S. 2017. Plankton bioindicators of environmental conditions in coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 184: 102-114. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.10.045>.
- Hoffmann, L. 1999. Marine cyanobacteria in tropical regions: diversity and ecology. *European Journal of Phycology* 34: 371-379. Doi: <https://doi.org/10.1080/09670269910001736432>.
- Jeffrey, S y Vesk, M. 1997. Introduction to marine phytoplankton and their pigment signatures. En: Jeffrey, S., Mantoura, R. y Wright, S., Editores. *Monographs on oceanographic methods*. UNESCO, Paris.
- Johnson, R y Wichern, D. 2007. Applied multivariate statistical analysis. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Ignitiades L. 1994. Species dominance and niche breadth in "bloom" and "non-bloom" phytoplankton populations. *Oceanologica Acta* 17(1): 89 - 96.
- Krawczyk, D y Gonglewski, N. 1959. Determining suspended solids using a spectrophotometer. *Sewage and Industrial Wastes* 31: 1159-1164.
- La Barbera, A., Gamboa, J. y Senior, W. 1999. Fitoplancton del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 47(1): 57-63.
- Lárez, D. 2004. Variación de la estructura comunitaria del fitoplancton en el área pesquera Porlamar-La Isleta, Isla de Margarita, Venezuela en el período febrero – julio 2002. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Boca del Río, Venezuela.
- Le Fur I., De Wit R., Plus M., Oheix J., Derolez V., Simier M., Malet N. y Ouisse V. 2019. Re-oligotrophication trajectories of macrophyte assemblages in Mediterranean coastal lagoons based on 17-year time-series. *Marine Ecology Progress Series* 608: 13-32. Doi: <https://doi.org/10.3354/meps12814>.
- López, F. 1997, Distribución espacial y temporal de las diatomeas y dinoflagelados en la plataforma Araya – Margarita. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Boca del Río, Venezuela.
- Margalef, R. 1965. Composición y distribución del fitoplancton. *Memorias Sociedad de Ciencias Naturales La Salle* 25(70-72): 141-205.
- Margalef, R. 1972. Las algas inferiores. En: Castelvi, J., Cervigón, F., Díaz-Piferrer, M., Fraga, F., Fukuoka, J., Gómez, M., Margalef, R., Petzall, W., Rodríguez, G., Virgili, C. y Vives, F. Editores. *Ecología marina*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Editorial Dosat, Caracas.
- Margalef, R. 1980. Ecología. Ediciones Omega, Barcelona.
- Martín, A., Malavé, L., Sánchez, D., Aparicio, R., Arocha, F., Bone, D., Bolaños, J., Bolaños-Jiménez, J., Castañeda, J., Cárdenas, J., Carbonini, A., Díaz, Y., Guada, H., Klein, E., Lazo, R., Lemus, A., Lentino, M., Lira, C., Lodeiros, C., López, R., Marín, B., Martínez, G., Márquez, B., Márquez, A., Molinet, R., Morales, F., Posada, J., Prieto, A., Riera, A., Rodríguez, C., Ramírez, A., Senior, W., Solana, P., Severeyn, H., Spiniello, P., Valera, E., Yanes, C. y Zoppi, E. 2007. *Línea base ambiental Plataforma Deltana*. Martín, A. y Bone, B. Editores, Petróleos de Venezuela, S. A. - Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- Martínez J. 1996. Procesos y efectos marino-costeros y sus relaciones con obras marítimas y con usos turísticos del territorio. Análisis de impactos en el litoral venezolano. Centro Regional de Investigaciones Ambientales de la Universidad de Oriente, Boca de Río, Venezuela.
- Naciones Unidas. 2019. Objetivos de desarrollo sostenible. _URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible>. Consultado: 13 de marzo de 2021.
- Paerl, H. y Tucker, C. 1995. Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds. *Journal of World Aquaculture Society* 26(2): 109-131. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1995.tb00235.x>.
- Pearsons, T., Takahashi, M. y Hargrave, L. 1979. *Biological oceanographic processes*. Pergamon Press, United Kingdom.
- Peragallo, M. 1965. *Diatomés marines du France*. A Asher Co., Amsterdam.
- Pereira, C., Quiñones, R. y Hernández, V. 2018. Fitoplancton del Refugio de Fauna Silvestre Isla de Aves: el territorio venezolano más septentrional. *Ciencia, Ambiente y Clima* 1(1): 63-77. Doi: <https://doi.org/10.22206/cac.2018.v1i1.pp45-59>.
- Pereira, C., Fernández, A., Hernández, V. y Troccoli-Ghinaglia, L. 2020. Ocurrencia de floraciones nocivas de microalgas en las costas del estado Miranda, Venezuela. *Ciencia, Ambiente y Clima* 3(1): 55-71. Doi: <https://doi.org/10.22206/CAC.2020.V3I1.PP55-71>.

- Pirela-Ochoa, E., Troccoli, L. y Hernández, I. 2008. Hidrografía y cambios en la comunidad del microfitorplancton de la bahía de Charagato, isla de Cubagua, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 47(1): 3-15.
- Rodríguez-Centeno, M., Díaz-Ramos, J., Charzeddine, L., Subero-Pino, S. y Troccoli-Ghinaglia, L. 2010. Biomasa y abundancia del fitoplancton en la isla La Tortuga, Dependencia Federal, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 49(1): 77-86.
- Round, F., Crawford, R. y Mann, D. 1990. *The diatoms, biology y morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sánchez-Suárez, I. 1994. Ecología y dinámica del fitoplancton en arrecifes coralinos: un estudio en los islotes Dos Mosquises, Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela. Tesis Doctoral, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Sari, L., Al Diana, N., Arsad, S., Pursetyo, K. y Cahyoko, Y. 2021. Monitoring of phytoplankton abundance and chlorophyll-a content in the estuary of Banjar Kemuning River, Sidoarjo Regency, East Java. *Journal of Ecological Engineering* 22(1): 29-35. Doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/128877>.
- Saunders, R. y Glenn, E. 1969. Diatoms. *Memoirs of the Hourglass Cruises*. Vol X. Florida Department of Natural Resources Marine Research Laboratory, St. Petersburg.
- Sokal, R. y Rohlf, F. 2012. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman and Company, New York.
- Solé, M. y Vera, B. 1997. Caracterización de las macroalgas marinas bénticas en la región Chirimena-Punta Caimán, Edo. Miranda, Venezuela. *Caribbean Journal of Science* 33(3-4): 180-190.
- Soler, A., Pérez, M. y Aguilar, E. 2003. *Diatomeas de las costas del Pacífico en Panamá*. Universidad de Panamá, Panamá.
- Sournia, A. 1986. *Atlas du phytoplancton marin*. Vol 1. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Spiniello, P. 1996. Las diatomeas marino-costeras de Venezuela. *Caribbean Journal of Science* 32: 331-347.
- Strickland, J. y Parsons, T. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin of Fisheries Research Board of Canada Ottawa* 167: 1-310.
- Tomas, C. 1996. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press, New York.
- Triantafyllou, G., Petihakis, G., Dounas, C. y Athanasios, T. 2001. Assessing marine ecosystem response to nutrient inputs. *Marine Pollution Bulletin* 43(7-12): 175-186. Doi: [https://doi.org/10.1016/s0025-326x\(01\)00071-6](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(01)00071-6).
- Troccoli, L. 1989. Análisis cualitativo y cuantitativo del fitoplancton de la bahía de Charagato, isla de Cubagua, Venezuela. Tesis de maestría, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Utermöhl, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 9: 1-38. Doi: <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>.
- Valera, R., Carvajal, F. y Muller-Karger, F. 2003. El fitoplancton en la plataforma nororiental de Venezuela. *Fundación La Salle de Ciencias Naturales Contribución* 210: 263-292.
- Vikas, M. y Dwarakish, G. 2015. Coastal pollution: a review. *Aquatic Procedia* 4: 381-388. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.051>.
- Vila, M., Garcés, E. y Masó, M. 2001. Potentially toxic epiphytic dinoflagellate assemblages on macroalgae in the NW Mediterranean. *Aquatic Microbial Ecology* 26: 51-60. Doi: <https://doi.org/10.3354/ame026051>.
- Yamaji, I. 1996. *Illustration of the marine plankton of Japan*. Hoikusha Publishers. Osaka, Japan.
- Zingone, A. y Wyatt, T. 2004. Harmful algal blooms: keys to the understandings of the phytoplankton ecology. Robinson, A., McCarthy, J. y Rothschild, B., Editores. *The Sea*. Harvard University Press, Cambridge.
- Citar como:** Pereira, C., Ferrara De Giner, G., Troccoli-Ghinaglia, L., Hernández, V., Peña, C., Losada, R. y Vera, F. 2021. Comunidad fitoplanctónica en una playa de la costa central de Venezuela y su relación con variables ambientales en un ciclo anual. *Intropica* 16(2): 232 - 245. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4009>.

Microalgas entre escolares de la región de Magallanes-sur de Chile. Una experiencia para desarrollar competencias científicas y divulgar la ciencia

The microalgae among students in the Magallanes region, southern Chile. An experience in developing scientific competencies and science outreach

Gloria Sánchez-Sánchez

Facultad de Ciencias, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile

*Autor de correspondencia: gloria.sanchez@umag.cl

Recibido: 11 de agosto de 2021

Aceptado: 15 de octubre de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen

Palabras clave:
fitoplancton; divulgación; ciencia;
mirocazadores de luz; Magallanes

Con el objetivo de dar a conocer el mundo de las microalgas a estudiantes de la Región de Magallanes (extremo sur austral de Chile), en 2014 surgió la iniciativa "Microcazadores de luz". Entre 2018 y 2020, niños de 10 a 12 años participaron en actividades teórico-prácticas que les permitieron conocer varios grupos de microalgas de la región de Magallanes, así como su ecología, importancia y potencial uso biotecnológico. Los talleres teórico-prácticos fueron diseñados en formato de juego, imaginando que las microalgas pertenecen a un ejército casi invisible llamado microcazadores de Luz. Se estudiaron ejemplos de diferentes grupos de microalgas tales como cianófitas (*Anabaena*), diatomeas (*Didymosphenia geminata*), clorófitas (*Chlamydomonas nivalis*) y haptófitas (*Braarudosphaera bigelowii*), abarcando aspectos biológicos, morfológicos y ecológicos. En total, participaron 109 niños en cinco talleres, realizados en las ciudades de Punta Arenas y Puerto Natales. Los temas fueron presentados mediante historias y/o personificaciones de varias especies de microalgas, representativas de algunos ecosistemas de la región. También se visitaron varios laboratorios donde se cultivan las microalgas y se colectaron muestras que posteriormente fueron revisadas por los niños en el laboratorio. Los talleres tuvieron buena recepción por parte de niños y apoderados, como se evidenció en la rápida terminación de cupos y la alta asistencia.

