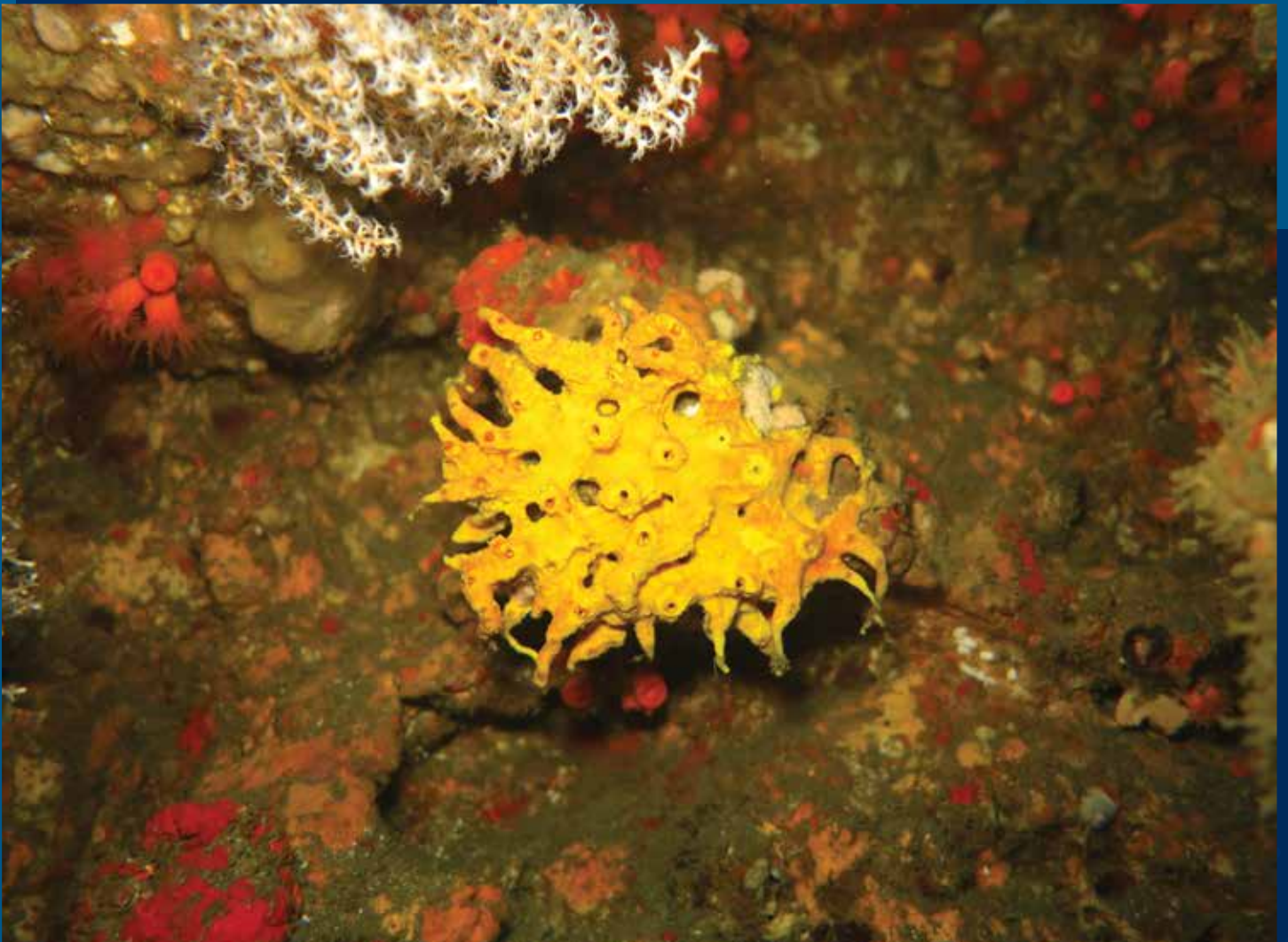


# Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras

Since 1967

## Bulletin of Marine and Coastal Research



Serie de Publicaciones Periódicas

Año 2020 • Volumen 49 (2)



Santa Marta • Colombia

ISSN: 0122-9761

ISSN [Electrónico]: 2590-4671

# BOLETÍN DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS

## Bulletin of Marine and Coastal Research

(Bol. Investig. Mar. Costeras)

ISSN 0122-9761 | ISSN 2590-4671 (en línea)

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* es una publicación indexada de acceso abierto, periodicidad semestral y arbitrada bajo la modalidad ciego. Está dirigida a la comunidad científica y a las personas relacionadas con temas medioambientales en zonas marino-costeras, con particular énfasis en América tropical. Considera para su publicación trabajos inéditos sobre cualquier tópico de investigación en el mar o en ambientes acuáticos de la zona costera, realizados en las áreas tropicales y subtropicales de América.

La revista es editada desde 1967 por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar). Hasta el volumen 8 llevó el nombre de *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín* y entre los volúmenes 9 y 24 se denominó *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras*. A partir del año 2008 se publican dos números por volumen anual, periodicidad que se mantiene hasta la fecha. El primer número se publica en el mes de junio y el segundo, en el mes de diciembre.

El Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras recibe artículos de investigación, artículos de revisión y notas científicas de manera permanente. Se publica en inglés y español en formato PDF. Cuenta con una versión digital que puede ser consultada en [www.invemar.org.co/boletin](http://www.invemar.org.co/boletin) y con una versión impresa que es distribuida nacional e internacionalmente a través del sistema de canje y donación. La revista se encuentra indexada en Scopus desde 2016 (Q4 del Scimago Journal Ranking en la categoría “Animal Science and Zoology”) y en Publindex (categoría B).

*Bulletin of Marine and Coastal Research (title abbreviation: Bol. Investig. Mar. Costeras) is an open-access, semi-annual, indexed publication, refereed under the single-blind modality. It is aimed at the scientific community and people related to environmental issues in coastal and marine areas, with particular emphasis on tropical America. It considers unedited works about research topics on the sea or coastal aquatic environments, undertaken in the tropical and subtropical areas of the Americas.*

*The journal is edited since 1967 by the “José Benito Vives de Andrés” Marine and Coastal Research Institute (Invemar). Until volume 8 it was called Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín, and between volumes 9 and 24, it was called Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Since 2008, two issues are published per annual volume, a frequency that has been maintained to date. The first issue is published in June and the second in December.*

*Bulletin of Marine and Coastal Research receives research articles, review articles, and scientific notes on an ongoing basis. It is published in English and Spanish in PDF format. It has a digital version that can be consulted at [www.invemar.org.co/boletin](http://www.invemar.org.co/boletin) and a printed version that is distributed nationally and internationally through the exchange and donation system. The journal is indexed on Scopus since 2016 (Q4 Scimago Journal Ranking on “Animal Science and Zoology” category) and on Publindex (category B).*

### Director del INVEMAR / General Director

Francisco A. Arias Isaza, *Ph. D.*

### Director de la revista / Journal Director

Jesús A. Garay, *M. Sc.*

INVEMAR, Colombia

### Editor general / Editor-in-Chief


Arturo Acero Pizarro, *Ph.D.*

Universidad Nacional de Colombia sede Caribe (Cecimar), Colombia

### Comité editorial / Editorial Board


Antonio Baeza, *Ph.D.*

Clemson University y Smithsonian Marine Station at Fort Pierce, EE. UU.

 0000-0002-2573-6773


Arturo Acero Pizarro, *Ph.D.*

Universidad Nacional de Colombia sede Caribe (Cecimar), Colombia

 0000-0002-6637-9901


Diego L. Gil Agudelo, *Ph.D.*

Texas A&M University at Galveston, EE. UU.

 0000-0001-7873-4694


Gabriel R. Navas S., *Ph.D.*

Universidad de Cartagena, Colombia

 0000-0001-9554-6345


Gladys Bernal, *Ph.D.*

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia

 0000-0001-6333-6028


Guillermo Díaz Pulido, *Ph.D.*

Griffith University, Australia

 0000-0002-0901-3727


Javier A. Díaz Ochoa, *Ph.D.*

Universidad de Magallanes, Chile

 0000-0002-1911-0467


Jorge Enrique Páramo, *Ph.D.*

Universidad del Magdalena, Colombia

 0000-0002-8380-2716


José Horrillo Caraballo, *Ph.D.*

Swansea University, Reino Unido

 0000-0001-7694-3812


José Julián Tavera, *Ph.D.*

Universidad del Valle, Colombia

 0000-0003-4517-9238


Luisa Villamil, *Ph.D.*

Universidad de La Sabana, Colombia

 0000-0003-2188-5453


Marco Alejandro Correa, *Ph.D.*

INVEMAR, Colombia

 0000-0002-4714-9553


María del Pilar Blanco Parra, *Ph.D.*

Universidad de Quintana Roo, México

 0000-0003-2492-2168


Maribeb Castro, *Ph.D.*

Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

 0000-0001-6353-1018


Mateo López Victoria, *Dr.rer.nat.*

Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia

 0000-0002-7307-8680

Nikita Gaibor, *Ph.D.*

Instituto Nacional de Pesca, Ecuador

 0000-0002-4773-3434


### **Jefe de Comunicación Científica / Head of Scientific Communication Team**


Isabela Katime Arroyave INVEMAR, Colombia


### **Asistente del comité editorial / Editorial Board Professional**

Nesly Melissa Bello INVEMAR, Colombia


### **Comité científico / Scientific Board**


Adolfo Sanjuan Muñoz, *M. Sc.*  
 0000-0002-4786-862X Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Alfredo Gómez Gaspar, *M. Sc.*  
 0000-0002-2430-2738 Museo Marino de Margarita y Universidad de Oriente (Nueva Esparta), Venezuela


Efraín Rodríguez Rubio, *Ph. D.*  
 0000-0002-1150-3194 Centro de Innovación y Tecnología-ICP y Ecopetrol, Colombia

Gloria E. Sánchez, *Ph. D.* Universidad de Magallanes, Chile

Juan Manuel Díaz, *Dr.rer.nat.*  
 0000-0002-2026-6522 Fundación Marviva, Colombia

Kludia Hernández, *Ph. D.*  
 0000-0002-8490-2882 Universidad Andrés Bello, Chile

Marie Luise Schnetter, *Dr.rer.nat.* Justus-Liebig-Universität Gießen, Alemania

Mónica Puyana, *Ph. D.*  
 0000-0001-7600-3118 Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Yves François Thomas, *Ph. D.* Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Francia

### **Evaluadores de este número / Reviewers for this issue**

Pedro Ricardo Dueñas Ramirez, *M. Sc.* Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Sigmer Quiroga Yamuruk, *Ph. D.* Universidad del Magdalena, Colombia

Gloria Helena Ospina Salazar, *M. Sc.* Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe, Colombia

Francisco Alonso Solís Marín, *Ph. D.* Universidad Nacional Autónoma de México, México

Raúl Andrés Montoya Sánchez, *Ph. D.* Cooperativa de Tecnólogos e Ingenieros de la Industria del Petróleo y Afines, Colombia

Jorge E. Corredor, *Ph. D.* City College of New York, Estados Unidos

Beatriz Reguera, *Ph. D.* Instituto Español de Oceanografía, España

Ismael Gárate Lizarraga, *M. Sc.* Instituto Politécnico Nacional-CICIMAR, México

Sven Zea, *Ph. D.* Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe (Cecimar), Colombia

Maria Cristina Diaz Ronda, *Ph. D.* Harbor Branch Oceanographic Institute, Estados Unidos

Andía Chávez Fonnegra, *Ph. D.* Florida Atlantic University, Estados Unidos

Arturo Acero Pizarro, *Ph. D.* Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe (Cecimar), Colombia

Carlos Julio Polo Silva, *Ph. D.* Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, sede Santa Marta, Colombia

Digna Rueda Roa, *Ph. D.* University of South Florida, Estados Unidos

María Isabel Criales, *Ph. D.* Universidad Industrial de Santander, Colombia

Yrene Margarita Astor, *M. Sc.* Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Venezuela

### **Foto portada / Cover Photo**

*Aplisyna* cf. *revillagigedi*, La Parguera-Corrientes, 21/08/2015 (Foto: Luis Chasqui)

### **Traducción / Translation**

Springer

### **Diagramación y montaje / Layout and Assembly**

John Khatib (Ediprint SAS)

### **Impresión / Print**

Ediprint SAS, Bogotá D.C., Colombia

### **Canje / Exchange**

Centro de Documentación / Documentation Center (CDO) • E-mail: [bibliote@invemar.org.co](mailto:bibliote@invemar.org.co)

### **Distribución / Distribution**

Asistente del comité editorial / Editorial Board Professional • E-mail: [boletin@invemar.org.co](mailto:boletin@invemar.org.co)  
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (INVEMAR)  
Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero • Santa Marta, Colombia

### **Boletín en línea / Online Bulletin**

[www.invemar.org.co/boletin](http://www.invemar.org.co/boletin)

---

**Derechos reservados conforme a la ley**  
**El Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras está bajo la licencia de Creative Commons**  
**Atribución-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional**

**All rights reserved by law. The Bulletin of Coastal and Marine Research is under**  
**Creative Commons license BY-NC-SA 4.0**



***Citar los artículos/Citation Style:***

Autores. 2020. Título del artículo. Bol. Investig. Mar. Costeras, 49(2): rango de páginas.

Authors. 2020. Title of article or note. Bull. Cost. Mar. Res., 49(2): page range.

---

# **BOLETÍN DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS**

**Bulletin of Marine and Coastal Research**

**(Bol. Investig. Mar. Costeras)**

Registrado en SCOPUS, Biological Abstracts, Biosis Previews,  
Periódica, Zoological Record, Latindex, Scielo-Colombia  
DOAJ e ISI Web of Knowledge

**49 (2)**



**Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras  
“José Benito Vives de Andrés”**

Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Santa Marta, Colombia, 2020



---

## TABLA DE CONTENIDO/CONTENTS

---

### **María Fernanda Cardona-Gutiérrez y Edgardo Londoño-Cruz**

Gusanos perforadores (Sipuncula y Annelida: Polychaeta) de los arrecifes coralinos del Pacífico Tropical Oriental (isla Gorgona, Colombia)  
Boring worms (Sipuncula and Annelida: Polychaeta) from Tropical Eastern Pacific coral reefs (Gorgona Island, Colombia) . . . . . 9

### **Sven Zea y Nicolás Espada Gómez-Lor**

Caracterización de variables físicas en La Escollera, una laguna costera artificial en Santa Marta, Caribe colombiano  
Characterization of physical variables at La Escollera, a human-made coastal lagoon in Santa Marta, Colombian Caribbean. . . . . 25

### **Natalia Arbeláez M., Julián Franco-Angulo y Luisa F. Espinosa**

Incidencia estacional de mareas rojas en la bahía de Santa Marta y sectores adyacentes, Caribe colombiano  
Seasonal incidence of red tides in the Bay of Santa Marta and adjacent sectors, Colombian Caribbean . . . . . 49

### **Jesús David-Colón y Dairo Marín-Casas**

*Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov. (Dyctioceratida: Spongiidae): una nueva especie de esponja para el Caribe colombiano  
*Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov. (Dyctioceratida: Spongiidae): a new sponge species from the Colombian Caribbean . . . . . 67

### **Nicoll Lizarazo, Sven Zea, Luis Chasqui y Natalia Rincón-Díaz**

Biodiversidad de esponjas en arrecifes rocosos del Chocó norte, Pacífico colombiano  
Biodiversity of sponges in rocky reefs of North Chocó, Colombian Pacific. . . . . 79

### **Alfredo Gómez Gaspar y Arturo Acero P.**

Comparación de las surgencias de la Guajira colombiana y del oriente venezolano  
Comparison of the upwellings of the Colombian Guajira and eastern Venezuela . . . . . 131

### **Laura Cristina Moreno-Jiménez y Giomar Helena Borrero-Pérez**

*Chaetaster nodosus* Perrier, primera estrella de mar perteneciente a la familia Chaetasteridae  
(Echinodermata: Asteroidea) registrada para el Caribe colombiano  
*Chaetaster nodosus* Perrier, first starfish belonging to the family Chaetasteridae  
(Echinodermata: Asteroidea) registered for the Colombian Caribbean . . . . . 173

### **Melissa Scheel Dalmau, Manuel Camilo Velandia, Juan Manuel Díaz, Andrés Felipe Navia y Paola Andrea Mejía-Falla**

Presencia de la raya chupare del Pacífico *Styracura pacifica* en Colombia  
y ampliación de su distribución geográfica en el Pacífico Oriental Tropical  
Occurrence of the Pacific chupare stingray *Styracura pacifica* in Colombia  
and extension of its geographical range in the Tropical Eastern Pacific . . . . . 179

Guía de autores/Author's guide . . . . . 185

Ética de publicación/Publication ethics . . . . . 190








## Gusanos perforadores (Sipuncula y Annelida: Polychaeta) de los arrecifes coralinos del Pacífico Tropical Oriental (isla Gorgona, Colombia)

### Boring worms (Sipuncula and Annelida: Polychaeta) from Tropical Eastern Pacific coral reefs (Gorgona Island, Colombia)

María Fernanda Cardona-Gutiérrez<sup>1,2</sup> y Edgardo Londoño-Cruz<sup>1\*</sup>

 0000-0003-4910-0312

 0000-0001-5762-9430

1. Grupo de Investigación en Ecosistemas Rocosos Intermareales y Submareales Someros (LITHOS), Departamento de Biología, Universidad del Valle, Cali, Colombia. maria.cardona.gutierrez@correounivalle.edu.co; edgardo.londono@correounivalle.edu.co\*

2. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (Cicimar), Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, México.

\* Autor de correspondencia.

#### RESUMEN

El conocimiento de los gusanos bioerosionadores en los arrecifes coralinos del Pacífico Tropical Oriental (PTO) colombiano es escaso. Para saber qué especies perforan estos sustratos coralinos se utilizaron unidades experimentales hechas de ramas muertas de *Pocillopora* spp., las cuales estuvieron expuestas en los arrecifes coralinos de la isla Gorgona (Pacífico colombiano) durante varios periodos de tiempo. Un total de 571 gusanos de 21 especies fueron recolectados; de estas, 18 son poliquetos y 3 sipúnculos. La mayoría de estas especies corresponden a nuevos registros para el PTO colombiano, en concreto, 13 de las 18 especies de poliquetos y 2 de las 3 de sipúnculos. Estos hallazgos sugieren la necesidad de realizar más estudios con el objetivo de generar conocimiento sobre la biodiversidad de estos grupos poco conocidos en regiones poco estudiadas, como es el caso del PTO colombiano.

**PALABRAS CLAVE:** Pacífico colombiano, perforadores, carbonato de calcio, nuevos registros, gusanos

#### ABSTRACT

The knowledge of boring worms in the coral reefs of the Colombian Tropical Eastern Pacific (TEP) is scarce. To know which species bore into coralline substrates, experimental units made of dead branches of *Pocillopora* spp. were deployed and exposed in the coral reefs of Gorgona Island (Colombian Pacific) during various periods of time. A total of 571 worms in 21 species were collected. Of these, 18 were polychaetes and 3 sipunculids. Most of these species correspond to new records in the Colombian TEP, specifically 13 of the 18 species of polychaetes and 2 of the 3 species of sipunculids. These findings suggest that more research is needed to gain knowledge about the biodiversity of these poorly-known groups in understudied regions like the Colombian TEP.

**KEYWORDS:** Colombian Pacific, borers, calcium carbonate, new records, worms

## INTRODUCCIÓN

Los gusanos (poliquetos y sipúnculos) asociados a los arrecifes coralinos del Parque Nacional Natural Gorgona (PNN Gorgona) (Figura 1) son poco conocidos, principalmente por la dificultad de observarlos debido al hábitat que ocupan o por la dificultad de recolectarlos. Los estudios en los que se han mencionado algunos de estos organismos han sido pocos (v. g. Cantera *et al.*, 2003; Londoño-Cruz *et al.*, 2003) y, por lo tanto, son escasas las especies que se han identificado. Algunos gusanos son considerados perforadores (Hutchings, 1986), *i. e.* penetran (usando diferentes medios) el sustrato (v. g. coral) que les sirve como refugio seguro. Las galerías que producen pueden debilitar la resistencia del sustrato, lo cual lo hace más frágil y susceptible de romperse; cuando estas galerías quedan vacías, pueden servir de entrada a otras especies perforadoras (v. g. moluscos bivalvos) (Londoño-Cruz *et al.*, 2003), lo que incrementa la destrucción coralina.

El PNN Gorgona (2,9689 °N-78,1819 °W), junto con el islote Gorgonilla, es el territorio insular más extenso sobre la plataforma continental del Pacífico colombiano. Esta isla está ubicada a ~30 km de la costa (Zapata, 2001; Londoño-Cruz, *et al.*, 2003; Giraldo, 2012). Las condiciones para la formación de arrecifes coralinos son marginales. Las precipitaciones anuales son altas (promedio de 8000 mm/año), lo que ocasiona bajas salinidades que fluctúan entre 29 (marzo) y 31 (septiembre). La temperatura media superficial del agua presenta variación estacional y es influenciada por fenómenos naturales como El Niño Oscilación Sur (18 °C en meses de La Niña y 33 °C en meses de El Niño). Las mareas son semidiurnas, con amplio rango mareal (~4,5 m). Finalmente, se presenta una reducción en la transparencia del agua (poca visibilidad), dado que la concentración de sólidos disueltos totales es relativamente alta: esta varía ~8 m a lo largo del año, con valores extremadamente bajos durante lluvias torrenciales (Prahl y Erhardt, 1985; Zapata, 2001; Londoño-Cruz *et al.*, 2003; Giraldo *et al.*, 2008). A pesar de esto, el PNN Gorgona presenta algunos de los arrecifes coralinos más desarrollados y diversos del límite sur de la distribución de arrecifes coralinos del PTO (Zapata, 2001; Londoño-Cruz *et al.*, 2003; Zapata y Vargas-Ángel, 2003; Giraldo *et al.*, 2008).

Los principales y más grandes arrecifes de coral del PNN Gorgona, La Azufrada y Playa Blanca (9,8 y 9,4 ha, respectivamente), están ubicados al costado oriental de la isla. Estos arrecifes son jóvenes y someros (Zapata, 2001; Giraldo *et al.*, 2008) y están dominados por especies de corales

## INTRODUCTION

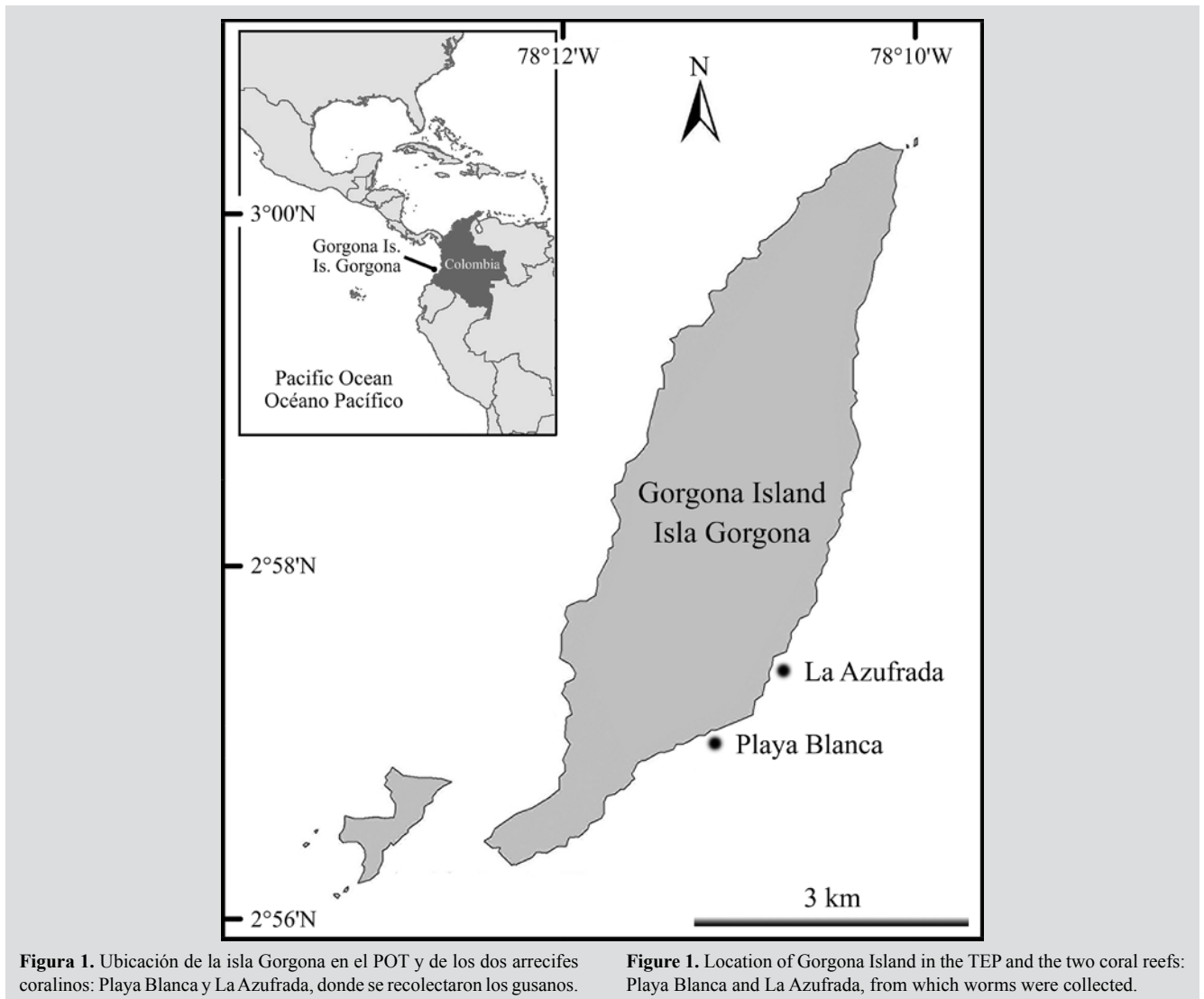
The worms (polychaetes and sipunculids) inhabiting the coral reefs of the Gorgona National Natural Park (Gorgona) (Figure 1) in Colombia are poorly known, mainly due to the difficulty of direct observation given the habitats they use or to the difficulty of collecting these animals. There are few studies (e.g. Cantera *et al.*, 2003; Londoño-Cruz *et al.*, 2003) that have mentioned some of these organisms, hence, only a few species have been identified. Some worms are considered borers (Hutchings, 1986), *i.e.* they penetrate (by different means) the substrate (e.g. coral) to dwell in a safe refugium. The galleries produced may weaken the substrate hardness and hence make it more fragile and prone to break; when empty these galleries may also serve as openings for the colonization of other boring species (e.g. bivalve mollusks) (Londoño-Cruz *et al.*, 2003), which increases coral destruction.

Gorgona (2.9689 °N-78.1819 °W), along with Gorgonilla islet, is the largest insular territory on the Colombian Pacific coast. This island is ~30 km from the closest mainland point (Zapata, 2001; Londoño-Cruz, *et al.*, 2003; Giraldo, 2012). Environmental conditions are marginal to coral reef formations. The mean annual precipitation is 8000 mm with concomitant low salinities that vary between 29 (during March) and 31 (during September). Water temperature varies annually and is affected by the ENSO cycle, reaching highs of 33 °C during El Niño and lows of 18 °C during La Niña. Tides are semidiurnal with a range of ~4.5 m. Finally, the concentration of total dissolved solids is relatively high, which is reflected in reduced water transparency (low visibility), this varies around 8 m year-round, with extremely low values during periods of heavy rain (Prahl and Erhardt, 1985; Zapata, 2001; Londoño-Cruz *et al.*, 2003; Giraldo *et al.*, 2008). Regardless of these conditions, Gorgona holds some of the most developed and diverse coral reefs in the southern reach of coral reef distribution in the TEP (Zapata, 2001; Londoño-Cruz, *et al.*, 2003; Zapata and Vargas-Ángel, 2003; Giraldo *et al.*, 2008).

The largest coral reefs of Gorgona, Playa Blanca and La Azufrada (9.8 and 9.4 ha, respectively), are located on the lee (southeastern side) of the island. These reefs are young and shallow (Zapata, 2001; Giraldo *et al.*, 2008), and are dominated by Indopacific coral species (Zapata and Morales, 1997; Zapata, 2001). Playa Blanca is formed by two reef patches, the smallest of which is located to the north; in turn, La Azufrada is north to Playa Blanca (Prahl

provenientes del Indopacífico (Zapata y Morales, 1997; Zapata, 2001). Playa Blanca está conformado por dos parches, el más pequeño de los cuales está hacia el norte. Por su parte, La Azufrada está al norte de Playa Blanca (Prahly y Erhardt, 1985; Zapata, 2001) (Figura 1). Estos arrecifes muestran el típico patrón de zonación de los arrecifes coralinos de borde, con un canal de navegación, seguido del trasarrecife, donde la cobertura coralina es menos de 50 %; la planicie arrecifal, el frente arrecifal, donde la cobertura coralina es la mayor (alcanza más de 80 %), y el talud arrecifal, donde la cobertura coralina baja hasta 20 %, con abundante cascajo coralino (Prahly y Erhardt, 1985; Díaz *et al.*, 2000; Zapata, 2001). La riqueza de corales en el PNN Gorgona es la más alta en el Pacífico colombiano, con dominancia de corales del género *Pocillopora* (Prahly y Erhardt, 1985; Zapata, 2001). Dada la importancia de los ecosistemas de arrecifes de coral, la escasez en el conocimiento de los gusanos de la costa del Pacífico de

and Erhardt, 1985; Zapata, 2001) (Figure 1). These reefs show the typical zonation pattern of fringing coral reefs, with a navigation channel, followed by the back-reef, where live coral cover is less than 50%; the reef-flat, the reef-front, where live coral cover is highest, reaching more than 80 %, and the reef-slope, where live coral cover is as low as 20 % and there is abundant coral rubble (Prahly and Erhardt, 1985; Díaz *et al.*, 2000; Zapata, 2001). Although coral richness in Gorgona is the highest in the Colombian Pacific, there is a dominance of corals of the genus *Pocillopora* (Prahly and Erhardt, 1985; Zapata, 2001). Given the importance of coral reef ecosystems, the scarcity in knowledge regarding worms in the Pacific coast of Colombia, and that certain species of worms may act as borers of coral substrates, the main purpose of this document was to identify the members of the boring worms associated to coral reefs of Gorgona Island (Colombian Pacific).



**Figura 1.** Ubicación de la isla Gorgona en el POT y de los dos arrecifes coralinos: Playa Blanca y La Azufrada, donde se recolectaron los gusanos.

**Figure 1.** Location of Gorgona Island in the TEP and the two coral reefs: Playa Blanca and La Azufrada, from which worms were collected.

Colombia y que ciertas especies de gusanos pueden actuar como perforadores de sustratos de coral, el objetivo principal de este documento fue identificar a los gusanos perforadores asociados a los arrecifes de coral de la isla Gorgona (Pacífico colombiano).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron ramas muertas, sin señales de bioerosión, de *Pocillopora* spp. (aquellas que presentaron señales de bioerosión fueron descartadas) y se les dio forma de cilindros, con una pulidora manual, de tamaño similar (Unidades Experimentales, UE). A cada UE se le perforó un extremo, en el que se introdujo y cementó (con resina epóxica) una varilla de acero inoxidable de 1,59 mm de diámetro en forma de L. Además, varillas de acero inoxidable más grandes (6,35 mm de diámetro × 2 m de largo) fueron clavadas en la matriz arrecifal, lo que dejó 50 cm por fuera de esta. Las UE se ataron, utilizando amarraderas plásticas, a esta porción de la varilla (una UE por varilla). Cinco UE fueron puestas de forma aleatoria en cada zona de cada arrecife y se dejaron allí durante uno de cinco diferentes periodos de exposición que fluctuaron entre 6 y 18 meses (con intervalos de 3 meses). De esta manera, se logró una buena representatividad temporal y espacial. Todas las UE (n=200) fueron puestas el mismo día (2016/02/11). Cuando el periodo de exposición para una UE terminó, esta se recolectó, se almacenó en un recipiente plástico con formalina al 10 % y se llevó al laboratorio. Todos los organismos adheridos a la superficie de las UE fueron removidos. Después de esto, cada UE fue cuidadosamente fracturada usando alicates de presión con el propósito de extraer todos los organismos presentes en el interior del fragmento de coral. Todos los gusanos (poliquetos y sipúnculos) fueron identificados al nivel taxonómico más bajo posible usando claves dicotómicas (Cutler, 1994; León-González *et al.*, 2009); además, se revisaron las descripciones originales disponibles en *Biodiversity Heritage Library*. Finalmente, todas las especies identificadas fueron almacenadas en la Colección de Referencia de Organismos Marinos (CROM) del Departamento de Biología de la Universidad del Valle, Cali (Colombia).