Abstract

Key words:
phytoplankton; outreach; science;
microhunters of the light; Magallanes

The "Microhunters of the Light" were born in 2014 to unravel the world of microalgae to students in the Region of Magallanes (southernmost Chile). Ten to twelve-year-old kids were introduced to the ecology, importance, and biotechnological potential of microalgal groups from the region of Magallanes. Theoretical and practical workshops were implemented as games, imagining that the microalgae belonged to an almost invisible army called Microhunters of the Light. Several examples of different microalgae groups such as Cyanophyta (*Anabaena*), diatoms (*Didymosphaenia geminata*), Chlorophyta (*Chlamydomonas nivalis*), and Haptophyta (*Braarudosphaera bigelowii*) were studied, including their biology, morphology, and ecology. A total of 109 kids participated in five workshops carried out in Punta Arenas and Puerto Natales. The topics were portrayed using stories and personifications of several microalgal species representative of regional ecosystems. Also, several laboratories where microalgae are cultured were visited, and samples were collected so that the kids could review them in the laboratory later. The workshops had a good reception from both the children and their parents, evidenced by the rapid completion of inscriptions and high attendance.

Introducción

Las microalgas son organismos microscópicos, unicelulares, fotosintetizadores y de organización sencilla. Se encuentran distribuidas y adaptadas a diversos ambientes en todo el planeta, donde cumplen un rol ecológico fundamental como productores primarios (Bellinger y Sigeo, 2010). Su estudio permite evaluar el potencial biotecnológico que pueden presentar algunas de ellas y las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan (Andersen, 2013). Los mecanismos biológicos de sobrevivencia de estos organismos son de mucho interés en la biotecnología y la acuicultura, entre otras áreas (Cavicchioli *et al.*, 2002; Boelen *et al.*, 2013; Cid-Agüero *et al.*, 2017). Pese a la importancia de las microalgas, estas son poco conocidas entre la comunidad escolar de la región.

Estudios recientes han demostrado que a través de la alfabetización científica se incorporan conocimientos, habilidades y competencias que les permiten, en este caso a los estudiantes, comprender y desenvolverse en el mundo actual (Blanco, 2004); sin embargo, en el área de las ciencias, las preguntas acerca de la enseñanza para la formación de personas no están claras y generalmente son contradictorias (Ferrero, 2008). Desarrollar estas habilidades y competencias en el ámbito escolar es un desafío mayor, no solo por la carga laboral de los docentes y/o por su falta de conocimiento, sino también por la cantidad de contenidos que deben abarcar (Claro, 2003; Cornejo, 2009).

Por otra parte, la divulgación de la ciencia es una disciplina que genera espacios de encuentro entre la comunidad científica y el

público no especializado. Se sabe que estos encuentros fomentan el desarrollo científico, la generación de confianza entre la sociedad civil y la comunidad de especialistas, además del enriquecimiento de la cultura y del pensamiento crítico (Calvo, 2006; Sánchez y Roque, 2011; Mogollón, 2015). En el marco del Campamento Científico Escolar de verano, se realizó el taller "Microcazadores de luz", iniciativa que surgió en el 2014 con objetivo de dar a conocer el mundo de las microalgas a estudiantes de la región de Magallanes. Aquí se presentan las actividades realizadas entre 2018 y 2020.

Materiales y métodos

Área de estudio

La región de Magallanes y Antártica chilena es un laboratorio natural que aloja variadas especies de microalgas adaptadas a condiciones extremas, que se desarrollan tanto en las costas oceánicas como en ríos y lagos (Franzmann y Dobson 1993; Taton *et al.*, 2006; Alves de Souza *et al.*, 2008; Cañete *et al.*, 2013; Díaz *et al.*, 2014; Fuentes y Gajardo, 2017). Esta región se ubica en el extremo sur de Chile y presenta ríos caudalosos, fiordos y lagos, así como áreas amplias cubiertas de hielo. De esta zona se seleccionaron ambientes marinos en Costanera, Bahía Mansa y Canal Señoret (estrecho de Magallanes), ambientes de agua dulce en la Reserva Forestal de Magallanes, el Humedal Tres Puentes y Lago Blanco, y ambientes extremos en Laguna Amarga, Laguna Cisnes y la península antártica (figura 1). En torno a estos se organizaron los temas del taller, las actividades y las muestras por recolectar y observar.

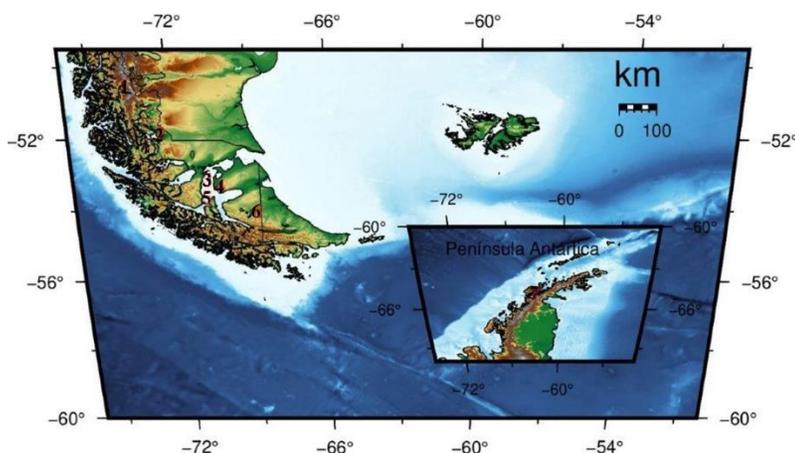


Figura 1. Ubicación de las estaciones de origen de muestras de fitoplancton utilizadas en el taller. 1: Laguna Amarga (Torres del Paine), 2: Canal Señoret (Puerto Natales), 3: Costanera, Reserva Forestal de Magallanes, Humedal Tres Puentes (Punta Arenas), 4: Laguna Cisnes (Puerto Porvenir), 5: Bahía Mansa (Punta Arenas), 6: Lago Grande (Timaukel) y 7: península antártica.

Resultados

Desde el 2018 hasta el 2020 se realizaron cinco talleres: tres en la Universidad de Magallanes, sede Punta Arenas, y dos en la Escuela Coronel Santiago Bueras, en Puerto Natales. Cada taller tuvo una duración de cinco días, jornada completa, durante el

periodo de vacaciones de los niños.

Participantes: En los cinco talleres participaron 109 niños; el ~59 % de los participantes fueron niñas, y el 73 % del total de participantes provenían de colegios municipales y particulares subvencionados por el Estado (tabla 1).

Tabla 1. Características de los participantes de talleres de "Microcazadores de Luz"

Año	Municipio	Participantes		Particular	Colegio parcialmente subsidiado	Municipal
		Niños	Niñas			
2018	Punta Arenas	17	17	13	13	8
2019	Natales	7	19	2	18	6
	Punta Arenas	5	11	9	4	3
2020	Natales	5	7	0	3	9
	Punta Arenas	11	10	5	9	7
	Total	45	64	29	47	33

Temas desarrollados en el taller: Los temas del taller fueron presentados mediante preguntas, con la participación de varios personajes e historias, como se describe a continuación:

El buen investigador: ¿Cómo es un buen investigador? Se discutieron las características que definen a un buen investigador, aplicadas al ámbito científico (Leary, 1985; Lee *et al.*, 2007; D'Augustino, 2017; Raj, 2018).

Introducción: ¿Qué son y cómo son las microalgas? ¿Dónde están? ¿Por qué son importantes? ¿Cómo se estudian? (Bellinger y Sigeo, 2010; Andersen, 2013).

El viaje de *Gephyrocapsa*. A través de un viaje desde Punta Arenas hasta la Antártica se respondió la pregunta ¿De qué color es la nieve en la Antártica? y se dio a conocer a *Chlamydomonas nivalis* (Sánchez *et al.*, 2014; Cid-Agüero *et al.*, 2017) (figura 2 a y b).

Braarudosphaera bigelowii y el pH: Con un modelo de la especie *B. bigelowii* hecho en papel con la técnica de origami, se introdujo a la temática de la acidificación de los océanos y su efecto en el fitoplancton calcáreo (Riebesell *et al.*, 2000). ¿Cuál es el pH del mar? ¿Qué ocurre si cambia el pH? ¿Cómo se mide? Se realizó un experimento de oxidación de carbonato de calcio, a diferentes pH (figura 2 c y d).

La roca zombi: Se analizó la presencia de la diatomea invasora *Didymosphenia geminata* detectada en varios cuerpos de agua dulce de la región de

Magallanes incluyendo el Lago Grande, de Tierra del Fuego (Frangópulos *et al.*, 2016). Se discutieron los mecanismos para evitar su dispersión (figura 2 e y f).

La Srta *Anabaena* y los estromatolitos: En la Laguna Los Cisnes (Puerto Porvenir) hay estromatolitos a partir de los cuales se respondieron las preguntas ¿Alguien sabe qué son eso que parecen rocas? ¿Cómo se formaron? (figura 2g). (Soto, 2016; Fuentes y Gajardo, 2017). Se realizó un práctico para medir la salinidad de diferentes cuerpos de agua, con énfasis en ambientes hipersalinos.

Visita a laboratorios: Dentro de las actividades prácticas en la ciudad de Punta Arenas, se visitaron los laboratorios del:

Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), donde los niños conocieron los cultivos de especies de microalgas formadoras de marea roja.

Instituto Antártico Chileno, donde los niños visitaron el cepario de microalgas antárticas y conocieron su importancia y condiciones de cultivo.

Instituto de la Patagonia (Universidad de Magallanes), laboratorio de cultivo de microalgas regionales y comerciales, con fines acuícolas.

Centro de Cultivos Marinos Bahía Laredo (Universidad de Magallanes), laboratorio de cultivo de microalgas regionales y comerciales, con fines acuícolas.

Salidas a terreno: En Punta Arenas los niños visitaron y colectaron muestras de fitoplancton en la Costanera, la Reserva Forestal de Magallanes, el Humedal Tres Puentes y la Bahía Mansa. En Puerto Natales se visitaron varias estaciones en el Canal Señoret y la Laguna Amarga (Torres del Paine).

Modelos de microalgas en papel

A cada participante se le asignó un género de microalga de la

región de Magallanes. Durante el taller, los niños fabricaron un casco o escudo de papel y cartón, considerando la morfología y las características de la microalga asignada. Previamente al taller, se fabricaron los modelos de *Emiliania* (figura 3, a y b), espora de *Chaetoceros* (figura 3, c y d), *Haematococcus* (células flagelada y de resistencia) (figura 3, e y f) y *Coscinodiscus* (escudo) (figura 3, g y h), que fueron utilizados por el equipo a cargo del taller en las personificaciones, por ejemplo, del "Capitán *Haematococcus*" y del "Mayor *Chaetoceros*".



Figura 2. Evidencia de algunas de las actividades desarrolladas en el taller "Microcazadores de luz": a y b: viaje de *Gephyrocapsa* a la Antártica; c y d: modelo de *B. bigelowii*; lámpara hecha mediante origami por el biólogo marino Nicolás Vega; e y f: títere de la roca zombi y modelo-escudo de la valva de *D. geminata*; g: títere de la Srta. *Anabaena*; h: visita al laboratorio del Instituto de Fomento Pesquero; i: actividad práctica en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Magallanes.

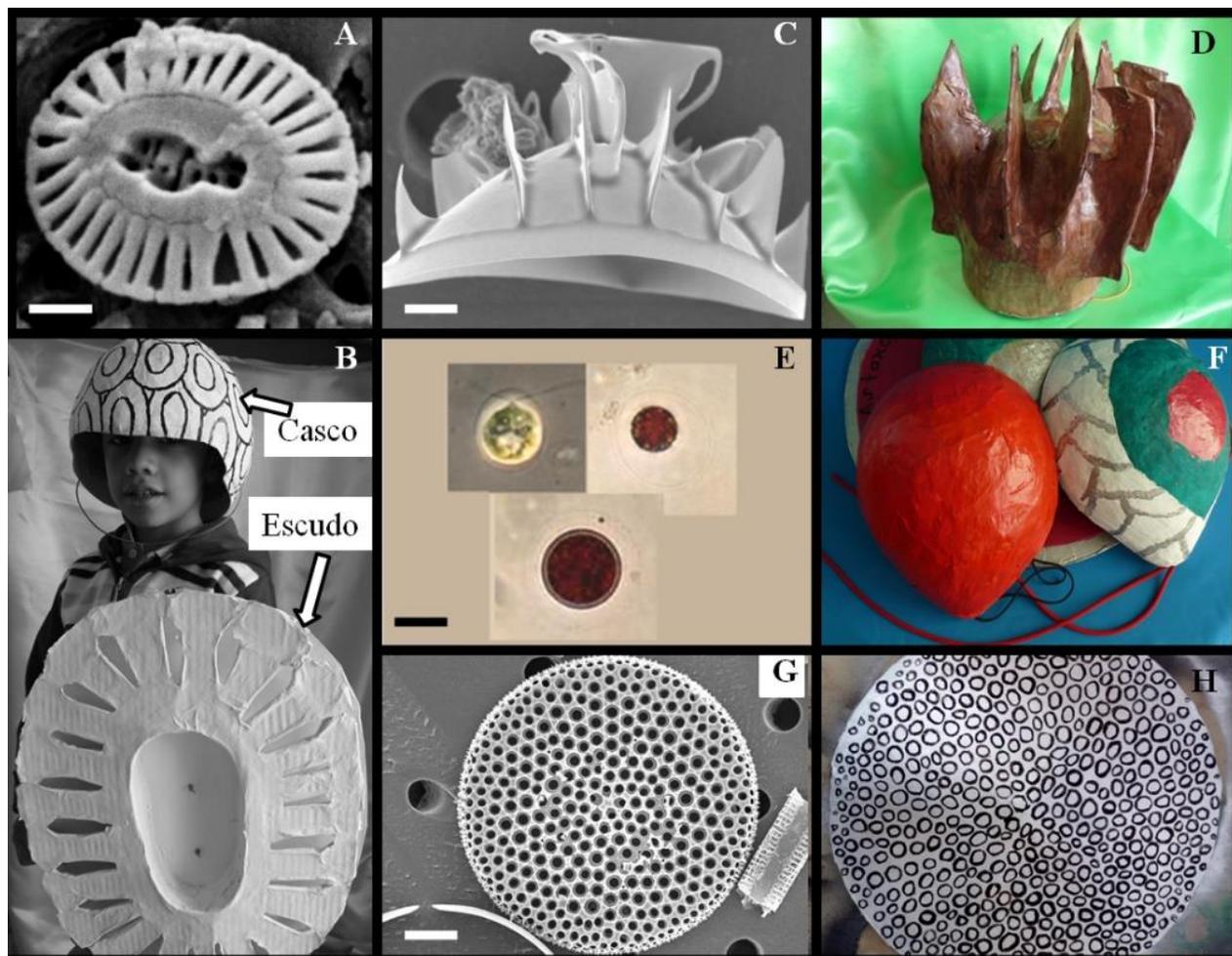


Figura 3. Modelos en papel de microalgas: a y b: *Emiliana*, c y d: espora de *Chaetoceros*; e y f: *Haematococcus* (células flageladas y de resistencia); g y h: *Coscinodiscus* (escudo). Barra: a y c: 1 μ m; e y g: 10 μ m.

Discusión

Al desarrollar el taller "Microcazadores de luz" no se pretendió realizar un estudio científico sobre el aprendizaje o los métodos de enseñanza con evaluaciones formales sobre la asimilación de los conceptos y conocimientos impartidos; en su lugar, se esperó promover el pensamiento científico con estos espacios ya que los niños en edad escolar, como lo sostiene Furman (2008), "tienen la curiosidad fresca, el asombro a flor de piel y el deseo de explorar bien despiertos". De tal forma, esta es una etapa fundamental para enseñar a mirar el mundo con ojos científicos y sentar las bases del pensamiento científico en los alumnos. Así, en gran medida, el éxito o fracaso de su aprendizaje futuro en el área de las ciencias dependerá de estos primeros años de formación (Furman y Podestá, 2009; Harlen, 1999; Unesco, 2009).

Como parte de la evaluación de los resultados del taller, es

importante resaltar el entusiasmo de los participantes y su buena disposición para realizar las actividades. En términos generales, estas fueron llevadas a cabo satisfactoriamente, lo que se vio reflejado en los altos niveles de asistencia por parte de los niños y en el agradecimiento de padres y apoderados, así como por el hecho de que cada año se llenaron los cupos del taller rápidamente. Se sabe que la posibilidad de desarrollar habilidades de observación científica mediante las prácticas de laboratorio y salidas a terreno permite que los estudiantes analicen determinadas ideas cuyo procesamiento se lleva a cabo en diferentes niveles, usando la comprensión y el conocimiento. Este recurso, además, potencializa el desarrollo de comportamientos de contemplación, curiosidad, reflexión, investigación y visualización de acontecimientos del mundo que rodea a los alumnos (Villareal *et al.*, 2005; Matos y Pasek, 2008). En la figura 4 se presentan algunas evidencias de las actividades ejecutadas por los niños..



Figura 4. Evidencias de algas de las actividades realizadas por los niños en el taller "Microcazadores de luz": a: partes del microscopio; b: determinación de pH; c: manejo del microscopio; d: socialización de lo aprendido con sus padres y apoderados; e: Torres del Paine; f: Canal Señoret; g: laboratorio de microalgas del Instituto de la Patagonia y dibujos y modelos de las microalgas observadas; h: *D. geminata*; i: *Nitzschia*; j: *Cocconeis*; k: *Emiliana*.

Conclusiones

Los talleres se realizaron como una estrategia para acercar a los niños a la ciencia y, a su vez, brindar un espacio para que otros investigadores pudieran dar a conocer los avances de sus líneas de investigación, específicamente con las microalgas y en general con las ciencias biológicas.

El uso de las microalgas para talleres como los descritos en este trabajo demuestra la versatilidad de estos organismos no solo como medio para llegar a los niños con conocimientos, sino también para aproximarlos a su entorno natural, al cuidado del medio ambiente y al quehacer científico, tanto en las salidas de campo como en el laboratorio.

Agradecimientos

Estos talleres hicieron parte del Campamento Científico Escolar del Proyecto Asociativo Regional (PAR) Explora de Conicyt, región de Magallanes y de la Antártica chilena. Se agradece a

los investigadores Alejandro Barrientos, Javier Díaz, Máximo Frangópulos, Irlanda Mora, Lorena Rebolledo y Nicolás Vega por su participación en algunas de las actividades. Por abrir las puertas de sus laboratorios en las visitas de los niños, se agradece al Instituto de Fomento Pesquero, sede Punta Arenas, y al Instituto Antártico Chileno. A la Armada colombiana por facilitar la participación de un representante de los "Microcazadores de luz" en la expedición "Almirante Tono" (Cuarta Expedición Científica a la Antártica, verano austral 2017-2018). Finalmente, se les agradece a Juan Carlos Soto, Dante Ruiz y demás ayudantes, quienes con mucho empeño permitieron el éxito del taller.

Referencias

Andersen, R. 2013. The Microalgal Cell. En: Richmond A. y Hu Q. Editor. *Handbook of microalgal culture applied phyecology and biotechnology*. John Wiley y Sons, Ltd, Oxford.

- Alves de Souza, C., González M.T. y Iriarte, J. 2008. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile. *Journal of Plankton Research* 30: 1233-1243.
- Bellinger, E. y Sigeo D. 2010. *Freshwater algae: Identification and use as bioindicators*. Wiley-Blackell. John Wiley y Sons, Ltd Publication, Chichester.
- Blanco, Á. 2004. Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias* 1 (2): 70-86. Doi: <https://doi.org/10.25267/Rev Eureka ensen divulg cienc.2004.v1.i2.01>.
- Boelen, P., van Dijk, R., Sinninghe, J., Rijpstra, I. y Buma A. 2013. On the potential application of polar and temperate marine microalgae for EPA and DHA production. *AMB Express* 3: 26. Doi: <https://doi.org/10.1186/2191-0855-3-26>.
- Calvo, M. 2006. Objetivos y funciones de la divulgación científica. Manual formativo de ACTA. URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5098666>. Consultado: 6 de noviembre de 2021.
- Cañete, J.I., Romero, M.S., Figueroa, T. y Ovando, F. 2013. Biodiversidad, abundancia y estructura comunitaria del neuston recolectado en el crucero Cimar 18 Fiordos (CONA C18F 12-04). Resumen Informe Preliminares, Comité Oceanográfico Nacional, CONA.
- Cavicchioli, R., Siddiqui, K., Andrews, D. y Sowers, K. 2002. Low-temperature extremophiles and their applications. *Current Opinion in Biotechnology* 13: 253-261. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(02\)00317-8](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(02)00317-8).
- Cid-Agüero, P., Cuello, J., B., Ruíz, S. y Sánchez, G. 2017. Growth and lipid profiles of the Antarctic snow microalga *Chlamydomonas* sp. In response to changes in temperature, photoperiod, salinity and substrate. *Anales Instituto Patagonia* 45 (3): 45-58. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-686X2017000300045>.
- Claro, F. 2003. Panorama docente de las ciencias naturales en Educación Media. *Revista de Educación* 307: 13-22.
- Cornejo, R. 2009. Condiciones de trabajo y bienestar/malestar docente en profesores de enseñanza media de Santiago de Chile. *Revista de Educación Social* 30 (107): 409-426. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-73302009000200006>.
- D'Augustino, T. 2017. What makes a good scientist? Url: https://www.canr.msu.edu/news/what_makes_a_good_scientist. Consultado: 06 de noviembre de 2021.
- Díaz, P.A., Molinet, C., Seguel, M., Díaz M., Labra, G. y Figueroa, R. 2014. Coupling planktonic and benthic shifts during a bloom of *Alexandrium catenella* in southern Chile: Implications for bloom dynamics and recurrence. *Harmful algae* 40: 9-22. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.10.001>.
- Ferrero, M. T. 2008. La enseñanza de la Biología en tiempos de cambio. *Biológica* (2).
- Frangópulos, M., Pinto, M., Cárcamo, P., Quilahuilque, P. y Mancilla, O. 2016. Manual de Medidas de Bioseguridad aplicadas a la contención y detección de la microalga invasora *Didymosphenia geminata* en los cuerpos de agua de la región de Magallanes y Antártica chilena. Publisher: Subsecretaria de Pesca y Acuicultura de Chile y Centro Regional de Magallanes Fundación CEQUA, Magallanes.
- Franzmann, P. y Dobson, S. 1993. The phylogeny of bacteria from a modern Antarctic refuge. *Antarct. Science* 5:267-270. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0954102093000355>.
- Fuentes, N. y Gajardo, G. 2017. A glimpse to Laguna de los Cisnes, a field laboratory and natural monument in the Chilean Patagonia. *Latin american journal of aquatic research* 45(2): 491-495. Doi: <https://doi.org/10.3856/vol45-issue2-fulltext-24>.
- Furman, M. 2008. Ciencias Naturales en la escuela primaria: Colocando las piedras fundamentales del pensamiento científico. IV Foro Latinoamericano de Educación, Aprender y Enseñar Ciencias: desafíos, estrategias y oportunidades.
- Furman, M. y Podestá, M. 2009. *La aventura de enseñar ciencias naturales*. Aique, Buenos Aires.
- Harlen, W. 1999. *Effective Teaching of Science: A Review of Research*. Using Research Series, 21. Scottish Council for Research in Education, Edinburgh.
- Leary, R. 1985. Some characteristics of high quality scientific research. *Research Quality* 90-96.
- Lee, A., Dennis, C. y Campbell, P. 2007. Nature's guide for mentors. *Nature* 447: 791-798. Doi: <https://doi.org/10.1038/447791a>.
- Matos, Y., y Pasek E. 2008. La observación, discusión y demostración: Técnicas de investigación en el aula. *Laurus* 14 (27): 33-52.
- Mogollón, G. 2015. Discurso de divulgación científica y tecnológica: de la definición al análisis crítico. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.* 30 (1): 15-26.