## RESULTADOS

Se colectaron en total 571 individuos de gusanos (poliquetos + sipúnculos) (Tabla 1). Estos animales pertenecen a 21 especies, 18 de poliquetos y 3 de sipúnculos (ver Figura 2 para un ejemplo de algunas de las especies colectadas). Las

## MATERIALS AND METHODS

Branches of *Pocillopora* spp. colonies, with no signs of bioerosion, were collected and shaped into similar-sized cylinders (Experimental Units: EUs), using a handheld grinder. Each EU was drilled in one of the ends to anchor a 1.59 mm diameter stainless steel L-shaped rod using epoxy resin. Besides, larger (6.35 mm diameter × 2 m long) stainless steel rods were hammered, leaving around 50 cm outside, into the reef framework. The EUs were tied (using cable ties) to this portion of the rod (one EU per rod). Five EUs were randomly deployed along each reef zone of each reef and left there during one of five different exposure periods that ranged between 6 and 18 months (with 3 month intervals). In this manner, a good spatial and temporal representation was achieved. All EUs (n=200) were deployed the same day (2016/02/11). Once the exposure period ended for an EU, it was collected, stored in a plastic container with 10% formalin, and taken to the lab. All fouling was removed from the EU surface. After that, each EU was carefully fragmented using locking pliers to extract all organisms dwelling inside the coral matrix. All worms (polychaetes and sipunculids) were identified to the lowest taxonomic level possible using dichotomic keys (Cutler, 1994; de León-González *et al.*, 2009). Besides, original descriptions available in the Biodiversity Heritage Library were reviewed. Finally, all identified species were stored in the Reference Collection of Marine Organisms (CROM) of the Department of Biology at the Universidad del Valle, Cali (Colombia).

## RESULTS

A total of 571 worm specimens (polychaetes + sipunculids) were collected (Table 1). These worms were allocated in 21 species: 18 polychaetes and 3 sipunculids (see Figure 2 for an example of some of the collected species). Polychaetes comprise 10 families and sipunculids comprise 2. New records are marked with superscripts as follows: <sup>1</sup> for Gorgona coral reefs only, <sup>2</sup> for PNN Gorgona, and <sup>3</sup> for the Colombian Eastern Tropical Pacific. The consulted literature for each species is listed right below the species name. The material examined presents the batch code of the CROM. All information related to distribution was obtained from the World Register of Marine Species (WoRMS, 2019). Finally, a brief discussion is added only to species that match original descriptions but differ in certain characters.

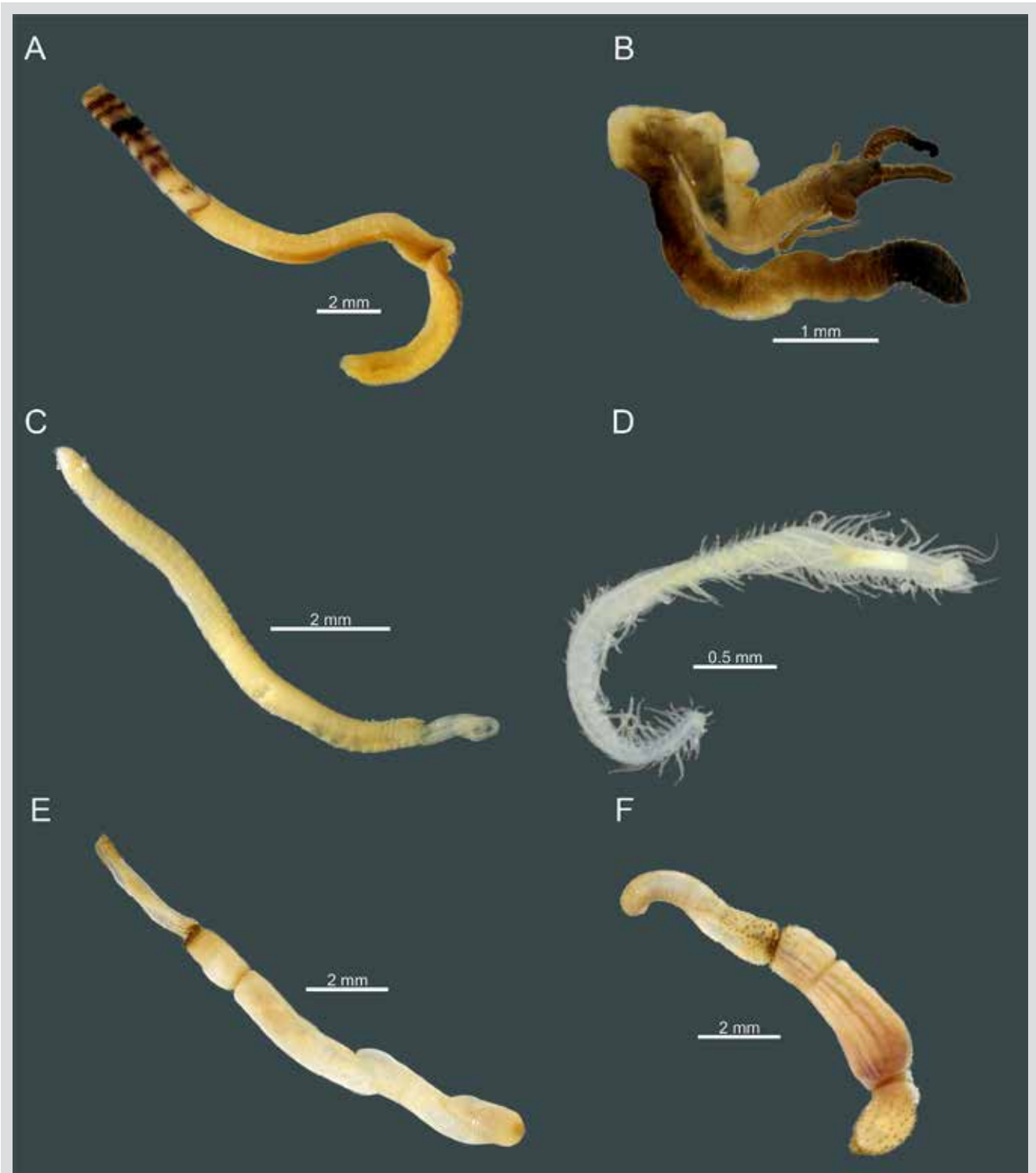
especies de poliquetos se enmarcaron en 10 familias y las de sipúnculos en 2 familias.

Los nuevos registros son marcados con superíndices: <sup>1</sup> cuando el registro es solo para los arrecifes del PNN Gorgona, <sup>2</sup> para el PNN Gorgona y <sup>3</sup> para el Pacífico Oriental Tropical colombiano. El material bibliográfico consultado para cada especie se lista justo debajo del nombre de la especie. El material examinado presenta el código de ingreso al CROM. La información de la distribución de cada especie fue consultada en la plataforma del World Register of Marine Species (WoRMS, 2019). Finalmente, se realizó una breve discusión solo para aquellas especies que cumplieron con la descripción original, pero difirieron en unos pocos caracteres.

**Tabla 1.** Número total de especímenes de cada especie en cada arrecife coralino y zona arrecifal (BR: Trasarrecife, RP: Planicie arrecifal; RF: Frente arrecifal y RS: Talud arrecifal) recolectados en la isla Gorgona (POT colombiano) durante cinco períodos de exposición diferentes.

**Table 1.** Total number of specimens of each species from each coral reef and reef zone (BR: Back-reef, RP: Reef-flat, RF: Reef-front, and RS: Reef-slope) collected in Gorgona Island (Colombian ETP) during the five different exposure periods.

Taxonomy/Taxonomía		La Azufrada				Playa Blanca			
Family/Familia	Species/Especies	BR	RP	RF	RS	BR	RP	RF	RS
Amphinomidae	<i>Chloeia entypa</i>						1		
	<i>Dodecaceria fewkesi</i>	3			2	5			1
Cirratulidae	<i>Dodecaceria laddi</i>	4			11	3	2	1	3
	<i>Timarete luxuriosa</i>		1	1					
Dorvilleidae	<i>Dorvillea rubra</i>	17	8	8	1	21	15	9	4
Eunicidae	<i>Eunice cedroensis</i>	1		3			2	1	1
	<i>Lysidice ninetta</i>	1						1	3
	<i>Palola paloloides</i>				1				
Flabelligeridae	<i>Semiodera cariboum</i>				3				
Phyllodocidae	<i>Eteone cf. pacifica</i>		1		1				
Sabellidae	<i>Euratella salmacidis</i>	5	4	1	4	2	2	9	11
Spionidae	<i>Dipolydora commensalis</i>	43	7	5	4	17	9	3	9
	<i>Polydora ciliata</i>	1							
Syllidae	<i>Cicese cf. sphaerosylliformis</i>								1
	<i>Dentatisyllis cf. carolinae</i>			2					1
	<i>Syllis gracilis</i>	15	29	24	14	7	16	18	4
	<i>Syllis prolifera</i>						1		
Aspidosiphonidae	<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) cf. elegans</i>	10	9		5	13	21	4	1
Phascolosomatidae	<i>Phascolosoma (Phascolosoma) cf. nigrescens</i>			1			1	1	
	<i>Phascolosoma (Phascolosoma) cf. perlucens</i>	17	19	8	12	9	10	14	8
Total per zone and reef/Total por zona y arrecife		117	78	53	58	77	80	61	47
Total per reef/Total por arrecife		306				265			
Grand total/Gran total		571							



**Figura 2.** Seis de las especies de gusanos más comunes encontradas en los arrecifes coralinos de la isla Gorgona. Poliquetos: **A)** *Euratella salmacidis*. **B)** *Dodecaceria laddi*. **C)** *Dipolydora commensalis*. **D)** *Syllis gracilis*. Sipunculidos: **E)** *Aspidosiphon (Aspidosiphon) cf. elegans*. **F)** *Phascolosoma (Phascolosoma) cf. perlucens*.

**Figure 2.** Six of the most common species of worms found in Gorgona Island's coral reefs. Polychaetes: **A)** *Euratella salmacidis*. **B)** *Dodecaceria laddi*. **C)** *Dipolydora commensalis*. **D)** *Syllis gracilis*. Sipunculids: **E)** *Aspidosiphon (Aspidosiphon) cf. elegans*. **F)** *Phascolosoma (Phascolosoma) cf. perlucens*.





## Annelida

### Clase Polychaeta

Familia Amphinomidae Lamarck, 1818

Género *Chloeia* Lamarck, 1818

*Chloeia entypa*<sup>1</sup> Chamberlin, 1919

*Chloeia entypa*: Chamberlin, 1919; Kudenov, 1975; Fauchald, 1977; Prahl *et al.*, 1979; Laverde-Castillo, 1986; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 1991; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004; Valencia *et al.*, 2014.

Material examinado: APN0001.

Distribución: Pacífico (México) y PTO.

Discusión: El espécimen coincide con la descripción de Kudenov (1975), quien menciona la presencia de neurosetas bifurcadas y serradas en la región posterior del cuerpo. Sin embargo, de León-González *et al.* (2009) dicen que las antenas laterales están pigmentadas. Tal pigmentación no se observó, posiblemente debido a que el espécimen la perdió por el método de fijación. Se cree que el individuo observado puede ser un juvenil por la cantidad de segmentos que presenta (14).

Familia Cirratulidae Ryckholt, 1851

Género *Dodecaceria* Örsted, 1843

*Dodecaceria fewkesi*<sup>2</sup> Berkeley & Berkeley, 1954

*Dodecaceria fewkesi*: Berkeley y Berkeley, 1954; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: CIR0026, CIR0027, CIR0028, CIR0029.

Distribución: Sur de California, bahía Coos.

Género *Dodecaceria* Örsted, 1843

*Dodecaceria laddi*<sup>3</sup> Hartman, 1954

*Dodecaceria laddi*: Hartman, 1954; Gibson, 1978; White, 1980; Abd-Elnaby, 2009; Magalhaes y Bailey-Brock, 2013.

Material examinado: CIR0030, CIR0031, CIR0032, CIR0033, CIR0034, CIR0035.

Distribución: bahía de Kaneohe (Hawái), islas Marshall, Pulo Boenda (Sumatra).

Discusión: El espécimen coincide con la descripción de Hartman (1954); sin embargo, en las setas de los primeros siete segmentos no fue posible observar el limbo (Hartman, 1954, Figura 177H). Esto pudo deberse a la posición de las setas.

## Annelida

### Class Polychaeta

Family Amphinomidae Lamarck, 1818

Genus *Chloeia* Lamarck, 1818

*Chloeia entypa*<sup>1</sup> Chamberlin, 1919

*Chloeia entypa*: Chamberlin, 1919; Kudenov, 1975; Fauchald, 1977; Prahl *et al.*, 1979; Laverde-Castillo, 1986; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 1991; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004; Valencia *et al.*, 2014.

Material examined: APN0001.

Distribution: Pacific (Mexico) and TEP.

Discussion: The specimen matched the description by Kudenov (1975), who mentions the presence of serrate and bifurcate neurosetae in the posterior part of the body. Although, de León-González *et al.* (2009) mention that lateral antennae are pigmented. This pigmentation was not observed, probably because it was lost due to the fixation method used. It is highly probable that the specimen is a juvenile due to the number of segments present (14).

Family Cirratulidae Ryckholt, 1851

Genus *Dodecaceria* Örsted, 1843

*Dodecaceria fewkesi*<sup>2</sup> Berkeley & Berkeley, 1954

*Dodecaceria fewkesi*: Berkeley y Berkeley, 1954; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: CIR0026, CIR0027, CIR0028, CIR0029.

Distribution: South of California, Coos Bay.

Genus *Dodecaceria* Örsted, 1843

*Dodecaceria laddi*<sup>3</sup> Hartman, 1954

*Dodecaceria laddi*: Hartman, 1954; Gibson, 1978; White, 1980; Abd-Elnaby, 2009; Magalhaes y Bailey-Brock, 2013.

Material examined: CIR0030, CIR0031, CIR0032, CIR0033, CIR0034, CIR0035.

Distribution: Kaneohe Bay (Hawaii), Marshall Islands, Pulo Boenda (Sumatra).

Discussion: The specimens matched the description by Hartman (1954); however, it was not possible to observe the limbo that appears in the setae of the first seven segments (Hartman, 1954, Figure 177H). This might be due to the position of the setae.

Género *Timarete* Kinberg, 1866

*Timarete luxuriosa*<sup>3</sup> (Moore, 1904)

*Timarete luxuriosa*: Moore, 1904; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 1991; Hernández-Alcántara, 2003; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004; Choi *et al.*, 2018.

Material examinado: CIR0036, CIR0037.

Distribución: golfo de California, Pacífico mexicano, PTO.

Familia Dorvilleidae Chamberlin, 1919

Género *Dorvillea* Parfitt, 1866

*Dorvillea rubra*<sup>3</sup> (Grube, 1856)

*Dorvillea rubra*: Grube, 1856; Perkins, 1998; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004; Hernández-Alcántara *et al.*, 2014.

Material examinado: DOR0001, DOR0002, DOR0003, DOR0003, DOR0004, DOR0005, DOR0006.

Distribución: Caribe, Florida, golfo de México, PTO.