Raj, T. 2018. Toward Science of Qualities in Research. *International Journal of Science and Research (IJSR)* 7 (11): 1238-1241.

Riebesell, U., Zondervan, I., Rost, B., Tortell, P., Zeebe, R. y Morel, F. 2000. Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO₂. *Nature*. 407: 364-367. Doi: <https://doi.org/10.1038/35030078>.

Sánchez, Y. y Roque, Y. 2011. La divulgación científica: una herramienta eficaz en centros de investigación. URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5704469> . Consultado: 6 de noviembre de 2021.

Sánchez, G., Lange, C.B., Flóres, J-A, Caniupán. M. y Lamy, F. 2014. Cocolitóforos en sedimentos marinos frente a la entrada occidental del Estrecho de Magallanes (53°S) revelan cambios en la productividad durante los últimos 30.000 años. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42 (5): 1035-1049.

Soto, A. 2016. Caracterización molecular de la diversidad filogenética de cianobacterias asociadas a estromatolitos modernos de la Laguna Amarga, Torres del Paine, Chile. Tesis de pregrado Biología Marina, Universidad de Magallanes, Chile.

Taton, A., Grubisic, S., Balthasart, P., Hodgson, D., Laybourn-Parry, J. y Wilmotte, A. 2006. Biogeographical distribution and ecological ranges of benthic cyanobacteria in East Antarctic lakes. *FEMS Microbiology Ecology* 57 (2): 272-89. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2006.00110.x>.

UNESCO. 2009. Aportes para la enseñanza de las ciencias naturales: Segundo estudio Regional Comparativo y Explicativo (SERCE). Santiago de Chile: Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe.

Villareal, J., Daza, D. y Larrota, J. 2005. Desarrollo de habilidades de pensamiento. Una alternativa para la enseñanza de la biología. *Centro de investigaciones y desarrollo científico* 77-89.

Citar como: Sánchez-Sánchez, G. 2021. Microalgas entre escolares de la región de Magallanes-sur de Chile. Una experiencia para desarrollar competencias científicas y divulgar la ciencia. *Intropica* 16(2): 245 - 252. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4253>

Morphology of three marine epizoic diatoms from the Mexican Pacific: *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum* and *Sceptronema orientale* (Bacillariophyta)

Morfología de tres diatomeas epizoicas marinas del Pacífico mexicano: *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum* y *Sceptronema orientale* (Bacillariophyta)

David U. Hernández-Becerril 

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

*Autor de correspondencia: dhernand@cmar.unam.mx

Recibido: 11 de junio de 2021

Aceptado: 27 de septiembre 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Abstract

Key words:
diatoms; electron microscopy;
morphological characters; new records,
tychoplankton

Diatoms are a successful taxonomic group of microbes exhibiting a high diversity in marine habitats. Marine epibiont diatoms also display a vital diversity of symbiotic associations. Net phytoplankton samples collected in the Mexican Pacific were analyzed, and apart from finding planktonic species, three epizoic diatom species were additionally observed: *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum*, and *Sceptronema orientale*. The three species, usually found attached to copepods, were studied by light, scanning, and transmission electron microscopy (ML, SEM, and TEM), showing morphological characteristics such as the shape of the valves, central (and sigmoid) sternum, fine striae, areolae shape, apical and aggregated rimoportulae, and slit fields at the apices (or poles). Morphological details found in *Pseudohimantidium pacificum* and *Sceptronema orientale* include velum in the areolae (rota type) and the external openings of the rimoportulae, respectively. *Protoraphis hustediana* and *Sceptronema orientale* are new records for the Mexican Pacific.

Resumen

Palabras clave:
caracteres morfológicos;
diatomeas; microscopía electrónica;
nuevos registros; ticiplancton

Las diatomeas constituyen un grupo taxonómico de microbios exitosos, que exhiben una alta diversidad en hábitats marinos. Las diatomeas epibiontes marinas también despliegan una diversidad importante de asociaciones simbióticas. Se analizaron muestras de red de fitoplancton de localidades del Pacífico mexicano, que estuvieron representadas por especies planctónicas, y adicionalmente se observaron tres especies de diatomeas epizoicas: *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum* y *Sceptronema orientale*. Las tres especies, usualmente adheridas a copépodos, fueron estudiadas mediante microscopía de luz, electrónica de barrido y transmisión (ML, MEB y MET), cuyas observaciones mostraron caracteres morfológicos como forma de las valvas, sternum central (y sigmoideo), delicada estriación, forma de las areolas, rimopórtulas agregadas en los ápices, y campos apicales (o en los polos) de ranuras, con lo que se confirman estudios previos. Algunos detalles morfológicos encontrados en *Pseudohimantidium pacificum* y *Sceptronema orientale* incluyen el tipo de velum de las areolas (del tipo rota) y las aperturas externas de las rimopórtulas, respectivamente. *Protoraphis hustediana* y *Sceptronema orientale* son nuevos registros para el Pacífico mexicano.

Diatoms belong to a very successful taxonomic group of microbes in aquatic environs worldwide (Round *et al.*, 1990; Medlin and Kaczmarek, 2004). Marine diatoms exhibit a remarkable diversity in size, shape, and life histories, and planktonic diatoms are a significant contributor to the biomass and productivity of the world's oceans (Kooistra *et al.*, 2007). Littoral, benthic, and epibiont marine diatoms have also been

studied, although they display a high morphologic complexity (Round, 1971; Round *et al.*, 1990). Various diatom species used to live as epizoic forms on small planktonic animals as copepods and others, showing particular ways of attachment (*e.g.*, developing stalks or peduncles, producing mucilage.) (Hiromi and Takano, 1983; Tiffany, 2011; Totti *et al.*, 2011; Gárate-Lizárraga and Esqueda-Escarcega, 2018).

During several oceanographic expeditions carried out along coasts of the Mexican Pacific, the high diversity of planktonic diatoms has been confirmed (Hernández-Becerril *et al.*, 2010, 2013), but additionally epipsammic forms have been also reported, including descriptions of two new species (Hernández-Becerril and Barón-Campis, 2008; Hernández-Becerril *et al.*, 2012).

Three species of araphid diatoms, *Protoraphis hustediana* Simonsen, *Pseudohimantidium pacificum* Hustedt et Krasske, and *Sceptronema orientale* Takano, are considered as epizoic, living on certain species of copepods. There are some modern studies of these three species, especially showing the way they attach to the copepods, some morphologic details (including the formation of chains), and their biological affinities (symbiosis), distributions, and relative abundances (Simonsen, 1970; Gibson, 1978; Hiromi and Takano, 1983; Rivera *et al.*, 1986; Skovgaard and Saiz, 2006; Gómez *et al.*, 2018, 2020; Li *et al.*, 2020).

The main purpose of this work was to study the detailed morphology of these three species to contribute to the knowledge of the diversity of marine diatoms in the Mexican Pacific littorals.

This study is based on material collected during various oceanographic surveys along the coasts of the Mexican Pacific during the period 1985-2019. Main spots were located at: (1) 18° 12.943' N, 103° 20.094' W, (2) 17° 47.729' N, 102° 09.294' W, (3) 17° 08.293' N, 100° 54.078' W, (4) 16° 39.310' N, 99° 55.901' W. Net samples (mesh 64 and 54 µm) were obtained by vertical hauls, the hauling depths depending on the depth of the fixed stations; a set of samples were fixed with formalin (4 %) and another set with ethanol (70 %).

Either raw or rinsed (with distilled water) samples were analyzed by Light Microscopy (LM, Olympus BX 40, attached camera Hitachi KP-D50 Color digital), where preliminary identifications, measurements, and microphotographs were made. After air-drying and coating with gold, whole rinsed samples or isolated specimens were also studied by Scanning Electron Microscopy (SEM, JEOL JSM6360LV). Only cleaned material was observed by Transmission Electron Microscopy (TEM, JEOL TEM1200 EXII), once the acid treatment, recommended by Hasle (1978), was followed.

Terminology for diatoms and the genera *Pseudohimantidium*, *Protoraphis* and *Sceptronema* follows that recommended by Round *et al.* (1990) and Hasle and Syvertsen (1997).

The preliminary microscopical analysis yielded several

planktonic forms of diatoms, and also, the species studied here are considered epizoic species, although they were not found attached to copepods or other small animals.

Description of species

Protoraphis hustediana Simonsen (figures 1-4)

References

Simonsen, 1970, p. 383, pl. 1; Hallegraeff and McWilliam, 1990, p. 39, figures 1-13; Li *et al.*, 2020, p. 121, figures 1 a-f, 2 a-f, 3 a-e.

The cells commonly adhere to copepods (as in the precedent species). Valves are lanceolate (slightly curved), diagonally symmetrical, with rounded apices (figure 1). The valve is convex, curving into the mantle (figure 1). The sternum is conspicuous, linear to slightly sigmoid, especially at the apices, where it becomes slightly bent at opposite sides of the rimoportulae (figure 1, 2). The striae are uniseriate, perpendicular to the central axis, and formed by rounded areolae (figure 2). There is a deep perpendicular groove near each apex of the valve, at the end of the sternum, with four external openings representing the rimoportulae (figure 1, 3, 4). Striae are radial at the end of the valve, and apical slits fields are also apparent (figures 3, 4).

Measurements: Apical axis 45-60 µm, transapical axis 6-10 µm, 30-32 striae in 10 µm, 3-4 areolae in 1 µm.

Pseudohimantidium pacificum Hustedt et Krasske (figures 5-8)

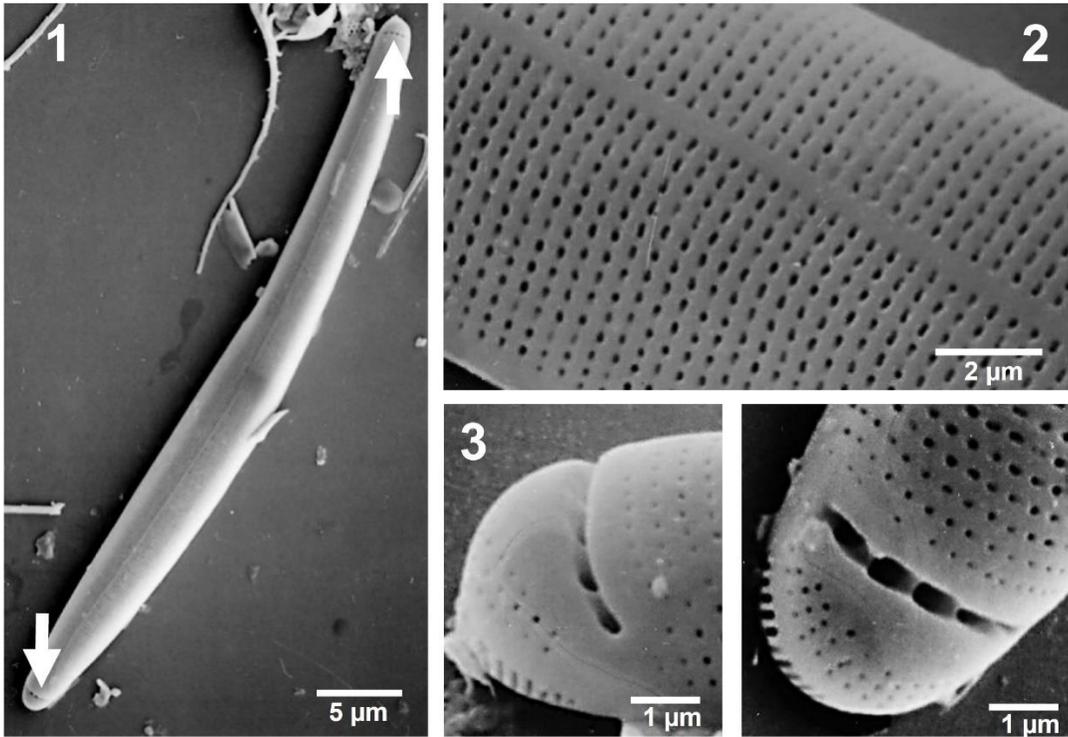
References

Krasske, 1941, p. 272, pl. 5, figure. 8; Simonsen, 1970, p. 385, figures 5-22; Gibson, 1979a, p. 149, figure 1-13; Rivera *et al.*, 1986, p. 21, figure 1-35; Round *et al.*, 1990, p. 446, figure a-g; Fernandes and Calixto-Feres, 2012, p. 837, figures 1-17; Sunesen *et al.*, 2015, p. 268, figure 23-40.

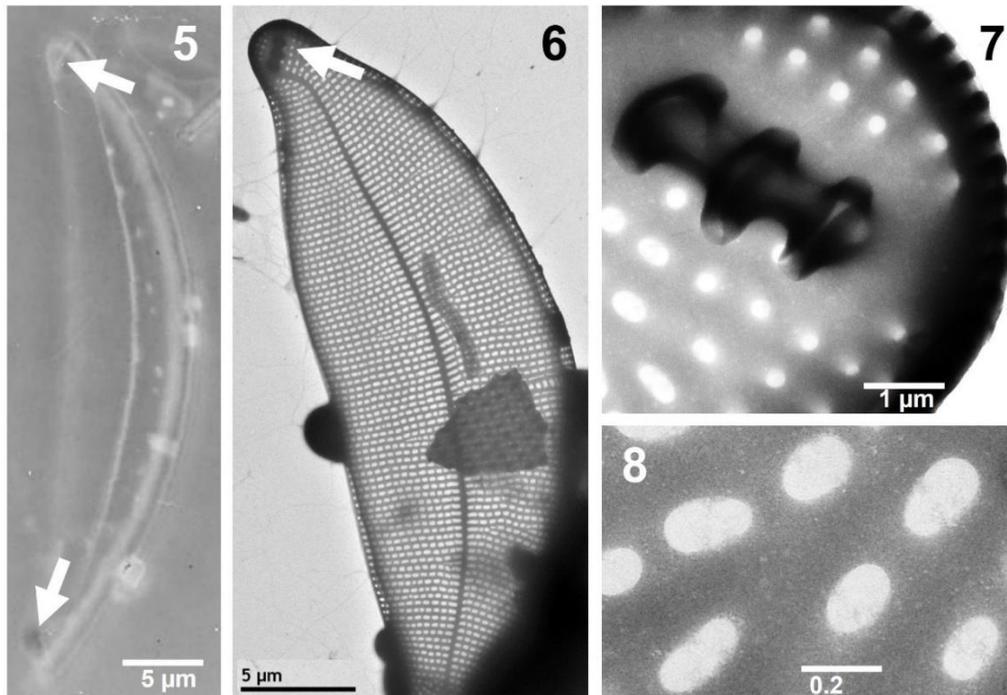
Living cells have been usually found attached to copepods by mucilage stalks produced at the apices of the frustules. Only loose valves were encountered in this study, which could be positively identified as all morphological characters fit well with previous descriptions. Valves are arcuate with subrostrate apices (figure 5, 6). The valve is slightly convex and curves into the mantle. There is a curved, slightly sigmoid, and narrow sternum, at one apex curving more abruptly, ending in the apical rimoportulae and at the other apex ending in the other side of the rimoportulae (figure 5, 6). The striae are uniseriate, perpendicular to the central axis, and turning radiate toward the

apices (figure 6); areolae have a rota type (figure 8). The rimoportulae are located at the apices of the valves, with three

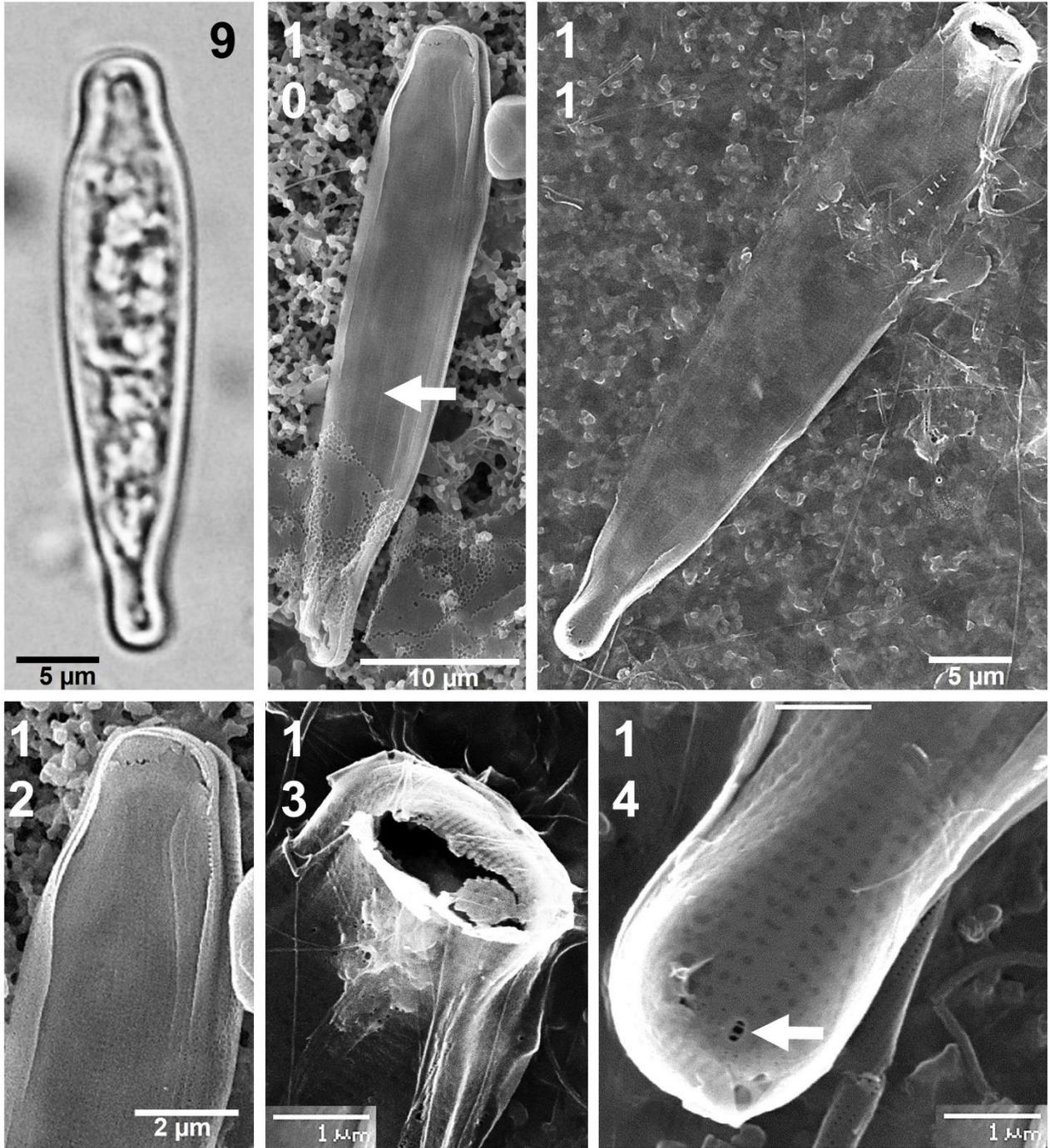
to six rimoportulae aligned next to the other, orientated to the valve's ventral side (figure 5, 7).



Figures 1-4. *Protoraphis hustediana*. Fig. 5. Lanceolate valve with rimoportulae (arrows), SEM. Figure 6. Detail of the central part of the valve, showing sternum and striae, SEM. Fig. 7. Detail of the apical groove, with the external opening of the rimoportulae, SEM. Figure 8. Another view of the apical groove, SEM.



Figures 5-8. *Pseudohimantidium pacificum*. Figura 1. A complete valve showing the central sternum and the rimoportulae (arrows), LM. Figure 2. Another valve with the sternum, striae and rimoportulae (arrow), TEM. Figure 3. Detail of the rimoportulae, TEM. Figure 4. Detail of the areolae, TEM.



Figures 9-14. *Sceptronema orientale*. Figure 9. Solitary cell with a distinct valve shape, LM. Figure 10. Complete frustule, exhibiting the central sternum (arrow), SEM. Figure 11. Another frustule, slightly broken at the head-pole, SEM. Figures 12, 13. Details of the head-pole, with the slit field, SEM. Figure 14. Foot-pole showing the sternum, areolae and the external opening of a rimoportula (arrow), SEM.