Familia Eunicidae Berthold, 1827

Género *Eunice* Cuvier, 1817

*Eunice cedroensis*<sup>3</sup> Fauchald, 1970

*Eunice cedroensis*: Fauchald, 1970; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: EUN0035, EUN0036, EUN0037, EUN0038.

Distribución: golfo de México, PTO.

Discusión: El espécimen coincide con la descripción de Fauchald (1970); sin embargo, no se observaron las setas ilustradas por el autor en la Figura E (Plancha 2).

Género *Lysidice* Lamarck, 1818

*Lysidice ninetta*<sup>1</sup> Audouin & H Milne Edwards, 1833

*Lysidice ninetta*: Audouin y Milne, 1833; Monro, 1928; Fauchald, 1970, 1977; Laverde-Castillo, 1986; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 1991; de León-González *et al.*, 1993; Gómez *et al.*, 1997; Cantera *et al.*, 1999; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: EUN0040, EUN0041, EUN0042

Distribución: PTO, Colombia, golfo de México, Cuba, Belice, Bélgica, mar Caribe, Francia, Grecia, Jamaica, Nueva Zelanda, mar Rojo, España, Reino Unido.

Genus *Timarete* Kinberg, 1866

*Timarete luxuriosa*<sup>3</sup> (Moore, 1904)

*Timarete luxuriosa*: Moore, 1904; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 1991; Hernández-Alcántara, 2003; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004; Choi *et al.*, 2018.

Material examined: CIR0036, CIR0037.

Distribution: Gulf of California, Mexican Pacific, TEP.

Family Dorvilleidae Chamberlin, 1919

Genus *Dorvillea* Parfitt, 1866

*Dorvillea rubra*<sup>3</sup> (Grube, 1856)

*Dorvillea rubra*: Grube, 1856; Perkins, 1998; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004; Hernández-Alcántara *et al.*, 2014.

Material examined: DOR0001, DOR0002, DOR0003, DOR0003, DOR0004, DOR0005, DOR0006.

Distribution: Caribbean, Florida, Gulf of Mexico, TEP.

Family Eunicidae Berthold, 1827

Genus *Eunice* Cuvier, 1817

*Eunice cedroensis*<sup>3</sup> Fauchald, 1970

*Eunice cedroensis*: Fauchald, 1970; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: EUN0035, EUN0036, EUN0037, EUN0038.

Distribution: Gulf of Mexico, TEP.

Discussion: Although the specimens matched the description by Fauchald (1970), the setae illustrated in Figure E (Plate 2) were not observed.

Genus *Lysidice* Lamarck, 1818

*Lysidice ninetta*<sup>1</sup> Audouin & H Milne Edwards, 1833

*Lysidice ninetta*: Audouin y Milne, 1833; Monro, 1928; Fauchald, 1970, 1977; Laverde-Castillo, 1986; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 1991; de León-González *et al.*, 1993; Gómez *et al.*, 1997; Cantera *et al.*, 1999; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: EUN0040, EUN0041, EUN0042

Distribution: TEP, Colombia, Gulf of Mexico, Cuba, Belize, Belgium, Caribbean Sea, France, Greece, Jamaica, New Zealand, Red Sea, Spain, United Kingdom.





Género *Palola* Gray in Stair, 1847

*Palola paloloides*<sup>2</sup> (Moore, 1909)

*Palola paloloides*: Moore, 1909; Fauchald, 1970, 1992; Kudenov, 1975; Laverde-Castillo, 1986; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 1991; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: EUN0043.

Distribución: San Diego, California; PTO, Pacífico colombiano.

Familia Flabelligeridae de Saint-Joseph, 1894

Género *Semiodera* Chamberlin, 1919

*Semiodera cariboum*<sup>3</sup> (Grube, 1859)

*Semiodera cariboum*: Hartman, 1956; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: FLA0006.

Distribución: Antillas, mar Caribe, golfo de México, PTO.

Discusión: Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa (2004) la registran para el PTO (*S. cariboa*) como una especie dudosa para la región; sin embargo, cumple con las descripciones de Grube (1858) y de León-González *et al.* (2009).

Familia Nereididae Blainville, 1818

Género *Eunereis* Malmgre, 1865

*Eunereis cf. longipes*<sup>3</sup> Hartman, 1936

*Eunereis cf. longipes*: Hartman, 1936; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: NER0001, NER0002, NER0003, NER0004.

Distribución: California, PTO.

Discusión: Los especímenes observados coinciden con la descripción de Hartman (1936). Sin embargo, a pesar de presentar falcíferos homogonfos notopodiales de lámina terminada en punta aguda (Hartman 1936, Figura 53), la hoja del falcífero estudiado es más larga y el diente más agudo. Así mismo, en la Figura 53F (Hartman, 1936), se aprecian dientes a lo largo de toda la hoja de la seta mientras que en los especímenes colombianos tales dientes solo se observan en la región distal de la seta y el primer diente es más largo y rodea el diente del falcífero.

Genus *Palola* Gray in Stair, 1847

*Palola paloloides*<sup>2</sup> (Moore, 1909)

*Palola paloloides*: Moore, 1909; Fauchald, 1970, 1992; Kudenov, 1975; Laverde-Castillo, 1986; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 1991; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: EUN0043.

Distribution: San Diego, California; TEP, Colombian Pacific.

Family Flabelligeridae de Saint-Joseph, 1894

Genus *Semiodera* Chamberlin, 1919

*Semiodera cariboum*<sup>3</sup> (Grube, 1859)

*Semiodera cariboum*: Hartman, 1956; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: FLA0006.

Distribution: Antillas, Caribbean Sea, Gulf of Mexico, TEP.

Discussion: Salazar-Vallejo and Londoño-Mesa (2004) register this as a dubious species for the TEP (*S. cariboa*); however, the observed specimen matched the descriptions by Grube (1858) and de León-González *et al.* (2009).

Family Nereididae Blainville, 1818

Genus *Eunereis* Malmgre, 1865

*Eunereis cf. longipes*<sup>3</sup> Hartman, 1936

*Eunereis cf. longipes*: Hartman, 1936; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: NER0001, NER0002, NER0003, NER0004.

Distribution: California, TEP.

Discussion: Observed specimens matched the description by Hartman (1936); however, although having notopodial laminar homogonfous falcigerous ending in an acute tip (Hartman, 1936, Figure 53), the falcigerous lamina is longer and the tooth more acute. Likewise, in Figure 53F (Hartman, 1936), teeth can be seen along the whole setae sheet, while in the Colombian specimens, the teeth were only observed in the distal portion of the setae and the first tooth is longer and surrounds the falcigerous tooth.

Familia Phyllodocidae Örsted, 1843

Género *Eteone* Savigny, 1822

*Eteone* cf. *pacifica*<sup>3</sup> Hartman, 1936

*Eteone* cf. *pacifica*: Reish, 1963; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: PHY0008, PHY0009.

Distribución: Friday Harbor (isla San Juan), PTO.

Discusión: Los especímenes observados coinciden con la descripción de León-González *et al.* (2009); sin embargo, los cirros ventrales no presentan el mismo largo que los dorsales y tampoco presentaron una forma auricular definida. Lo anterior puede deberse a que, cuando estos organismos se fijan, los caracteres pueden sufrir leves modificaciones.

Familia Sabellidae Latreille, 1825

Género *Euratella* Chamberlin, 1919

*Euratella salmacidis*<sup>3</sup> (Claparède, 1869)

*Euratella salmacidis*: Claparède, 1869; de León-González *et al.*, 1993; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: SAL0005, SAL0006, SAL0007, SAL0008, SAL0009, SAL0010.

Distribución: mar Mediterráneo, océano Atlántico Norte, España, PTO.

Familia Spionidae Grube, 1850

Género *Dipolydora* Verril, 1881

*Dipolydora commensalis*<sup>3</sup> (Andrews, 1891)

*Dipolydora commensalis*: Andrews, 1891; Hartman, 1941; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: SPI0011, SPI0012, SPI0013, SPI0014, SPI0015, SPI0016.

Distribución: Carolina del Norte, mar del Japón, océano Atlántico Norte, PTO.

Género *Polydora* Bosc, 1802

*Polydora ciliata*<sup>3</sup> (Johnston, 1838)

*Polydora ciliata*: Johnston, 1838; Hartman, 1941; Mustaquim, 1986; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: SPI0019.

Distribución: Reino Unido, Francia, golfo de Nápoles, mar Negro, golfo de Adén, océano Atlántico Norte, Bélgica, bahía de Fundy, canal Inglés, Grecia, Irlanda, Madagascar,

Family Phyllodocidae Örsted, 1843

Genus *Eteone* Savigny, 1822

*Eteone* cf. *pacifica*<sup>3</sup> Hartman, 1936

*Eteone* cf. *pacifica*: Reish, 1963; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: PHY0008, PHY0009.

Distribution: Friday Harbor (San Juan Island), TEP.

Discussion: Observed specimens matched the description by de León-González *et al.* (2009); however, ventral and dorsal cirri differ in longitude and lack a well-defined auricular shape. This can be due to slight changes in soft tissues during fixation.

Family Sabellidae Latreille, 1825

Genus *Euratella* Chamberlin, 1919

*Euratella salmacidis*<sup>3</sup> (Claparède, 1869)

*Euratella salmacidis*: Claparède, 1869; de León-González *et al.*, 1993; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: SAL0005, SAL0006, SAL0007, SAL0008, SAL0009, SAL0010.

Distribution: Mediterranean Sea, North Atlantic Ocean, Spain, TEP.

Family Spionidae Grube, 1850

Genus *Dipolydora* Verril, 1881

*Dipolydora commensalis*<sup>3</sup> (Andrews, 1891)

*Dipolydora commensalis*: Andrews, 1891; Hartman, 1941; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: SPI0011, SPI0012, SPI0013, SPI0014, SPI0015, SPI0016.

Distribution: North Carolina, Japan Sea, North Atlantic Ocean, TEP.

Genus *Polydora* Bosc, 1802

*Polydora ciliata*<sup>3</sup> (Johnston, 1838)

*Polydora ciliata*: Johnston, 1838; Hartman, 1941; Mustaquim, 1986; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: SPI0019.

Distribution: United Kingdom, French, Gulf of Naples, Black Sea, Gulf of Aden, North Atlantic Ocean, Belgium, Bay of Fundy, English Channel, Greece, Ireland,



Mozambique, Países Bajos, mar del Norte, mar Rojo, España, Ucrania, PTO.

Discusión: El espécimen observado coincide con las descripciones de Johnston (1838) y Mustaquim (1986), con la excepción de que no se observaron los cuatro ojos que reporta Mustaquim (1986).

Familia Syllidae Grube, 1850

Género *Cicese* Díaz-Castañeda & San Martín, 2001

*Cicese* cf. *sphaerosylliformis*<sup>3</sup> Díaz-Castañeda & San Martín, 2001

*Cicese* cf. *sphaerosylliformis*: Díaz-Castañeda y San Martín, 2001; Díaz-Castañeda *et al.*, 2005; Hernández-Alcántara *et al.*, 2008.

Material examinado: SYL0011.

Distribución: costa Pacífica de Baja California (México).

Discusión: El espécimen observado coincide con la descripción de Díaz-Castañeda y San Martín (2001); sin embargo, en los falcíferos la distancia que se observa entre los dientes distales y los basales es más corta que la presentada en la ilustración. En la seta simple no se observan los dientes ilustrados en Díaz-Castañeda y San Martín (2001, Figura 5G, 5H, 5I).

Género *Dentatisyllis* Perkins, 1981

*Dentatisyllis* cf. *carolinae*<sup>3</sup> (Day, 1973)

*Dentatisyllis* cf. *carolinae*: Day, 1973; Perkins, 1980; de León-González *et al.*, 2009.

Material examinado: SYL0012, SYL0013.

Distribución: golfo de México, océano Atlántico Norte.

Discusión: de León-González *et al.* (2009) registran un trepan con aproximadamente 10 dientes mientras que en los especímenes estudiados se observaron 8. Para los cirros dorsales, de León-González *et al.* (2009) mencionan más de 30 artejos mientras que en los especímenes estudiados se observaron aproximadamente 20 artejos. Finalmente, Day (1973, figura 4E) y Perkins (1980, Figura 38A) ilustran setas simples que no se observaron en los especímenes estudiados.

Género *Syllis* Lamarck, 1818

*Syllis gracilis*<sup>1</sup> Grube, 1840

*Syllis gracilis*: Grube, 1840; Monro, 1933; Fauchald, 1977; Laverde-Castillo, 1986; Salazar-Vallejo *et al.*, 1990; Estape y San Martín, 1991; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss,

Madagascar, Mozambique, Netherlands, North Sea, Red Sea, Spain, Ukraine, TEP.

Discussion: The observed specimen matched the descriptions by Johnston (1838) and Mustaquim (1986), with the only exception that the four eyes reported by Mustaquim (1986) were not observed in our specimen.

Family Syllidae Grube, 1850

Genus *Cicese* Díaz-Castañeda & San Martín, 2001

*Cicese* cf. *sphaerosylliformis*<sup>3</sup> Díaz-Castañeda & San Martín, 2001

*Cicese* cf. *sphaerosylliformis*: Díaz-Castañeda y San Martín, 2001; Díaz-Castañeda *et al.*, 2005; Hernández-Alcántara *et al.*, 2008.

Material examined: SYL0011.

Distribution: Pacific Coast of Baja California (Mexico).

Discussion: The observed specimen matched the description in Díaz-Castañeda and San Martín (2001), but the distance between distal and basal falcigerous teeth is shorter than the one presented in their illustration. Besides, in the simple setae, there are no teeth present as shown in the illustration by Díaz-Castañeda and San Martín (2001, Figure 5G, 5H, 5I).

Genus *Dentatisyllis* Perkins, 1981

*Dentatisyllis* cf. *carolinae*<sup>3</sup> (Day, 1973)

*Dentatisyllis* cf. *carolinae*: Day, 1973; Perkins, 1980; de León-González *et al.*, 2009.

Material examined: SYL0012, SYL0013.

Distribution: Gulf of Mexico, North Atlantic Ocean.

Discussion: de León-González *et al.* (2009) register a trepan with approximately 10 teeth, while in our specimens, only 8 teeth were observed. For the articulated dorsal cirri, they mention 30 segments, while in our specimens we observed only approximately 20 segments. Finally, the simple setae illustrated by Day (1973, Figure 4E) and Perkins (1980, Figure 38A) were not observed in our specimens.

Genus *Syllis* Lamarck, 1818

*Syllis gracilis*<sup>1</sup> Grube, 1840

*Syllis gracilis*: Grube, 1840; Monro, 1933; Fauchald, 1977; Laverde-Castillo, 1986; Salazar-Vallejo *et al.*, 1990; Estape y San Martín, 1991; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss,

1991; de León-González *et al.*, 1993; Bastida-Zavala, 1995; Capa *et al.*, 2001; Hernández-Alcántara *et al.*, 2003; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: SYL0018, SYL0019, SYL0020, SYL0021, SYL0022.

Distribución: golfo de Nápoles, mar Mediterráneo, mar Negro, región chilena del océano Pacífico Sur, región yibutiana del golfo de Adén, región yibutiana del mar Rojo, Antillas, costa Occidental de África, golfo de México, mar Caribe, Trinidad y Tobago, España, Reino Unido, Italia, Irlanda, Grecia, PTO.

Género *Syllis* Lamarck, 1818

*Syllis prolifera*<sup>3</sup> Krohn, 1852

*Syllis prolifera*: López *et al.*, 1997; Capa *et al.*, 2001; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examinado: SYL0017.

Distribución: Antillas, mar Negro, región yibutiana del golfo de Adén, región yibutiana del mar Rojo, mar Caribe, Cuba, golfo de México, Italia, Madagascar, Nueva Zelanda, océano Atlántico Norte, España, Trinidad y Tobago, Reino Unido, Grecia, PTO.

## Sipuncula

### Clase Phascolosomatidea

Familia Aspidosiphonidae Quatrefages, 1865

Género *Aspidosiphon* Diesing, 1851

*Aspidosiphon (Aspidosiphon) cf. elegans*<sup>3</sup>  
(Chamisso & Eysenhardt, 1821)

*Aspidosiphon (Aspidosiphon) cf. elegans*: Chamisso y Eysenhardt, 1821; Cutler, 1994.