***Sceptronema orientale* Takano (Figures 9-14)**

References

Takano, 1983, p. 26, figures 2, 15-20; Sar and Sunesen, 2014, p. 3, figures 2-28; Gómez *et al.*, 2020, p. 26, figures 2 A-U.

Complete, living cells have been detected joined by a mucilaginous pad to copepods. Solitary cells were found in this study (Figures 9-11). Cells in valve view have a distinct shape of an Egyptian sarcophagus (Figures 9-11). Valves are distinctly heteropolar, narrowly obovate, with a head-pole and a narrow capitate foot-pole (Figures 9-11). The valves are flat, and the

sternum is central and straight (Fig. 10). The striae are uniseriate and are perpendicular to the sternum (Figures 10-12), whereas the areolae are round to elliptic (Figures 14). Apical slits with longitudinal bars are present at both poles, although this slit field is more prominent at the head-pole (Figures 12-14). These fields occur more from where the mucilage pads emerge to adhere to copepods. There are numerous rimoportulae close to the poles, especially the foot-pole, where their elliptical external openings are visible (Figures 14).

Measurements: Apical axis 31-48 μm , transapical axis 8-10 μm , 38-42 striae in 10 μm , 4-5 areolae in 1 μm .

Some morphological details of three epizoic marine diatoms found in plankton samples from the Mexican Pacific are provided in this study. These species usually live attached to copepods, although they were encountered as solitary cells or valves, most probably caught accidentally in phytoplankton net samples.

The three species studied here, *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum*, and *Sceptronema orientale*, are all araphid diatoms, which usually produce mucilage pads or stalks to adhere to copepods. There are reports of large infestations of these species (Rivera *et al.*, 1986; Fernandes and Calixto-Feres, 2012; Sar and Sunesen, 2014; Gómez *et al.*, 2020). They are well adapted to epizoic life, developing shapes and mechanisms to deal with the supposed turbulent habitat. They share some morphological characteristics such as the presence of a central sternum (instead of a raphe) and specialized rimoportulae in aggregations or large numbers (Simonsen, 1970; Gibson, 1978; Hiromi and Takano, 1983; Rivera *et al.*, 1986; Gómez *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020).

The morphological characteristics described here have been previously shown in the literature, particularly in studies using electron microscopy, and this is a confirmation of some details, such as the shape of the valves, the central (and sigmoid in two species) sternum, the fine striae and the shape of the areolae, the apical and aggregated rimoportulae (with particular orientation in *Pseudohimantidium pacificum*), and the slit fields at the poles (especially the *species Sceptronema orientale*) (e.g., Simonsen, 1970; Gibson, 1978; Rivera *et al.*, 1986; Fernandes and Calixto-Feres, 2012; Sar and Sunesen, 2014; Gómez *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020). An exceptional morphological detail found in *Pseudohimantidium pacificum* is the areola, a velum of the rota type, not previously described.

From these species, *Pseudohimantidium pacificum* has been

historically recognized and is considered widely distributed and probably the best studied of the marine epizoic diatoms, whereas *Protoraphis hustediana* and *Sceptronema orientale* have been less reported and, consequently, less studied.

The original description of *Sceptronema orientale* included a protocol mentioning the absence of rimoportulae in this species (Takano, 1983, p. 26), although his illustrations (figures 2 C and 17) suggest the presence of various rimoportulae. Later, Sar and Sunesen (2014) provided details of these rimoportulae in the species. The external openings of the rimoportulae were also found in this study.

The species *Pseudohimantidium pacificum* has been already reported from the Mexican Pacific (Gárate-Lizárraga and Muñetón-Gómez, 2009; Gárate-Lizárraga and Esqueda-Escarcega, 2018), but the other species represent new records in the Mexican Pacific, *Protoraphis hustediana* and *Sceptronema orientale*. The recognition of these two records is not a surprise, considering the poor studies dedicated to epibiont diatoms in Mexico and the relatively few records worldwide (cited for each species), and widens the species' distribution in subtropical areas of the Mexican Pacific.

Acknowledgments

Partial support for this study was provided by PAPIIT, DGAPA, UNAM (project IN296516). Coordinación de la Investigación Científica (CIC, UNAM) approved and supported the use of the R/V "El Puma" to carry out the oceanographic cruises of the series "MareaR", where samplings for part of this study were performed.

References

- Fernandes, L.F. and Calixto-Feres, M. 2012. Morphology and distribution of two epizoic diatoms (Bacillariophyta) in Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 26: 836-841. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000400012>.
- Gárate-Lizárraga, I. and Esqueda-Escarcega, G.M. 2018. *Ditrichocorycaeus anglicus* (Copepoda; Poecilostomatoida), new basibiont of *Pseudohimantidium pacificum* (Bacillariophyceae) in Bahía de La Paz, Gulf of California. *CICIMAR Oceanides* 33: 63-67. Doi: <https://doi.org/10.37543/oceanides.v33i1.223>.
- Gárate-Lizárraga, I. and Muñetón-Gómez, M.S. 2009. Primer registro de la diatomea epibionte *Pseudohimantidium pacificum* y de otras asociaciones simbióticas en el Golfo de

- California. *Acta Botánica Mexicana* 88: 31-45. Doi: <https://doi.org/10.21829/abm88.2009.311>.
- Gibson, R.A. 1978. *Pseudohimantidium pacificum*, an epizoic diatom new to Florida Current (Western North Atlantic Ocean). *Journal of Phycology* 14: 371-373. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1978.tb00316.x>
- Gibson, R.A. 1979a. An ultrastructure study of *Pseudohimantidium pacificum* Hust. & Krasske (Bacillariophyceae: Photoraphidaceae) with special reference to the labiate processes. *Nova Hedwigia Beihefte* 64: 147-161.
- Gibson, R.A. 1979b. *Protoraphis atlantica* sp. nov., a new marine epizoic diatom. *Bacillaria* 2: 109-126.
- Gómez F., Courcot, L. and Artigas, L.F. 2020. Observations of the diatoms *Sceptronema orientale* Takano and *Tabularia parva* (Kützing) D.M. Williams and Round on the exoskeleton of copepods in the English Channel and coastal Celtic Seas. *Cryptogamie, Algologie* 41: 25-30. Doi: <https://doi.org/10.5252/cryptogamie-algologie2020v41a4>.
- Gómez, F., Wang, L. and Lin, S. 2018. Morphology and molecular phylogeny of epizoic araphid diatoms on marine zooplankton, including *Pseudofalcula hyalina* gen. & comb. nov. (Fragilariophyceae, Bacillariophyta). *Journal of Phycology* 54: 557-570. Doi: <https://doi.org/10.1111/jpy.12760>.
- Hallegraeff, G.M. and McWilliam, P.S. 1990. The complex labiate process of the epizoic diatom *Protoraphis hustediana* Simonsen. *Nova Hedwigia, Beihefte* 100: 39-45.
- Hasle, G.R. 1978. Diatoms. In: Sournia, A., Editor. *Phytoplankton Manual*. UNESCO, Paris.
- Hernández-Becerril, D.U. and Barón-Campis, S.A. 2008. A new species of the diatom genus *Fryxelliella* (Bacillariophyta), *Fryxelliella pacifica* sp. nov., from the tropical Mexican Pacific. *Phycological Research* 56: 149-155. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1440-1835.2008.00496.x>.
- Hernández-Becerril, D.U., Barón-Campis, S.A. and Ortiz-Lira, H. 2012. A morphological study of epipsammic diatoms (Bacillariophyta) from the tropical Mexican Pacific, including two species of *Aulacodiscus* and a description of the new species *Cerataulus simsae* Hernández-Becerril et Barón-Campis. *Botanica Marina* 55: 73-84. Doi: <https://doi.org/10.1515/bot.2011.124>.
- Hernández-Becerril D.U., Barón-Campis, S.A., Salazar-Paredes, J. and Alonso-Rodríguez, R. 2013. Species of the planktonic diatom genus *Skeletonema* (Bacillariophyta) from the Mexican Pacific Ocean. *Cryptogamie, Algologie* 34: 77-87. Doi: <https://doi.org/10.7872/crya.v34.iss2.2013.77>.
- Hiroimi, J. and Takano, H. 1983. Preliminary note on pelagic marine copepods and their epizoic diatoms. *Bulletin of the Plankton Society of Japan* 30: 171-173.
- Kooistra, W.H.C.F., Gersonde, R., Medlin, L.K. and Mann, D.G. 2007. The origin and evolution of the diatoms: their adaptation to a planktonic existence. In: Falkowsky, P.G. and Knoll A.H. Editors. *Evolution of primary producers in the sea*. Elsevier Academic Press. Cambridge.
- Krasske, G. 1941. Die Kieselalgen des chilenischen Kiistenplanktons. *Archives für Hydrobiologie* 38: 260-287.
- Li, L., Chen C., Sun L., Zhang J., Liang J. and Gao Y. 2020. *Protoraphis* Simonsen, a newly recorded marine epizoic diatom genus for China. *Acta Oceanologica Sinica* 39: 120-126. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13131-019-1467-z>.
- Medlin L.K. and Kacmarska I. 2004. Evolution of the diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. *Phycologia* 43: 245-270. Doi: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-43-3-245.1>.
- Rivera, P.S., González, H.E. and Barrales, H.L. 1986. Cingulum and valve morphology of *Pseudohimantidium* Hustedt & Krasske (Bacillariophyceae). *Phycologia* 25: 19-27. Doi: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-25-1-19.1>
- Round, F.E. 1971. Benthic marine diatoms. *Marine Biology Annual Review* 9: 83-139.
- Round, F.E, Crawford, R.M. and Mann, D.G. 1990. The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sar, E.A. and Sunesen, I. 2014. The epizoic marine diatom *Sceptronema orientale* (Licmophoraceae, Licmophorales): epitypification and emendation of specific and generic descriptions. *Phytotaxa* 177: 269-279. Doi: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.177.5.3>
- Simonsen, R. 1970. Protoraphidaceae, eine neue Familie der Diatomeen. *Nova Hedwigia, Beihefte* 31: 377-394.
- Skovgaard, A. and Saiz, E. 2006. Seasonal occurrence and role of protistan parasites in coastal marine zooplankton. *Marine Ecology Progress Series* 327: 37-49. Doi: <https://doi.org/10.3354/meps327037>.

- Sunesen, I., Romero, S., Toubes, E. and Sar, E.A. 2015. Morphology and distribution of three araphid diatoms (Fragilariophyceae, Bacillariophyta) from marine coastal waters of Argentina. *Iheringia, Serie Botanica* 70: 265-78.
- Takano, H. 1983. New and rare diatoms from Japanese marine waters-XI. Three new species epizoic on copepods. *Bulletin of the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory* 111: 23-35.
- Tiffany, M.A. 2011. Epizoic and epiphytic diatoms. In: Seckbach, J. and Kociolek, P., Editors. *The diatom world. Cellular origin, life in extreme habitats and astrobiology*. Springer, Dordrecht.
- Totti, C., Romagnoli, T., de Stefano, M., Di Camillo, C.G. and Bavestrello, G. 2011. The diversity of epizoic diatoms. Relationships between diatoms and marine invertebrates. In: Seckbach, J. and Dubinsky, Z., Editors. *All Flesh Is Grass, Cellular origin, life in extreme habitats and astrobiology* 16. Springer Science+Business Media B.V.

Citar como: Hernández-Becerril, D.U. 2021. Morphology of three marine epizoic diatoms from the Mexican Pacific: *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum* and *Sceptronema orientale*. *Intropica* 16(2): 260 – 266. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4066>.

GUÍA PARA AUTORES

Intropica es una revista científica de publicación semestral, arbitrada por evaluadores nacionales e internacionales que provee un espacio para la publicación de contribuciones originales e inéditas que estudien e interpreten de manera integrada los ecosistemas tropicales así como los problemas ambientales derivados de la intervención antropogénica sobre el territorio.

La revista *Intropica* está disponible en versión digital con acceso libre (<http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica>) y en versión impresa (ISSN 1794-161X) la cual se distribuye en bibliotecas especializadas de instituciones académicas, gubernamentales y no gubernamentales.

Envío:

Los manuscritos pueden ingresar al proceso editorial a través de la plataforma Open Journal System de la Revista (<http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica>) o a través del correo electrónico revistaintropica@unimagdalena.edu.co. La recepción de manuscritos es permanente. En el envío se deberán adjuntar las figuras en archivos independientes y una carta de aprobación de todos los autores, certificando su originalidad y que no ha sido remitida ni se ha publicado en otra revista. En la carta también deberá indicarse el tipo de contribución (artículo, artículo de revisión, artículo de reflexión o nota científica) y dos posibles evaluadores con sus respectivos datos de contacto. Aunque todas las contribuciones estarán sujetas a revisión previa, la responsabilidad por el contenido de las mismas recae sobre los autores y no sobre el editor, el comité editorial o la Universidad del Magdalena. El formato para elaborar esta carta remisoria puede descargarse del sitio de Internet de la Revista.

Tipos de contribuciones:

a) Artículo de investigación científica y tecnológica. Corresponden a resultados completos de estudios realizados sobre las temáticas que aborda la revista. Los manuscritos tendrán un máximo de 30 páginas, incluyendo las tablas y las figuras. El artículo de investigación deberá seguir el siguiente orden: Título, Autor(es), Dirección postal del (de los) autor(es), Resumen, Palabras claves, Abstract, Key words, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones (opcional), Agradecimientos (opcional), Referencias, Tabla/s con su/s correspondiente/s leyenda/s, Lista de las leyendas de las figuras. Las figuras deben ser enviadas en archivos independientes en formato gráfico (tif, gif, eps).

b) Artículo de revisión. Se refieren a trabajos de revisión crítica que compilan y resumen adecuadamente el grado de avance o del conocimiento y señalan líneas de investigación a seguir. La extensión máxima del manuscrito será de 40 páginas, incluyendo tablas y figuras. Deben contener al menos 50 referencias bibliográficas. El artículo de revisión puede escribirse en un estilo libre, sin embargo deberá incluir Resumen, Palabras clave, Abstract, Key words, Agradecimientos (opcional) y Referencias.

c) Artículo de reflexión. Presenta la perspectiva del autor, fundamentada en literatura científica, como aporte al conocimiento de los temas propios de la revista. Los manuscritos tendrán un máximo de 30 páginas, incluyendo las tablas y las figuras. Se deberá incluir Resumen, Palabras clave, Abstract, Key words, Agradecimientos (opcional) y Referencias.

d) Nota científica. Son descripciones breves de investigaciones limitadas, procedimientos experimentales, operaciones técnicas o aplicadas. En cualquier caso, tienen que ser completamente documentadas, con referencia a la literatura, e indicando los procedimientos experimentales empleados. El manuscrito puede ocupar un máximo de 10 páginas, incluyendo las tablas y las figuras. La Nota científica no debe llevar subtítulos pero sí Resumen, Palabras clave, Abstract y Key words, Agradecimientos (opcional) y Referencias.

Procedimiento de evaluación/arbitraje de los manuscritos

Los editores realizarán una primera evaluación del manuscrito, conceptuando la pertinencia e idoneidad del mismo y lo someterán al proceso de arbitraje doble ciego de por lo menos dos especialistas nacionales (preferiblemente ajenos a la institución editora) o internacionales sobre el tema. En caso de controversia entre los evaluadores se recurrirá a un tercero. Estos especialistas actuarán como revisores del manuscrito, emitirán su concepto y podrán realizar recomendaciones o solicitar aclaraciones en un tiempo máximo de un mes. Posteriormente, las sugerencias de los editores y revisores serán comunicadas a los autores, quienes tendrán un plazo de un mes para responder dichas sugerencias. En caso contrario, el manuscrito será dado de baja y de ser remitido nuevamente se iniciará el proceso editorial desde el principio con un nuevo arbitraje. Los editores tomarán la decisión final de aceptar o no los manuscritos para su publicación. Para estas tareas los editores podrán apoyarse en el comité editorial, cuando así lo estimen pertinente.

Previo a la impresión final de los manuscritos aceptados para publicación, los editores enviarán las pruebas de galera al autor de correspondencia para que efectúe correcciones por errores de digitación únicamente. No se permiten mayores cambios o adiciones al manuscrito editado en esta fase. En caso de comprobación de plagio o de violación de derechos de autor, los editores ordenarán cancelar el proceso editorial. Para mayor información consulte la guía de ética y buenas prácticas editoriales: <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/about/editorialPolicies#custom-3>.

Formato del manuscrito:

El texto se debe enviar como documento en formato Word o RTF con un nombre corto que identifique al manuscrito y al primer autor (e.g. Hifomicetos_López.doc). El texto debe estar interlineado a doble espacio y numeradas las líneas a lo largo del texto (incluyendo tablas), con letra Times New Roman de 12 puntos y con todos los márgenes de 2 cm. Se aceptan manuscritos en español o en inglés. Las páginas deben numerarse consecutivamente. Las tablas se incluirán en formato tabla (no pegarlas como imagen) al final del texto del manuscrito. Las figuras no deben incluirse en el documento del manuscrito.

Para los nombres científicos y las locuciones latinas se utilizará cursiva. No incluya palabras subrayadas ni sangrías. En el caso de citar un taxón de nivel específico o inferior, se debe citar su nombre científico incluyendo el autor. Tanto los autores como los editores se guiarán por las reglas que gobiernan la nomenclatura biológica, de acuerdo a lo acordado en el “International Code of Botanical Nomenclature”, en el “International Code of Nomenclature of Bacteria” y en el “International Code of Zoological Nomenclature”. Se enfatiza que el autor del nombre y el año de publicación de cada taxón sólo deberán aparecer una vez, la primera vez que se mencione.

1. Título. Claro, descriptivo y no demasiado largo. Se solicita en español e inglés. El título del trabajo y los títulos de las secciones principales del manuscrito debe ubicarse en posición central y en mayúsculas; los títulos de segundo rango deben ubicarse en posición central en minúsculas y los de tercer rango alineado a la izquierda. Todos los títulos y subtítulos deben ir en negrita. Adicionalmente, debe suministrarse un título abreviado de máximo 80 caracteres incluyendo espacios.

2. Nombre(s) del (de los) Autor(es). Los nombres se deben escribir en mayúsculas y minúsculas. En el caso de varios autores, el primer nombre debe ser el del autor principal.

3. Dirección del (de los) autor(es). Se deberá anotar institución a la que pertenecen, dirección postal y teléfono de todos los autores. Se deberá agregar el correo electrónico para correspondencia.

4. Resumen y Abstract. Deberá escribirse un resumen en español y otro en inglés. En ambos casos, no deberá exceder las 300 palabras. El resumen debe contener de manera sintética los objetivos del trabajo, una descripción concisa de la parte experimental (incluyendo los tamaños de muestra), principales resultados y conclusiones generadas en el proceso de discusión de los mismos. En el resumen, no se debe incluir referencias bibliográficas y debe escribirse en un solo párrafo. El Abstract debe ser una traducción fiel del Resumen.

5. Palabras clave y Key words. Después del Resumen y del Abstract, deberán incluirse en español e inglés, respectivamente, 3 a 6 palabras clave que identifiquen el manuscrito.

6. Introducción. Se debe presentar una revisión actualizada de la bibliografía pertinente al trabajo (fuentes adecuadamente referenciadas), para fundamentar la hipótesis de trabajo y mostrar el o los objetivos propuestos.

7. Materiales y Métodos. Se deberá incluir, en forma clara y concisa, los principales materiales, así como también los métodos aplicados, de modo que, con esa información, otro investigador pudiese repetir la experiencia. Pueden utilizarse apartados diferentes bajo subtítulos adecuados. No debe describirse un método si ya está descrito en la bibliografía; basta con presentar la cita bibliográfica. Si utiliza un método modificado, debe señalarse claramente la modificación.

8. Resultados. Los resultados deben presentarse en forma clara y precisa, incluyendo tablas, figuras y, en caso necesario, análisis estadísticos.

9. Discusión. Los resultados deben ser contrastados con el conocimiento registrado en la literatura, destacando el aporte del artículo para el entendimiento del tema tratado. Las conclusiones que se extraigan del trabajo deberán ser consecuentes y relacionadas con los resultados expuestos.

10. Agradecimientos. De ser considerado necesario por los autores, se puede incluir algún agradecimiento por contribuciones económicas, asesorías, donaciones u otro tipo de colaboración que haya hecho posible el trabajo.

11. Referencias. Se debe listar la información completa de todas las referencias bibliográficas, las cuáles serán ordenadas alfabéticamente por el apellido del primer autor de cada cita del documento. La exactitud de las referencias bibliográficas es responsabilidad de los autores. *Intropica* utiliza el sistema Harvard de citación. Es necesario tener en cuenta el siguiente estilo de escritura:

- Debe revisarse cuidadosamente el manuscrito para verificar que el deletreado de los nombres de los autores y el año sean exactamente iguales en el texto y en la lista de referencias.
- En el texto se debe referir al (los) apellido(s) del (los) autor(es) y al año de publicación. Por ejemplo, "Rodríguez (1998) encontró que.....". "Una técnica multinomial ha sido descrita para estimar la varianza asociada con proporciones (Kent y Lane, 2004)".
- Cuando en el texto se citan publicaciones escritas por más de dos autores, se escribirá el nombre del primer autor seguido por "et al." sin cursiva. En la Bibliografía deben mencionarse los nombres de todos los autores.

- Si hay varios trabajos de un autor(es) en un mismo año, se citará con una letra en secuencia adosada al año (ejemplo: García et al., 1998a, b, c).
- Las citas en una misma frase del texto deben ser ordenadas cronológicamente. Por ejemplo, “Los indicadores biológicos son ampliamente usados para análisis ambientales (Platt, 1964; Arias y Pérez, 1980; Klimm et al., 2000)”.
- El nombre de las revistas científicas debe estar completo, no abreviado y en cursiva.
- El título de las referencias debe conservar el idioma original.
- Referencias concernientes a datos no publicados (doc. ined.) y “comunicaciones personales” (com. pers.) no deben ser incluidas en la lista de referencias pero si pueden ser citados en el texto.