Material examinado: ASP0001, ASP0002, ASP0003, ASP0004, ASP0005, ASP0006, ASP0007.

Distribución: mar Mediterráneo-Cuenca Oriental, mar Egeo, golfo de México, Madagascar, océano Atlántico Norte, mar Rojo, océano Pacífico Sur.

Familia Phascolosomatidae Stephen & Edmonds, 1972

Género *Phascolosoma* Leuckart, 1828

*Phascolosoma (Phascolosoma) cf. nigrescens*<sup>3</sup>  
(Keferstein, 1865)

*Phascolosoma (Phascolosoma) cf. nigrescens*: Fisher, 1952; Cutler, 1994.

1991; de León-González *et al.*, 1993; Bastida-Zavala, 1995; Capa *et al.*, 2001; Hernández-Alcántara *et al.*, 2003; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: SYL0018, SYL0019, SYL0020, SYL0021, SYL0022.

Distribution: Gulf of Naples, Mediterranean Sea, Black Sea, Chilean part of the South Pacific Ocean, Djiboutian region of the Gulf of Aden, Djiboutian region of the Red Sea, Antilles, West Africa Coast, Gulf of Mexico, Caribbean Sea, Trinidad and Tobago, Spain, United Kingdom, Italy, Ireland, Greece, TEP.

Genus *Syllis* Lamarck, 1818

*Syllis prolifera*<sup>3</sup> Krohn, 1852

*Syllis prolifera*: López *et al.*, 1997; Capa *et al.*, 2001; Salazar-Vallejo y Londoño-Mesa, 2004.

Material examined: SYL0017.

Distribution: Antilles, Black Sea, Djiboutian part of the Gulf of Aden, Djiboutian part of the Red Sea, Caribbean Sea, Cuba, Gulf of Mexico, Italy, Madagascar, New Zealand, North Atlantic Ocean, Spain, Trinidad and Tobago, United Kingdom, Greece, TEP.

## Sipuncula

### Class Phascolosomatidea

Family Aspidosiphonidae Quatrefages, 1865

Genus *Aspidosiphon* Diesing, 1851

*Aspidosiphon (Aspidosiphon) cf. elegans*<sup>3</sup>  
(Chamisso & Eysenhardt, 1821)

*Aspidosiphon (Aspidosiphon) cf. elegans*: Chamisso y Eysenhardt, 1821; Cutler, 1994.

Material examined: ASP0001, ASP0002, ASP0003, ASP0004, ASP0005, ASP0006, ASP0007.

Distribution: Mediterranean Sea-Eastern Basin, Aegean Sea, Gulf of Mexico, Madagascar, North Atlantic Ocean, Red Sea, South Pacific Ocean.

Family Phascolosomatidae Stephen & Edmonds, 1972

Genus *Phascolosoma* Leuckart, 1828

*Phascolosoma (Phascolosoma) cf. nigrescens*<sup>3</sup>  
(Keferstein, 1865)

*Phascolosoma (Phascolosoma) cf. nigrescens*: Fisher, 1952; Cutler, 1994.



Material examinado: PHS0001, PHS0002, PHS0003.

Distribución: Madagascar, mar Rojo, golfo de México.

*Phascolosoma (Phascolosoma) cf. perlucens*  
Baird, 1868

*Phascolosoma (Phascolosoma) cf. perlucens*: Cutler, 1994;  
Cantera *et al.*, 2003; Kawauchi y Giribet, 2010.

Material examinado: PSH0004, PSH0005, PSH0006,  
PSH0007, PSH0008, PSH0009, PSH0010.

Distribución: Madagascar, golfo de México, isla Gorgona  
(Colombia).

Discusión: Los especímenes observados cumplen con la descripción de Kawauchi y Giribet (2010); sin embargo, se utiliza *cf.* debido a que, de acuerdo con los autores mencionados, existe necesidad de aclarar la taxonomía de esta especie con análisis moleculares, pues los caracteres morfológicos dentro del género son muy variables y no son completamente útiles para la identificación correcta de las especies.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los funcionarios del Parque Nacional Natural Gorgona por su continuo apoyo logístico, especialmente a María Ximena Zorrilla (jefe del Parque), Luis Payán (biólogo del Parque) y Héctor Chirimía González (guardaparques). También quieren agradecer a Mario Hernán Londoño por instruir a M.F. Cardona-Gutiérrez en la taxonomía de poliquetos y a Itzahi Silva Morales por su colaboración en la identificación de los sipúnculos. Finalmente, los autores quieren agradecer al Grupo de Investigación en Ecosistemas Rocosos Intermareales y Submareales Someros (LITHOS) de la Universidad del Valle por su apoyo en campo. Esta investigación es parte del proyecto cofinanciado por Colciencias (1106-659-44216) y la Universidad del Valle (CI-71002). Contribución 17 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (Incimar) de la Universidad del Valle.

Material examined: PHS0001, PHS0002, PHS0003.

Distribution: Madagascar, Red Sea, Gulf of Mexico.

*Phascolosoma (Phascolosoma) cf. perlucens*  
Baird, 1868

*Phascolosoma (Phascolosoma) cf. perlucens*: Cutler, 1994;  
Cantera *et al.*, 2003; Kawauchi y Giribet, 2010.

Material examined: PSH0004, PSH0005, PSH0006,  
PSH0007, PSH0008, PSH0009, PSH0010.

Distribution: Madagascar, Gulf of Mexico, Gorgona Island  
(Colombia).

Discussion: The observed specimens matched the description by Kawauchi and Giribet (2010); however, we use *cf.* because, according to the aforementioned authors, there is a need for molecular analyses to discern this species within the genus since morphological characters are highly variable and not fully useful for the correct identification of species.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors want to thank the Gorgona National Natural Park personnel for their continuous and valuable logistic support, especially María Ximena Zorrilla (Head of the Park), Luis Payán (Biologist of the Park), and Héctor Chirimía González (Park Ranger). We also want to thank Dr. Mario Hernán Londoño for instructing M.F. Cardona-Gutiérrez in polychaetes taxonomy and Itzahi Silva Morales for her support in sipunculid identification. We also want to thank the people of the Research Group on Intertidal and Shallow Subtidal Rocky Ecosystems (LITHOS) of Universidad del Valle for field support. This research is part of a larger project co-funded by Colciencias (1106-659-44216) and Universidad del Valle (CI-71002). Contribution 17 from the Universidad del Valle's Institute of Marine Sciences and Limnology (Incimar).

## BIBLIOGRAFÍA/LITERATURE CITED

- Abd-Elnaby, F.A. 2009. New records of Polychaetes from the south part of Suez Canal, Egypt. *World J. Fish Mar. Sci.*, 1(1): 7-19.
- Andrews, E.A. 1891. A commensal annelid. *Am. Nat.*, 25(289): 25-35.
- Audouin, J.V. and E.H. Milne. 1833. Classification des annélides et description de celles qui habitent les cotes de la France. *Ann. Sci. Nat.*, 1(28): 187-247.
- Bastida-Zavala, J.R. 1995. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) del arrecife coralino de Cabo Pulmo-Los Frailes, B.C.S., México. *Rev. Zool.*, 6: 9-29.
- Berkeley, E. and C. Berkeley. 1954. Notes on the life-history of the polychaete *Dodecaceria fewkesii* (nom. n.). *J. Fish. Res. Board Can.*, 11(3): 326-334.
- Cantera, J., B. Thomassin, and P.M. Arnaud. 1999. Faunal zonation and assemblages in the Pacific Colombian mangroves. *Hydrobiologia*, 413: 17-33. <https://doi.org/10.1023/A:1003890826741>
- Cantera, J., C. Orozco, E. Londoño-Cruz, and G. Toro-Farmer. 2003. Coral reef paper abundance and distribution patterns of infaunal associates and macroborers of the branched coral (*Pocillopora damicornis*) in Gorgona Island (Eastern Tropical Pacific). *Bull. Mar. Sci.*, 72(1): 207-219.
- Capa, M., G. San Martín y E. López. 2001. Syllinae (Syllidae: Polychaeta) del Parque Nacional de Coiba, Panamá. *Rev. Biol. Trop.*, 49: 103-115.
- Chamberlin, R.V. 1919. The Annelida Polychaeta of the Albatross Tropical Pacific Expedition, 1891-1905. *Mem. Mus. Comp. Zool. Harvard Coll.*, 48: 1-514.
- Chamisso, A. and C.G. Eysenhardt. 1821. De animalibus quibusdam e classe vermium Linneana, in circumnavigatione Terrae, auspicante Comite N. Romanoff, duce Ottone di Kotzebue, annis 1815-1818 peracte, observatis Fasciculus scundus, reliquos vermes continens. *Nova Acta Physico-med. Acad. Cesareae Leopoldino-Carolinae Nat. Curios.*, 10: 343-373.
- Choi, H.K., H. Kim, and S.M. Yoon. 2018. *Timarete posteria*, a new cirratulid species from Korea (Annelida, Polychaeta, Cirratulidae). *Zookeys*, 806: 1.
- Claparède, É. 1869. Les Annélides Chétopodes du Golfe de Naples. Seconde partie. Ordre II. Annélides Sédentaires (Aud. et Edw.). *Mém. Soc. Phys. Genève*, 20(1): 1-225.
- Cutler, E.B. 1994. *The Sipuncula: their systematics, biology and evolution*. Cornell University, New York. 453 p.
- Day, J.H. 1973. New Polychaeta from Beaufort: with a key to all species recorded from North Carolina. U.S. Dept. Com., Nat. Ocean. Atmos. Adm., Nat. Mar. Fish. Serv., Seattle. 140 p.
- de León-González, J.A., A. Leija-Tristán y S.I. Salazar-Vallejo. 1993. Epifauna del ostión espinoso *Spondylus princeps unicolor* (Mollusca: Bivalvia), de Puerto Escondido, Golfo de California, México. *Rev. Biol. Trop.*, 41: 877-881.
- de León-González, J.A., J.R. Bastida-Zavala, L.F. Carrera-Parra, M.E. García-Garza, A. Peña-Rivera, S. I. Salazar-Vallejo y V. Solís-Weiss. 2009. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América Tropical. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey. 737 p.
- Díaz, J.M., L.M. Barrios, M.H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, F. Parra-Velandia y F.A. Zapata. 2000. Áreas coralinas de Colombia. Ser. Publ. Espec., (5). Invemar, Santa Marta. 176 p.
- Díaz-Castañeda, V. and G. San Martín. 2001. Syllidae (Polychaeta) from San Quintín lagoon, Baja California, Mexico, with the description of a new genus. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 114(3): 708-719.
- Díaz-Castañeda, V., J.A. de León-González, and E.S. Arellano. 2005. Structure and composition of the polychaete community from bahía San Quintín, Pacific coast of Baja California, Mexico. *Bull. South. Calif. Acad. Sci.*, 104(2): 75-99.
- Estape, S. y G. San Martín. 1991. Descripción de los estolones reproductores de algunas especies de la subfamilia Syllinae (Polychaeta, Syllidae). *Misc. Zool.*, 15: 43-62.
- Fauchald, K. 1970. Polychaetous annelids of the families Eunicidae, Lumbrinerida, Iphitimidae, Arabellidae, Lysaretidae and Dorvilleidae from Western Mexico. *Allan Hancock Monogr. Mar. Biol.*, 5: 1-335.
- Fauchald, K. 1977. Polychaetes from intertidal areas in Panama, with a review of previous shallow-water records. *Smithson. Contrib. Zool.*, 221: 1-81.
- Fauchald, K. 1992. A review of the genus *Eunice* (Polychaeta: Eunicidae) based upon type material. *Smithson. Contrib. Zool.*, 523: 1-422.
- Fisher, W.K. 1952. The sipunculid worms of California and Baja California. *Proc. US Nat. Mus.*, 102(3306): 371-450. <https://doi.org/10.5479/si.00963801.102-3306.371>
- Gibson, P.H. 1978. Systematics of *Dodecaceria* (Annelida: Polychaeta) and its relation to the reproduction of its species. *Zool. J. Linn. Soc.*, 63(3): 275-287.
- Giraldo, A. 2012. Geomorfología e hidroclimatología de isla Gorgona. 17-23. In: Giraldo, A. y B. Valencia (Eds.). *Isla Gorgona: paraíso de biodiversidad y ciencia*. Univ. Valle, Cali. 226 p.





- Giraldo, A., E. Rodríguez-Rubio y F.A. Zapata. 2008. Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 36(1): 121-128.
- Gómez, P., J.A. Mercado, L.M. Mitchell y S.I. Salazar-Vallejo. 1997. Poliquetos de fondos duros (Polychaeta) de bahías de Huatulco y Puerto Ángel, Oaxaca, México. *Rev. Biol. Trop.*, 45: 1067-1074.
- Grube, A.E. 1840. Actinien, Echinodermen und Würmer des Adriatischen-und Mittelmeers nach eigenen Sammlungen beschrieben. J.H. Bon, Königsberg. 93 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.10133>
- Grube, A.E. 1857. Annulata Örstediana. Enumeratio Annulorum, quae in itinere per Indiam occidentalem et Americam centralem annis 1845-1848 suscepto legit cl. A.S. Örsted, adjectis speciebus nonnullis a cl. H. Kröyero in itinere ad Americam meridionalem collectis. Part 1. Videnskabelige Meddelelser fra Dansk naturhistorik Forening I Köbenhavn, 1856: 44-62.
- Grube, A.E. 1859. Annulata Örstediana. Enumeratio Annulorum, quae in itinere Indiam Occidentalem et Americam Centralem annis 1845-1848 suscepto legit cl. A.S. Örsted, adjectis speciebus nonnullis a cl. H. Kroyero in itinere ad Americam meridionalem collectis. Part. 3. 105-120. Videnskabelige Meddelelser fra Dansk naturhistorik Forening I Köbenhavn, 1858: 105-120.
- Hartman, O. 1936. New species of polychaetous annelids of the family Nereidae from California. *Proc. US Nat. Mus.*, 83(2994): 467-480.
- Hartman, O. 1941. Some contributions to the biology and life history of Spionidae from California. *Allan Hancock Pac. Exp.*, 7: 289-323.
- Hartman, O. 1954. Marine annelids from the northern Marshall Islands. Bikini and nearby Atolls, Marshall Islands. *Geol. Surv. Profess. Paper*, 260-Q: 619-644.
- Hartman, O. 1956. Polychaetous annelids erected by Treadwell, 1981 to 1984, together with a brief chronology. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, 109: 239-310.
- Hernández-Alcántara, P.L. and V. Solís-Weiss. 1991. New records of errant polychaetous annelids from the Gulf of California. *Bull. Mar. Sci.*, 48: 251-260.
- Hernández-Alcántara, P., J.D. Cortés-Solano, N.M. Medina-Cantú, A.L. Avilés-Díaz, and V. Solís-Weiss. 2014. Polychaete diversity in the estuarine habitats of Términos Lagoon, southern Gulf of Mexico. *Mem. Mus. Vic.*, 71: 97-107.
- Hernández-Alcántara, P., M.A. Tovar-Hernández, and V. Solís-Weiss. 2008. Polychaetes (Annelida: Polychaeta) described for the Mexican Pacific: an historical review and an update checklist. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 36(1): 37-61. <https://doi.org/10.3856/vol36-issue1-fulltext-4>
- Hernández-Alcántara, P.L., S.C. Frontana-Uribe, and V. Solís-Weiss. 2003. Commented checklist of the polychaetes (Annelida: Polychaeta) from areas adjacent to islands of the Mexican Pacific. *Bull. South. Calif. Acad. Sci.*, 102(1): 1-16.
- Hutchings, P.A. 1986. Biological destruction of coral reefs. *Coral Reefs*, 4: 239-252.
- Johnston, G. 1838. *Miscellanea Zoologica*. III. The British Ariciadae. *Mag. Zool. Bot.*, Edinburgh, 2: 63-73, plate III. <https://biodiversitylibrary.org/page/40025966>
- Kawauchi, G.Y. and G. Giribet. 2010. Are there true cosmopolitan sipunculan worms? A genetic variation study within *Phascolosoma perlucens* (Sipuncula, Phascolosomatidae). *Mar. Biol.*, 157(7): 1417-1431.
- Kudenov, J.D. 1975. Errant polychaetes from the Gulf of California, Mexico. *J. Nat. Hist.*, 9(1): 65-91.
- Laverde-Castillo, J.J. 1986. Lista anotada de los poliquetos (Annelida) registrados para el Pacífico colombiano, con notas preliminares sobre su zoogeografía. *Actual. Biol.*, 15(58): 123-130.
- Londoño-Cruz, E., J. R. Cantera, G. Toro-Farmer, and C. Orozco. 2003. Internal bioerosion by macroborers in *Pocillopora* spp. in the tropical eastern Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 265: 289-295.
- López, E., G. San Martín, P. Cladera de Lacodina y M. Capa. 1997. La fauna de anélidos poliquetos del Parque Nacional de Coiba (Panamá). 57-73. In: Castroviejo, S. y M. Velayos. (Ed.). *Flora y fauna del Parque Natural de Coiba (Panamá)*, Inventario preliminar. Agencia Española de Cooperación Internacional, Madrid. 534 p.
- Magalhaes, W.F. and J.H. Bailey-Brock. 2013. Bitentaculate Cirratulidae (Annelida: Polychaeta) from the northwestern Pacific Islands with description of nine new species. *Zootaxa*, 3630(1): 80-116.
- Monro, C.C.A. 1928. Polychaeta of the families Polynoidae and Acoetidae from the vicinity of the Panama Canal, Collected by Dr. C. Crossland and Dr. Th. Mortensen. *Zool. J. Linn. Soc.*, 36: 553-576.
- Monro, C.C.A. 1933. The Polychaeta Sedentaria collected by Dr C. Crossland at Colón, in the Panama Region, and the Galapagos Islands during the expedition of the S.Y. St. George. *Proc. Zool. Soc. Lond.*, 103(4): 1039-1092. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1933.tb01640.x>
- Moore, J.P. 1904. New Polychaeta from California. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila.*, 56: 484-503.
- Moore, J.P. 1909. Polychaetous annelids from Monterey Bay and San Diego, California. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila.*, 61: 235-295.

- Mustaquim, J. 1986. Morphological variation in *Polydora* ciliate complex (Polychaeta: Annelida). *Zool. J. Linn. Soc.*, 86(1): 75-88.
- Perkins, T.H. 1980. Syllidae (Polychaeta), principally from Florida, with descriptions of a new genus and twenty-one new species. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 93(4): 1080-1172.
- Perkins, T.H. 1998. Checklist of shallow-water marine polychaetous Annelida of Florida. In Camp, D., W. Lyons, and T. Perkins. (Eds). Checklist of selected shallow-water marine invertebrates of Florida. *Florida Mar. Res. Inst. Tech. Rep.*, 3: 79-122.
- Prahl, H. von y H. Erhardt. 1985. Colombia: corales y arrecifes coralinos. FEN Colombia, Bogotá. 295 p.
- Prahl, H. von, F. Guhl y M. Grögl. 1979. Poliquetos de Gorgona. 131-140. In Prahl, H. von, F. Guhl, and M. Grögl. (Eds). *Gorgona. Futura*, Bogotá, D.C.
- Reish, D.J. 1963. A quantitative study of the benthic polychaetous annelids of Bahía de San Quintín, Baja California. *Pac. Nat.*, 3: 401-436.
- Salazar-Vallejo, S.I. y M.H. Londoño-Mesa. 2004. Lista de especies y bibliografía de poliquetos (Polychaeta) del Pacífico Oriental Tropical. *An. Inst. Biol. ser. Zool.*, 75(1): 9-97.
- Salazar-Vallejo, S.I., J.A. de León-González y J.C. Chávez-Comparan. 1990. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la Bahía de Manzanillo, con una clave ilustrada para las especies de Colima, México. *Rev. Biol. Trop.*, 38(2A): 211-229.
- White, J.K. 1980. Distribution, recruitment and development of the borer community in dead coral on shallow Hawaiian reefs. University of Hawaii, Honolulu. 238 p. <http://hdl.handle.net/10125/18150>
- WoRMS. 2019. World Register of Marine Species. <http://www.marinespecies.org> 09/07/2019.
- Zapata, F.A. 2001. Formaciones coralinas de isla Gorgona: 27-40. In: Barrios, L.M. y M. López-Victoria. (Eds.). *Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única*. Ser. Publ. Esp., (7). Invemar, Santa Marta. 160 p.
- Zapata, F.A. and Y.A. Morales. 1997. Spatial and temporal patterns of fish diversity in a coral reef at Gorgona Island, Colombia. *Proc. Int. Coral Reef Symp.*, 1: 1029-1034.
- Zapata, F.A. and B. Vargas-Ángel. 2003. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia. 419-447. In: Cortés, J. (Ed.). *Latin American Coral Reefs*. Elsevier, Amsterdam. 508 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51388-5.X5000-0>

**RECIBIDO/RECEIVED:** 07/08/2019

**ACEPTADO/ACCEPTED:** 19/04/2020





## Caracterización de variables físicas en La Escollera, una laguna costera artificial en Santa Marta, Caribe colombiano

### Characterization of physical variables at La Escollera, a human-made coastal lagoon in Santa Marta, Colombian Caribbean

Sven Zea<sup>1\*</sup> y Nicolás Espada Gómez-Lor<sup>2</sup>

0000-0002-5657-4877

0000-0001-5995-1124

1. Instituto de Estudios en Ciencias del Mar (Cecimar), Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe, c/o Invemar, Santa Marta, Colombia. [sezeas@unal.edu.co](mailto:sezeas@unal.edu.co)\*

2. Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria de Cantoblanco, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España. [nicolasespada11@hotmail.com](mailto:nicolasespada11@hotmail.com)

\* Corresponding author:

#### RESUMEN

Las lagunas costeras son foco de producción primaria y refugio de biodiversidad por su relativo confinamiento y baja profundidad. La Escollera es una laguna costera artificial situada en El Rodadero, Santa Marta (Caribe colombiano), excavada al inicio de la década de 1980 para albergar una marina y sus bordes sembrados con mangles. Para generar una línea base de variables físicas que contribuyan al entendimiento de la circulación del agua y de su influencia sobre los atributos del ecosistema, se obtienen de manera rutinaria datos de salinidad, temperatura, nivel del mar y penetración de la luz mediante registradores electrónicos y sensores de mano. Los datos de salinidad y temperatura entre enero de 2017 y febrero de 2018 siguieron el esquema estacional del mar abierto del área de Santa Marta alternando entre menor temperatura (mínima 24,6 °C) y mayor salinidad (máxima 38,9) en época seca y de afloramiento costero (diciembre a abril) y entre mayor temperatura (máxima 34,7 °C) y menor salinidad (< 35) en época de lluvia (mayo a noviembre), con los más bajos valores de salinidad luego de aguaceros persistentes (mínimo 15,1). La columna de agua está generalmente bien mezclada y se estratifica después de aguaceros en época de lluvia (mezclándose rápidamente en horas o en días). Esto parece deberse principalmente al intercambio con el mar gracias a la marea, que oscila de +0,37 a -0,31 m (rango máximo de 0,68 m [datos de un año]), y sigue el patrón astronómico regular de mareas mixtas del Caribe. Las aguas de la laguna son regularmente verdes y de variada transparencia excepto durante fuertes lluvias, tras lo cual se tornan pardas. La extinción de luz en la vertical es en general alta y no muy variable (2-6,5 % cm<sup>-1</sup>), pero la luz, con frecuencia, alcanza el fondo, lo que permite la existencia de macroalgas bentónicas en algunas porciones de la laguna.

**PALABRAS CLAVE:** lagunas costeras, marinas, mareas, salinidad, temperatura

#### ABSTRACT

Coastal lagoons are a focus of primary production and a refuge for biodiversity due to their relative confinement and low depth. La Escollera is a human-made coastal lagoon in El Rodadero, Santa Marta (Colombian Caribbean), excavated in the early 1980s to hold a marina and its fringes planted with mangroves. To generate a baseline of physical variables that contribute to the understanding of water circulation and its influence on ecosystem attributes, salinity, temperature, sea level and light penetration data are routinely obtained through electronic recorders and handheld sensors. Salinity and temperature data from January 2017 to February 2018 followed the seasonal pattern of the open sea in the Santa Marta area, alternating between lower temperature (minimum of 24.6 °C) and higher salinity (maximum of 38.9) in the dry season and coastal upwelling (December to April), and between higher temperature (maximum 34.7 °C) and lower salinity (< 35) in the rainy season (May to November), with the lowest salinity values after persistent rains (minimum 15.1). The water column is generally well mixed and stratified after heavy showers in the rainy season (mixing rapidly in hours or days). This seems to be mainly due to tidal exchange with the sea, the tide oscillating from +0.37 to -0.31 m (maximum range 0.68 m [one-year data]), and following the regular astronomical pattern of mixed tides in the Caribbean. Lagoon waters are regularly green and of varied transparency except during heavy rains, after which they become brownish. Vertical light extinction is generally high and not very variable (2-6.5 % cm<sup>-1</sup>), but the light frequently reaches the bottom, which allows the presence of benthic macroalgae in some portions of the lagoon.

**KEY WORDS:** coastal lagoons, marinas, tides, salinity, temperature

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2020.49.2.925>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

## INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras son cuerpos de agua marina localizados costa adentro y separados del mar por la formación de barreras, o dentro de planicies de inundación, con una o más conexiones con el mar, temporales o permanentes (Kjerfve y Magill, 1989; Kjerfve, 1994). Allí, fuerzas de tierra y mar, escorrentía del lado terrestre y olas del lado marino colisionan y se amortiguan. Son fuente o sumidero de producción primaria y secundaria e importantes repositorios de biodiversidad costera, siendo guarderías de una gran variedad de larvas y juveniles de invertebrados y peces, muchos de estos de importancia comercial (Barnes, 1980; Mitsch y Gosselink, 1993; Gopal *et al.*, 2000). Las lagunas costeras son impactadas con frecuencia por actividades humanas, en especial por desarrollo costero (de Jonge *et al.*, 2002). Las marinas, construidas en entradas o separadas del mar abierto por paredes o espolones, se constituyen efectivamente en lagunas costeras. Como nuevo ecosistema proveen los beneficios mencionados arriba, pero también causan impactos, en especial si su drenaje es pobre, o si afectan la circulación local, o si las actividades náuticas y la escorrentía asociada causan contaminación o la llegada de especies foráneas (Foster *et al.*, 2016). La circulación en las lagunas costeras está influenciada por descargas de ríos y escorrentía, vientos, mareas, seiches, y por el balance entre evaporación y precipitación, y responde diferencialmente a estos dependiendo de su localización y geomorfología (v. g. Kjerfve, 1994; Niedda y Greppi, 2007; Montaña-Ley *et al.*, 2008). La circulación en marinas o sistemas mixtos también se afecta diferencialmente por estos factores (v. g. Nece y Falconer, 1989; Lonin y Mendoza, 1997; Velásquez-Montoya y Overton, 2017; Lončar *et al.*, 2018).

En el Caribe continental colombiano hay numerosas lagunas costeras, de las cuales la Ciénaga Grande de Santa Marta es la más grande y productiva (Hernández y Gocke, 1990; Sánchez y Zea, 2000; Polanía *et al.*, 2001; Gocke *et al.*, 2003). Alrededor de la ciudad de Santa Marta, la planicie costera todavía tiene algunos playones salinos supramareales con lagunas de inundación.

Para ubicar una marina privada con fines turísticos, al inicio de la década de 1980 en el sector norte de El Rodadero se excavó una laguna somera (de aproximadamente 2 m de profundidad) con un canal de comunicación con el mar. En los contornos de la laguna y el canal se plantaron manglares, lo que creó un ambiente semicerrado, con un aparente buen estado de conservación, como si fuera una laguna natural

## INTRODUCTION

Coastal lagoons are bodies of marine water located inside the coast, separated from the sea by the formation of barriers, or within flood plains, with one or more permanent or temporal connections with the sea (Kjerfve and Magill, 1989; Kjerfve, 1994). They act as buffer of both land and sea forces, dampening runoff from the land side and waves from the marine side, being source or sink of primary and secondary production. They are important repositories of coastal biodiversity, nursing a great variety of larvae and juveniles of invertebrates and fishes, many of those having commercial importance (Barnes, 1980; Mitsch and Gosselink, 1993; Gopal *et al.*, 2000). They are frequently impacted by human activities, especially coastal development (de Jonge *et al.*, 2002). Marinas built in inlets or secluded from the open sea by seawalls and jetties become in effect coastal lagoons. As a new ecosystem, they provide the benefits mentioned above, but also cause impacts, especially if their flushing is poor, or if they affect local circulation, or if boating activities and associated runoff cause pollution or arrival of non-native species (Foster *et al.*, 2016). Coastal lagoon circulation is influenced by river discharges and runoff, winds, tides, seiches, and the balance between evaporation and precipitation, and respond differently to those depending on their localization and geomorphology (e.g., Kjerfve, 1994; Niedda and Greppi, 2007; Montaña-Ley *et al.*, 2008). Circulation in marinas or mixed systems is also differentially affected by these factors (e.g., Nece and Falconer, 1989; Lonin and Mendoza, 1997; Velásquez-Montoya and Overton, 2017; Lončar *et al.*, 2018).

In the continental Colombian Caribbean there are numerous coastal lagoons, being Ciénaga Grande de Santa Marta the largest and most productive (Hernández and Gocke, 1990; Sánchez y Zea, 2000; Polanía *et al.*, 2001; Gocke *et al.*, 2003). Around the Santa Marta city, the coastal plain still has a few remaining supratidal salt flats with flood lagoons.

To harbor a private marina for touristic development, a shallow (ca. 2 m deep) lagoon was excavated during the early 1980s in the northern sector of El Rodadero, with a channel opening to the sea. The contours of the lagoon and channel were planted with mangroves, creating a semi-enclosed environment, with apparent good conservation status, as if it were a natural lagoon (see also Martínez-Clavijo, 2013). From having a single connection

(ver también Martínez-Clavijo, 2013). Por tener una sola conexión con el mar, se hipotetiza que la marea es un importante motor de la circulación y la mezcla, pero otros factores físicos como el viento, la lluvia y la irradiación, al operar a escalas estacionales y diarias, pueden ser también significativos, y todos, en últimas, influenciar la producción primaria (v. g. Elliott *et al.*, 2001; Rodríguez-Chila *et al.*, 2009). El área experimenta una época seca, de diciembre a abril, y una de lluvia, de mayo a noviembre. En la época seca, se espera que las aguas de la laguna sean más salinas y calientes por la falta de lluvia y evaporación (por la luz solar y los fuertes vientos alisios), pero pueden ser diluidas y enfriadas ligeramente por aguas que afloran mar afuera y que pueden entrar a la laguna por el canal por las mareas, y enfriadas durante la noche desde el aire por las temperaturas ligeramente menores del invierno del hemisferio norte. En la época de lluvia, se espera que las salinidades sean menores por la escorrentía local y por intercambio a través del canal de aguas costeras, que son, en general, menos salinas por la descarga de ríos cercanos. Las mayores temperaturas en el verano y el otoño del hemisferio norte pueden bajar por cielos nublados y luego de fuertes lluvias. También se espera que las aguas de la laguna estén estratificadas verticalmente luego de fuertes lluvias, pero, por lo demás, deben estar bien mezcladas por la circulación forzada de la marea o los vientos.

Se aprovechó la localización de La Escollera dentro de los límites de la ciudad, la seguridad que brinda el hecho de estar cercada y su relativa simplicidad y pequeño tamaño para usarla como un laboratorio natural con propósitos académicos e investigativos. Desde 2015 se han estado midiendo variables físicas como temperatura, salinidad, nivel del mar y penetración de la luz (Zea *et al.*, 2017). El propósito de este artículo es describir el comportamiento de estas variables durante un año para proveer una línea base acerca de su variación estacional y diaria y probar parcialmente las hipótesis presentadas arriba, como una contribución inicial al entendimiento de las variables que impulsan la circulación.