Use el siguiente formato en la Bibliografía para citar las referencias:

- Publicaciones periódicas o revistas:

Pérez, R., Condit, R., Aguilar, S., Hernández, A. y Villareal, A. 1996. Inventario de la vegetación de la isla de Coiba, Panamá: Composición Florística. *Revista de Biología Tropical* 44: 31-40.

Cubides-Guerrero, P.A. y Ramírez-Franco, J.H. 2014. Adsorción de Cr VI sobre residuos de café. *Revista Mutis* 4(2): 18-25 <http://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/953/992>. Consultado: 2 de enero de 2015

- Libros:

Longhurst, A. y Pauly, D. 1987. *Ecology of tropical oceans*. Academic Press, San Diego.

- Capítulos de libro:

Bucker, D. 1989. Histology. En: Austri, D., Editor. *Methods for the Microbiological Examination of Fish and Shellfish*. Wiley, New York.

- Tesis:

Gil, A. 2000. Evolución bioquímica de los endosimbiontes en insectos asociados con el maíz en el sur de México. Tesis de Doctorado, Universidad Agrícola, Mérida, Yucatán, México.

- Sitios de Internet:

Alexander, J. y M.A. Tate. 2001. *Evaluando las Fuentes Electrónicas*. Widener University. URL: <http://www2.widener.edu/Wolfgram-MemorialLibrary/webevaluation/webeval.htm>. Consultado: 9 de octubre 2012.

12. Tablas

- Deben elaborarse en procesador de tablas de MS Word o MS Excel con la misma fuente y un punto menos que la del texto. No utilice la barra espaciadora o la tecla de tabulación.
- Las tablas deberán ser numeradas y citadas de acuerdo a su secuencia en el texto, en orden correlativo con números arábigos y llevarán una leyenda descriptiva y breve en la parte superior, que será la referencia

de la tabla. Se recomienda que la leyenda sea clara e informativa, de manera que se evite consultar el texto para entender la tabla.

- Las tablas pueden ser insertadas en el cuerpo del manuscrito o al final del mismo.
- La información presentada en las tablas no debe aparecer repetida en las figuras.
- Los encabezados de las columnas deben ser breves, pero explicativos. Usar negrillas solo en los encabezados (horizontales y verticales). Las abreviaturas estándar de las unidades de medida deben colocarse entre paréntesis.
- No deben usarse líneas verticales y horizontales para separar las columnas y filas. Las celdas no llevarán colores.
- Cualquier explicación adicional para el entendimiento de la tabla debe suministrarse como una nota de pie de tabla.
- En el cuerpo de la tabla, la información de texto debe alinearse la izquierda y la numérica a la derecha.

13. Lista de las leyendas de las figuras

- Al final del texto del documento y en hoja aparte se hará una lista con el texto de las leyendas de las figuras.
- No deben utilizarse negrillas y se acentuarán tanto las minúsculas como las mayúsculas.
- Se recomienda que las leyendas sean informativas para que el lector no necesite consultar el texto para entender lo que muestra la figura.
- Se recomienda que las explicaciones o las descripciones que se consideran necesarias se escriban en la misma leyenda para evitar texto dentro de las figuras.

14. Figuras

- Las figuras (dibujos, mapas, láminas, esquemas, gráficas de computador y fotografías) deben ser enviadas en archivos independientes, en formato digital gráfico de alta calidad (tiff, bmp, jpg o gif), con una resolución mínima de 300 dpi. De ser posible, se recomienda enviar archivos gráficos originales de tipo vectorial o en su defecto remitir el archivo original editable en MS Excel.
- El nombre del archivo correspondiente a la figura será el del primer autor seguido por el número de la figura, e.g. López fig.1.jpg.
- Las figuras se enumerarán secuencialmente, utilizando números arábigos.
- Las figuras deben diseñarse teniendo en cuenta el formato de la página de la revista. Su tamaño original debe permitir una reducción del 50 %, sin pérdida de claridad.
- Las figuras compuestas de varias imágenes, se enumerarán correlativamente ej. Figura 1a, 1b, 1c, etc. Los dibujos, fotografías de especímenes y mapas deben tener una escala para referenciar el tamaño.
- Los gráficos deben presentarse en un solo plano (No utilizar efectos 3D), sin líneas horizontales y con recuadro en su parte exterior.
- Use la misma clase de letra (Times New Roman) en todas las ilustraciones y siga el estilo de la revista. Utilice el tamaño de letra que considere necesario para asegurar la lectura del texto, aún en caso de reducción.

15. Anexos

- Los anexos solo estarán visibles en la versión digital de la revistas y éstos se listarán al final del manuscrito de forma secuencial (numerados como ANEXO I, ANEXO II, etc.). El formato de los anexos deben seguir los mismos lineamientos descritos anteriormente para las figuras y/o tablas, según sea el caso.

16. Unidades

Las medidas se deben expresar en unidades del sistema métrico decimal; se deja un espacio entre el número y la unidad de medida y no debe ir punto después de la abreviatura (15 m, 10 %, 20 °C, 7 kg). Las unidades de medidas abreviadas únicamente deben ser usadas cuando van anteceditas de números. Los valores de salinidad deben expresarse sin unidades o símbolos.

17. Fórmulas

- Las ecuaciones matemáticas deben escribirse como texto editable y no como imágenes.
- Dé el significado de todos los símbolos inmediatamente después de la ecuación en la que son usados por primera vez.
- Para fracciones simples use el símbolo “/” en lugar de la línea horizontal; por ejemplo: Sy/Xm en lugar de $\frac{Sy}{Xm}$
- Las ecuaciones explícitamente referenciadas en el texto deben numerarse consecutivamente al lado derecho, entre paréntesis.
- El nivel de significancia estadística debe indicarse con la letra “p” minúscula y sin espacio entre el signo y el valor de significancia. Ejemplo: $p < 0,05$.

18. Cifras decimales

En lo que respecta a las cifras decimales, se deberá usar coma (,) en el caso de las contribuciones redactadas en español y punto (.) en aquellas redactadas en inglés.

Lista de comprobación de preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos:

1. El manuscrito no ha sido publicado previamente, ni se ha presentado a otra revista.
2. El archivo está en formato OpenOffice, Microsoft Word, RTF, o WordPerfect.
3. El texto tiene interlineado doble; el tamaño de fuente es 12 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado y todas las tablas están al final del texto. Las figuras están en archivos aparte en los formatos apropiados.
4. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las instrucciones para los autores, que se pueden encontrar en Acerca de la revista. (Ver: <http://intropica.unimagdalena.edu.co>)
5. Se han añadido direcciones web para las referencias donde ha sido posible.

Derechos de Autor

Intropica de la Universidad del Magdalena se encuentra bajo licencia Creative Commons 4.0 de Colombia: Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual. Cuando el autor cite el trabajo de otro o reproduzca una figura o una tabla de un libro o un artículo de revista, debe asegurarse que no está violando derechos de producción.

Aunque en general un autor puede reproducir tablas, fotografías u otras ilustraciones deberá obtener permiso del propietario de los derechos. Si el propietario de los derechos no es el autor del material citado o reproducido, se recomienda obtener también el permiso del autor. El material extraído de cartas y manuscritos no publicados no

será aceptado a menos que se obtenga el permiso correspondiente. El autor siempre debe hacer un reconocimiento apropiado de cualquier material que le sea suministrado.

Declaración de privacidad

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.



Artículos de investigación científica y tecnológica

Occurrence of *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 (Copepoda, Calanoida, Diaptomidae) from an ephemeral pond in northern Colombia

Presencia de *Notodiaptomus maracaibensis* Kiefer, 1954 (Crustacea: Copepoda: Calanoida, Diaptomidae) en una charca temporal al norte de Colombia

Juan M. Fuentes-Reinés, Eduardo Suárez-Morales y Pedro Eslava-Eljaiek

Bloom algal y abundancia de copépodos en el golfo de Cariaco, Venezuela (Caribe Suroriental)

Algal bloom and abundance of copepods in the gulf of Cariaco, Venezuela (Southeast Caribbean)

Brightdoom Márquez-Rojas, Luis Troccoli y Rafael Díaz-Ramos

Estructura del fitoplancton según la condición metabólica de lagos andinos ubicados en diferente rango altitudinal

Structure of the phytoplankton according to the metabolic condition of andean lakes located in a different altitudinal range

Yaneth Viviana Hernández-Sierra, Adriana Ximena Pedroza-Ramos y Nelson Javier Aranguren-Riaño

Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia

Temporal variation of the phytoplankton composition and abundance in Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia

Martha Jeannette Torres-V., Alejandro Henao-Castro y Laura Contreras-Vega

Variación temporal del zooplancton durante 2017 y 2018 en el sureste de Isla Margarita, Venezuela

Temporal variation of zooplankton during 2017 and 2018 in the southeast of Isla Margarita, Venezuela

Alfredo Gómez Gaspar

Especies del género *Triplos* (Dinophyceae) en el golfo de Urabá, Caribe colombiano

Species of the genus *Triplos* (Dinophyceae) in the Gulf of Urabá, Colombian Caribbean

Lorenzo Portillo-Cogollo, Jesús Javier Hoyos-Acuña, Humberto Luis Quintana-Manotas y

Lucía Atehortúa-Garcé

Fitoplancton del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo durante los periodos de precipitación del 2016 a 2019

Phytoplankton of Los Corales del Rosario y de San Bernardo National Natural Park during the precipitation periods from 2016 to 2019

Rafael Segundo Escobar Pallares y Catherine Pardey Rodríguez

Listado de especies de fitoplancton en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano

Checklist of phytoplankton species in Tumaco bay, Pacific Colombian

Jesús Javier HoYos-Acuña, Humberto Luis Quintana-Manotas, Christian Bermúdez-Rivas, Andrés Felipe Molina-Triana,

Fredy Albeiro Castrillón y Jenny Lisbeth

Comunidad fitoplanctónica en una playa de la costa central de Venezuela y su relación con variables ambientales en un ciclo anual

Phytoplankton community in a beach of the central coast of Venezuela and its relationship with environmental variables in an annual cycle

Carlos Pereira, Griselda Ferrara De Giner, Luis Troccoli-Ghinaglia, Vanessa Hernández, Carolina Peña Ricardo Losada

y Francisco Vera Alicia González-Solis, Daniel Torruco y Ángel Daniel Torruco-González

Microalgas entre escolares de la región de Magallanes-sur de Chile. Una experiencia para desarrollar competencias científicas y divulgar la ciencia

Microalgae among schoolchildren in the Magallanes-sur de Chile region. An experience to develop scientific skills and disseminate science

Gloria Sánchez

Nota científica

Morphology of three marine epizoic diatoms from the Mexican Pacific: *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum* and *Sceptronema orientale* (Bacillariophyta)

Morfología de tres diatomeas epizoicas marinas del Pacífico mexicano: *Protoraphis hustediana*, *Pseudohimantidium pacificum* y *Sceptronema orientale* (Bacillariophyta)

David U. Hernández-Becerril