## ÁREA DE ESTUDIO

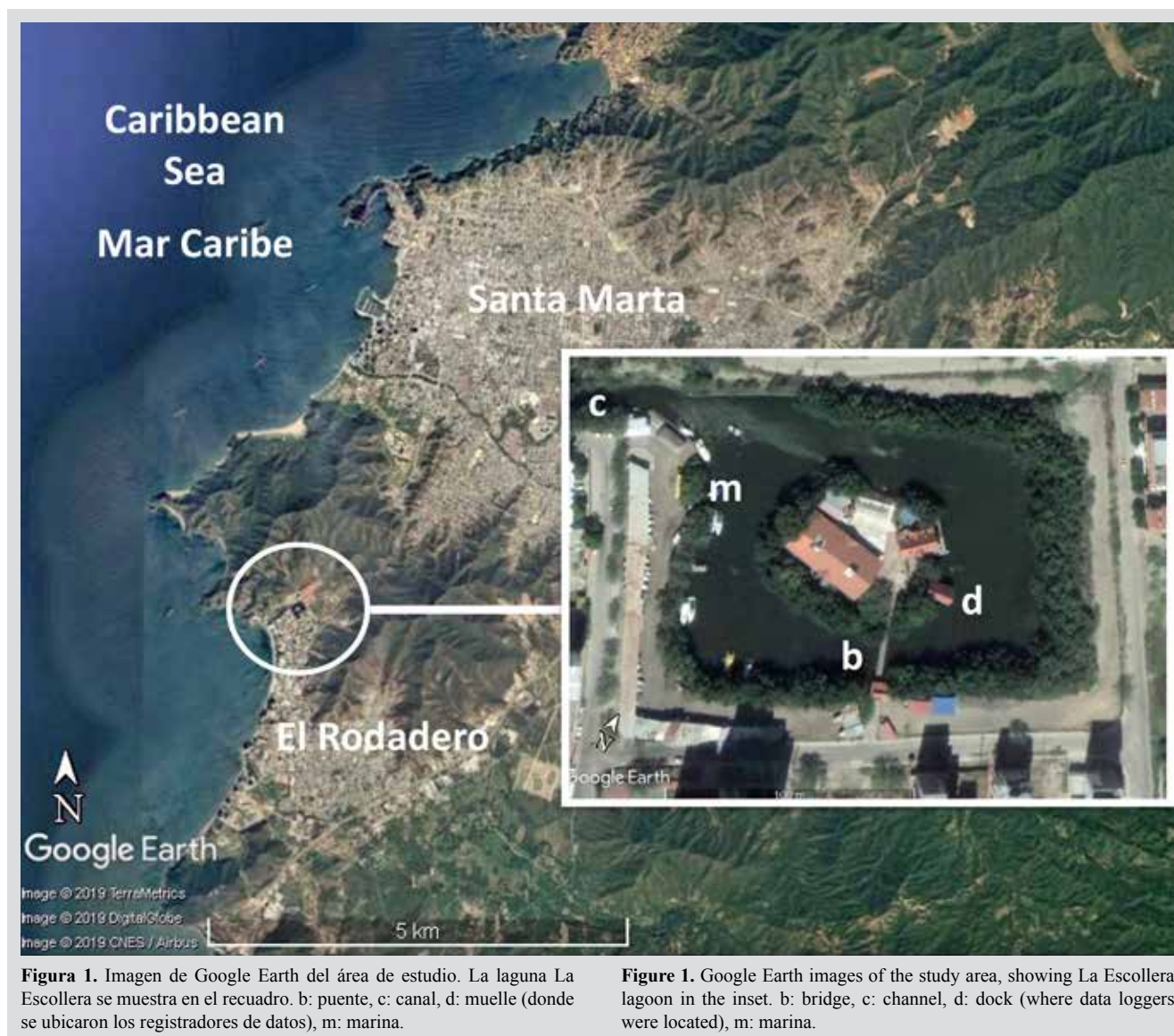
La laguna La Escollera (11°12'32,83" N, 74°13'31,68" W) es una marina artificial privada localizada en el extremo norte de la ensenada de Gaira, en el sector turístico de El Rodadero, Santa Marta (Colombia), en el mar Caribe (Figura 1, ver una descripción de Gaira en Franco, 2005). La laguna (con una isla en el centro) se excavó a

with the sea, we hypothesize that the tide is an important forcing agent of circulation and mixing, but other physical factors such as winds, rainfall and irradiance, operating at seasonal and daily scales, may influence circulation and mixing, ultimately determining primary production (e.g., Elliott *et al.*, 2001; Rodríguez-Chila *et al.*, 2009). The area experiences a dry season, from December to April, and a rainy season, from May to November. During the dry season, lagoon waters are expected to be more saline and warm from lack of rain and evaporation (from sunlight and strong trade winds), but they could be diluted and cooled by off-shore upwelled waters that may enter the lagoon through the channel via tides, and cooled overnight from the air by the slightly lower temperatures of the northern hemisphere winter. During the rainy season, salinities are expected to be lower from local runoff and from exchange through the channel of coastal waters that are generally less saline from nearby riverine discharge. The higher temperatures of the northern hemisphere summer and fall could also be occasionally lower from overcast skies and during and after heavy rainfall. Lagoon waters are also expected to be vertically stratified after heavy rainfall, but otherwise they should be well-mixed from tidal, thermohaline or wind-driven circulation.

Taking advantage of the location within the city limits, its enclosed and thus secure settings, and its relative simplicity and small size, we are using La Escollera as a natural laboratory for academic and research purposes. Since 2015, we have been measuring environmental variables such as temperature, salinity, water level and light penetration (Zea *et al.*, 2017). The purpose of this paper is to describe the behavior of these variables throughout a year to provide a baseline of their seasonal and daily variations and to partially test the hypotheses presented above, as an initial contribution to the understanding of the variables forcing circulation.

## STUDY AREA

La Escollera lagoon (11°12'32,83" N, 74°13'31,68" W) is a human-made private marina located in the northern extreme of Ensenada de Gaira, in the touristic sector El Rodadero, Santa Marta city, Colombia, Caribbean Sea (Figure 1) (see Franco, 2005 for a description of Gaira). The lagoon itself (with an island in the center) was dug out in the early 1980s on the coastal plain, in the supratidal salt flat. It communicates with the nearby ocean through a rather straight, walled channel. On the W side of the lagoon,



**Figura 1.** Imagen de Google Earth del área de estudio. La laguna La Escollera se muestra en el recuadro. b: puente, c: canal, d: muelle (donde se ubicaron los registradores de datos), m: marina.

**Figure 1.** Google Earth images of the study area, showing La Escollera lagoon in the inset. b: bridge, c: channel, d: dock (where data loggers were located), m: marina.

principios de la década de 1980 en la planicie costera, en el playón salino supramareal. Se comunica con el mar por medio de un canal amurallado recto. En el lado occidental de la laguna se construyó una marina (Marina Mundial, <http://marinamundial.com/>) y en la isla una discoteca (La Escollera, <http://www.laescollerarestaurante.inf.travel/>).

Alrededor de 1985, se plantaron manglares en los bordes de la laguna y el canal, principalmente el mangle rojo *Rhizophora mangle*. Hoy en día, están bien desarrollados y preservados como un típico manglar de franja, con árboles que alcanzan 6 m de altura (J. Medina, com. pers.) y con raíces adventicias que albergan variada fauna y flora (Zea *et al.*, 2017). La única comunicación de La Escollera con el mar es a través del canal (ver también Franco, 2005). No hay quebradas permanentes que desemboquen en la

a marina (Marina Mundial, <http://marinamundial.com/>), and on the island, a popular discotheque (La Escollera, <http://www.laescollerarestaurante.inf.travel/>), were built.

Mangroves, mainly red mangrove *Rhizophora mangle*, were planted around 1985 on the edges of the lagoon and channel, becoming quite well developed and preserved today as a typical fringe mangrove, with trees up to about 6 m in height (pers. comm. J. Medina), their stilt roots harboring varied fauna and flora (Zea *et al.*, 2017). The only communication with the sea is through the channel (see also Franco, 2005), and there are no permanent streams that open to the lagoon. The whole area is fenced and access to the public restricted, there being an iguana reserve in the southern bank of the channel, for tourists to see from the adjacent walkway (Martínez-Clavijo, 2013). Nowadays



laguna. Toda el área está cercada y el acceso al público está restringido. Hay una reserva de iguanas en el banco sur del canal para que los turistas las observen desde el andén adyacente (Martínez-Clavijo, 2013). En la actualidad, calles de la ciudad rodean toda la laguna, con dos drenajes (en las esquinas NE y SW, respectivamente), por donde toda la escorrentía del vecindario y de las colinas adyacentes entra a la laguna. La otra entrada de agua salobre puede llegar indirectamente a través del canal, impulsada por las mareas, cuando el flujo del cercano río Gaira es empujado al norte hacia la boca del canal por corrientes y vientos de tormenta del SW (Franco, 2005). No hay descargas directas de aguas servidas en la laguna y el canal (la marina y la discoteca bombean sus residuos directamente en el alcantarillado de la ciudad), pero hay derrames en el alcantarillado durante la época de lluvia y la temporada turística alta (Franco, 2005; Martínez-Clavijo, 2013).

La laguna es rectangular, de alrededor de  $167 \times 133$  m (incluyendo la isla y el borde de manglar), y el canal es de unos 400 m de largo y 9-13 m de ancho. La profundidad máxima de la laguna es ahora de 2,25 m (normalizada al nivel del mar promedio), pero cerca de la mitad del área es menor de 1,5 m. La profundidad del centro del canal varía entre 1,6 y algo más de 2 m (datos de batimetría no publicados). El fondo de la laguna es principalmente fangoso, con porciones de acumulaciones de conchas y cascajo; en la porción SE hay unos lechos sueltos, relativamente gruesos (aproximadamente 20 cm), del alga verde *Caulerpa sertularioides*, pero parecen estacionales.

El área de Santa Marta se localiza en las estribaciones NW y en las planicies costeras del macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta. Es bastante seca, con una precipitación total anual cercana a 500 mm (Franco, 2005). El clima alterna entre una estación seca y de afloramiento costero, de diciembre a abril, y una época de lluvia, de mayo a noviembre. En la época de afloramiento, los vientos alisios del NE soplan con alta frecuencia e intensidad, las temperaturas del agua son bajas (para las condiciones del Caribe sur), alrededor de 21-26 °C, y las salinidades son altas (35-38). En la época de lluvia, los alisios merman y los vientos del SW son comunes durante tormentas; el mar es más caliente (27-28 °C) y menos salino (30-35) (Márquez, 1982; Ramírez, 1983, 1990; Salzwedel y Müller, 1983; Blanco, 1988; Franco, 2005).

city roads surround the entire lagoon, with two drainage openings, respectively on the NE and SW corners, where all the runoff from the neighborhood and adjacent hills enters the lagoon; the only other brackish water input may come indirectly through the channel, driven by tides, when the nearby Gaira river flow is pushed northwards toward the channel mouth by currents and SW storm winds (Franco, 2005). There are no direct sewage discharges into the lagoon and channel (the marina and disco pump their residues into the city sewer system), but there are sewage overflows of the urban sewer through overflow valves and from the streets during the rainy and the touristic high seasons (Franco, 2005; Martínez-Clavijo, 2013).

The lagoon is rectangular, about  $167 \text{ m} \times 133 \text{ m}$  (including the island and the mangrove fringe), and the channel is about 400 m long and 9-13 m wide. The maximum depth of the lagoon is currently about 2.25 m (normalized to the mean sea level), but about half of the lagoon bottom is shallower than 1.50 m; the depth of the center of the channel ranges between 1.6 and slightly more than 2 m (unpublished bathymetry data). The lagoon bottom is mostly silty, with portions having shell and rubble accumulations; on the SE portion, there are rather thick (about 20 cm), loose beds of the green algae, *Caulerpa sertularioides*, but these appear to be seasonal.

The Santa Marta area is located in the NW foothills and coastal plains of the Sierra Nevada de Santa Marta massif. It is rather dry, with total precipitation usually around 500 mm (Franco, 2005). The climate alternates between a dry-upwelling season, from December to April, and a rainy season, from May to November. During the upwelling season, NE trade winds blow with high frequency and intensity, sea-water temperatures are rather low (for Southern Caribbean conditions), around 21-26 °C, and salinities high (35-38). During the rainy season the trades slack and SW winds are common during storms, and the seas are warmer (27-28 °C), and less saline (30-35) (Márquez, 1982; Ramírez, 1983, 1990; Salzwedel and Müller, 1983; Blanco, 1988; Franco, 2005).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Temperatura, salinidad y nivel del mar

La temperatura y la salinidad de la laguna fueron medidas con un registrador de conductividad HOBO® U24-002-C (Onset Computer Corporation, Bourne, EE. UU.). El nivel del mar se midió con un registrador HOBO® U20-001-0x-Ti. Cada aparato fue puesto en una carcasa protectora de PVC y ambos se amarraron juntos a un tubo de PVC de 1,9 cm de grosor y 60 cm de largo (Figura 2A). Para su instalación, el tubo se insertó en una varilla de hierro corrugado de 0,95 cm de diámetro y 3 m de largo, que había sido enterrada verticalmente en el fondo; se dejaron aproximadamente 80 cm libres encima del fondo. La varilla se localizó en el lado interno sombreado de un pequeño muelle de botes en el lado SE de la isla (11°12'32,8" N, 74°13'30,2" W). Una vez insertado el set de registradores en la varilla, este se amarró a una vareta de acero galvanizado de 12,7 cm clavada en uno de los pilotes del muelle. El set fue siempre posicionado aproximadamente a la misma profundidad, lo que se logró estableciendo una distancia fija a la plataforma del muelle mediante un metro de costura atado de forma permanente a la carcasa del registrador de nivel. Los registradores fueron recuperados aproximadamente cada dos semanas (tiempo denominado de aquí en adelante como "período de medición"), llevados al laboratorio para lavado, descarga de datos y nueva programación, y luego vueltos a instalar dentro de unas pocas horas o máximo al día siguiente. El intervalo de medición fue de 30 min.

El registrador U24 midió conductividad, que luego fue convertida a salinidad por el programa HOBOWARE® Pro tras el uso de datos de calibración de temperatura y salinidad obtenidos de forma independiente al inicio y al final del período de medición con una sonda portátil precalibrada YSI® 30 Pro (YSI Incorporated, Yellow Springs, EE. UU.). El registrador U20 midió presión absoluta, que luego fue convertida a profundidad del agua por el programa tras el uso de una medida real de la altura del agua encima del sensor, tomada con el metro de costura al principio del período de medición. No se tuvieron en cuenta las variaciones en la presión barométrica. Para calcular valores mínimos, promedio y máximos, se usaron series de 13 meses (enero de 2017 a febrero de 2018) de salinidad y temperatura y una serie de un año de nivel del mar (enero de 2017 a enero de 2018). Se calcularon y graficaron promedios diarios de temperatura y salinidad en el tiempo para determinar esquemas estacionales. Se registraron (sin medir la precipitación) los episodios de lluvias en el área de El Rodadero y se superpusieron las fechas sobre las series de promedios diarios de temperatura y salinidad

## MATERIALS AND METHODS

### Temperature, salinity and sea-water level

Temperature and salinity of the lagoon were measured with a HOBO® U24-002-C conductivity logger (Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA). Sea level was recorded with a HOBO® U20-001-0x-Ti water level logger. Both devices were each placed inside PVC protecting housing, and tied together to a 60 cm-long, 3/4" PVC tube (Figure 2A). For deployment, the tube was inserted through a 3/8" corrugated iron rod (3 m long) which had been anchored vertically into the bottom (driven with the aid of a small sledge hammer), leaving approximately 80 cm free above the bottom. The rod was located in the inner, shaded side of a small boat dock on the SE side of the island (11°12'32,8" N, 74°13'30,2" W). Once inserted, the set was tied to a 5" galvanized stake driven into one of the dock pilings. The set was always positioned approximately at the same depth, by measuring a fixed distance from the top of the dock platform with a sewing tape which had been tied to the housing of the sea level logger. Loggers were retrieved approximately every two weeks (henceforth called a "measurement period"), brought to the laboratory for cleaning, data retrieval and new programming, and then deployed again within a few hours or the next day at most. Measurement interval was 30 minutes.

The U24 logger measured conductivity, which was then converted to salinity by the HOBOWARE® Pro software using calibration conductivity and temperature data independently obtained at the beginning and the end of the measurement period. This was done with a pre-calibrated portable YSI® 30 Pro probe (YSI Incorporated, Yellow Springs, OH, USA). The U20 logger measured absolute pressure, which was then converted to water depth by the software using actual calibration measurements of water height above the sensor taken at the beginning of the measurement period with the attached sewing tape. Variations in barometric pressure were not taken into account. For analyses, a 13-month series (January 2017 to February 2018) of salinity and temperature, and a 1-year series of sea-level (January 2017-January 2018) were used to calculate minimum, mean and maximum values. Daily means of temperature and salinity were calculated and plotted with time to determine seasonal patterns. Rain episodes in El Rodadero area were recorded (precipitation not measured) and the dates superimposed to the daily mean series of salinity and temperature to



**Figura 2.** Disposición en el campo de los registradores electrónicos en el muelle de la laguna La Escollera. **A)** Registradores de conductividad/temperatura y nivel del mar/temperatura dentro de sus carcasas protectoras. La flecha marca la varilla de hierro enterrada en el fondo y en la que se inserta el sistema. **B)** Sistema flotante de luz/temperatura con los registradores ubicados inmediatamente debajo de la superficie (alrededor de 0,01 m), a 0,25 m y 0,50 m de profundidad.

**Figure 2.** Field setup of data loggers at La Escollera lagoon dock. **A)** Conductivity/temperature and water level/temperature loggers inside their protective housing. The arrow marks the iron bar anchored into the bottom into which the set is inserted. **B)** Light/temperature free-floating set with loggers just under the surface (about 0.01 m), and at 0.25 and 0.50 m in depth.

a fin de estudiar gráficamente sus relaciones. Para el nivel del mar, se normalizaron los valores absolutos alrededor del nivel promedio (dato menos promedio) usando el promedio de cada período de medición en lugar del general del año con el fin de evitar el efecto de pequeñas diferencias que hubiesen ocurrido entre períodos en la posición vertical del registrador. Las series de temperatura, salinidad y nivel del mar están disponibles en <https://siam.invemar.org.co/documentos-detalle/336649>. Para realizar comparaciones particulares, datos de la temperatura del aire y la velocidad del viento fueron tomados cada hora en la estación meteorológica de Punta de Betín en la adyacente bahía de Santa Marta ( $11^{\circ}24,585' N$ ,  $74^{\circ}21,487' W$ ), obtenidos del Sistema de Información Ambiental Marina (SIAM) del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar) (<http://siam.invemar.org.co>) y solicitados por medio del enlace [http://workflow.invemar.org.co/Forms/acceso\\_datos](http://workflow.invemar.org.co/Forms/acceso_datos).

graphically study their relationship. For sea level, absolute values were normalized around the mean level (datum minus mean) but using the mean of each measurement period instead of the overall yearly mean, to account for overlooked small differences between periods in the vertical location of the logger. Temperature, salinity and sea level series are available at <https://siam.invemar.org.co/documentos-detalle/336649>. For selected comparisons, hourly air temperature and wind velocity data taken at the meteorological station of Punta de Betín in the adjacent Bay of Santa Marta ( $11^{\circ}24,585' N$ ,  $74^{\circ}21,487' W$ ) were obtained from the Environmental Marine Information System – SIAM of Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar (<http://siam.invemar.org.co>), requested through the link [http://workflow.invemar.org.co/Forms/acceso\\_datos](http://workflow.invemar.org.co/Forms/acceso_datos). It should be noted that air temperatures from

Es importante aclarar que la temperatura del aire de Punta de Betín puede ser representativa para La Escollera, pero los datos de viento deben ser tomados con precaución, ya que Punta de Betín es un promontorio abierto en una península mientras que la laguna está protegida en dos lados por colinas pendientes y además está rodeada de manglares. Los datos de lluvia de Punta de Betín se descartaron porque no siempre coincidieron con los episodios de lluvia registrados para El Rodadero.

Durante la recuperación y postura de los registradores, también se midió la distribución vertical de salinidad y temperatura en el primer metro de profundidad (cada 0,20 m) con el sensor YSI. La profundidad se midió con una cuerda metrada amarrada al cable del sensor. Estos datos se graficaron para comparar la estratificación de la columna de agua entre las épocas seca y de lluvia y para inferir mezclas luego de fuertes episodios de lluvia. En algunos casos, se calculó el perfil vertical de la salinidad como  $\sigma_t$  a partir de valores de salinidad (S) y temperatura (T), usando la ecuación de estado del agua de mar a la presión de la superficie, donde  $\sigma_t = \rho(T; S) - 1000$ . La ecuación fue resuelta mediante los algoritmos de Fofonoff y Millard Jr. (1983) a través de un calculador disponible en la web (<https://www.mt-oceanography.info/Utilities/density.html>).

#### Intensidad de luz y temperatura en la columna de agua

La distribución vertical de la temperatura y la extinción de la luz en la columna de agua (como una medida de la transparencia y la luz disponible para la producción primaria) se midieron amarrando tres registradores HOBO® PendantUA-002-08 Temp/Light a un tubo de PVC de 19 cm de diámetro y 0,60 m de largo, el cual tenía un anillo flotante en un extremo (Figura 2B). El tubo se insertó en una varilla de 3 m de largo que se había enterrado en el fondo blando, pero que, en este caso, estaba ubicada en una esquina no sombreada del muelle y con una porción por encima del agua. Los registradores se amarraron de tal manera que el primero quedó ubicado cerca de 0,01 m bajo el agua (de aquí en adelante llamado “en superficie”), el segundo a 0,25 m y el tercero a 0,50 m de profundidad. La flotación libre permitió medir a la profundidad fija con independencia del nivel del mar. La recuperación y postura se llevó a cabo simultáneamente con los otros registradores. Se analizó un año de datos (de marzo de 2017 a marzo de 2018). La temperatura se usó para estudiar la variación vertical diurna con las épocas climáticas. Para la luz, solo se usaron datos de alrededor del mediodía (10:00-13:30, un caso entre las 14:00-15:00) y de los primeros 1-3 días luego de la postura, en los cuales los registradores estaban todavía limpios de sedimentos e incrustaciones (73 días en total). Con

Punta de Betín may be representative for La Escollera, but wind data must be used with caution as Punta de Betín is an open promontory in a peninsula, and the lagoon is protected from two sides by steep hills and also surrounded by mangroves. Rainfall data were discarded as they did not always coincide with the rainfall episodes recorded for El Rodadero.

During retrieval and deployment of loggers, the vertical distribution of salinity and temperature was also measured within the first meter of depth (every 20 cm), with the YSI probe; depth was measured from a metered rope tied to the sensor cable. These data were plotted to compare water column stratification between the dry and rainy seasons, and to infer water mixing after heavy rain episodes. In some cases, the vertical profile of sea-water density was calculated as  $\sigma_t$  from salinity (S) and temperature (T), values using the Equation of State for sea water at surface pressure, where  $\sigma_t = \rho(T; S) - 1000$ , solved according to the algorithms of Fofonoff and Millard Jr. (1983), through a calculator available on the web (<https://www.mt-oceanography.info/Utilities/density.html>).

#### Light intensity and temperature in the water column

Vertical distribution of temperature and extinction of light in the water column (for a measure of transparency and of light available for primary production) was measured by tying three HOBO® PendantUA-002-08 Temp/Light loggers to a 0.60 m-long,  $\frac{3}{4}$ " PVC pipe, which had a floater ring on one side (Figure 2B). The pipe was then inserted into another 3 m-long iron rod that had been anchored into the soft bottom, but in this case situated in a non-shaded corner of the dock and having a portion above water. Loggers were tied so that one was placed about 0.01 m below the surface (thenceforth to be called “surface”), another at 0.25 m and the third at 0.50 m in depth. The free flotation allowed for the measurement of light penetration regardless of sea level. Retrieval and deployment was carried out simultaneously with the other loggers. One-year data from March 2017 to March 2018 were analyzed. Temperature data were used to study diurnal vertical variation. For light extinction, only data around noon (10:00-13:30, one case 14:00-15:00) were used, from the first 1-3 days after deployment in which the loggers were still clean of sediments and fouling (73 days total). With these data, the light extinction coefficient  $k$  was calculated for each day from the Beer-Lambert equation ( $I_z = I_0 e^{-kz}$ , Parsons *et al.*, 1984), by regression of light intensity with depth, linearizing the equation to:



estos datos, se calculó el coeficiente de extinción de la luz  $k$  para cada día usando la ecuación de Beer-Lambert ( $I_z = I_0 e^{-kZ}$ , Parsons *et al.*, 1984) mediante regresión de la intensidad de luz con la profundidad, con lo cual se volvió lineal la ecuación, así:

$$\ln I_z = -kZ + \ln I_0,$$

Donde:

$I_z$  = intensidad de luz a cierta profundidad

$k$  = coeficiente de extinción (pendiente de la línea)

$Z$  = profundidad

$I_0$  = intensidad de luz en la superficie (intercepto de la línea a  $Z = 0$ )

Las regresiones se realizaron de forma separada para cada día tomando las medidas disponibles (cada 30 min alrededor del mediodía) como réplicas. Los coeficientes de extinción fueron comparados entre estaciones. A partir de los valores mínimo, promedio y máximo del coeficiente de extinción y de las intensidades de luz incidente en superficie, se graficó la disminución de la luz con la profundidad y se calculó la profundidad, en la que la luz era 1 %.

## RESULTADOS

### Variación entre épocas

**Series de tiempo.** Las aguas de la laguna La Escollera fueron, en promedio, cálidas (30,7 °C) y salinas (34,3) (Tabla 1). Las temperaturas y salinidades del agua siguieron el esquema climático local de una época fría y seca con afloramiento y otra cálida y lluviosa (Figura 3). De mediados de diciembre a principios de abril, la laguna tuvo temperaturas menores a 30 °C, las cuales cayeron a un mínimo de 24,6 °C a mitad de enero, en conjunto con la época regional de afloramiento marino y el ligero enfriamiento de la atmósfera durante el invierno del hemisferio norte (llegando hasta 23,1 °C). El resto del año, las temperaturas del aire y de la laguna se mantuvieron más altas (alcanzaron 34,7 °C y 35,0 °C, respectivamente). Las salinidades fueron regularmente más altas en la época seca (> 35) e intermitentemente más bajas en la época de lluvia, en asociación ajustada con las lluvias y escorrentías locales. De hecho, de mediados de septiembre a finales de noviembre, las salinidades cayeron debajo de 30 luego de fuertes aguaceros hasta llegar a 15,1 luego de una semana de lluvias sostenidas a mediados de noviembre (Figura 3). Las velocidades del viento en la bahía de Santa Marta fueron altas en la época seca: los vientos alisios soplaron con una velocidad promedio y máxima de 6,5 m s<sup>-1</sup> y 18,6 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras tanto, para el resto del año, la velocidad del viento estuvo alrededor de 3,8 m s<sup>-1</sup> y la máxima velocidad no excedió 15 m s<sup>-1</sup> (Figura 3).

$$\ln I_z = -kZ + \ln I_0,$$

Where:

$I_z$  = light intensity at a given depth

$k$  = extinction coefficient (slope of the line)

$Z$  = depth

$I_0$  = light intensity on the surface (intercept of the line at  $Z = 0$ )

Regressions were carried out separately for each day, taking the available (every 30 minutes around noon) vertical measurements as replicates. From the minimum, mean and maximum extinction coefficients and the incident light intensities at the surface, the decrease of light with depth was plotted, and the depth for 1 % light intensity calculated.

## RESULTS

### Seasonal variation

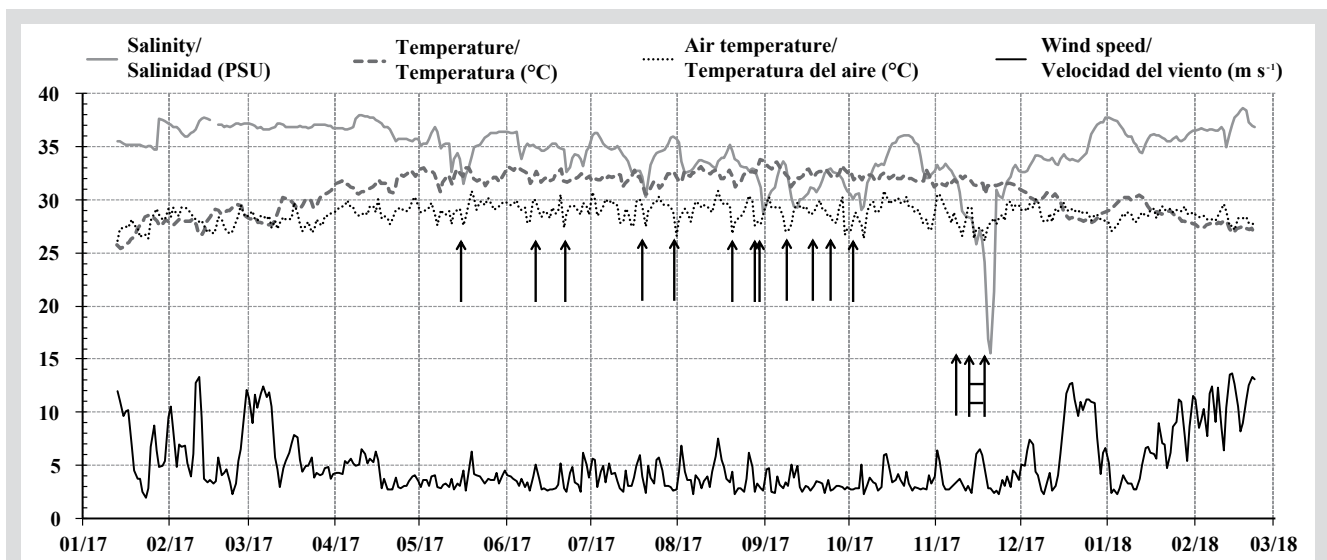
**Time series.** La Escollera lagoon waters were on average warm (30.7 °C) and saline (34.3) (Table 1). Sea-water temperatures and salinities followed the local seasonal pattern of dry-upwelling cool and rainy-warm periods (Figure 3). From middle December to early April, the lagoon had temperatures lower than 30 °C, dropping to a minimum of 24.6 °C in middle January, in association with the regional marine upwelling season and the overall slight cooling of the atmosphere during the northern hemisphere winter (down to 23.1 °C). For the rest of the year lagoon and air temperatures remained higher, topping respectively 34.7 °C and 35.0 °C. Salinities were regularly higher (> 35) during the dry season, and intermittently lower during the rainy season, in close association with local runoff from rainfall. Indeed, from middle September to late November salinities dipped below 30 after heavy downpours, reaching 15.1 after about a week of sustained rains in middle November (Figure 3). Wind speeds in the Bay of Santa Marta were high in the dry season, the trade winds blowing with mean and maximum speeds respectively 6.5 m s<sup>-1</sup> and 18.6 m s<sup>-1</sup>, while for the rest of the year mean wind speed was around 3.8 m s<sup>-1</sup> and maximum speed did not exceed 15 m s<sup>-1</sup> (Figure 3).

**Vertical profiles.** Single-point measurements of salinity and temperature in the vertical profile (0 to 1 m in depth, every 20 cm) taken approximately every two weeks with a handheld sensor, allowed for the comparison of the

**Tabla 1.** Variación general en salinidad, temperatura del agua y nivel del mar en la laguna La Escollera, y de temperatura del aire y velocidad del viento en Punta de Betín (bahía de Santa Marta), de enero de 2017 a marzo de 2018. Valores calculados directamente de todas las mediciones (intervalos de 30 minutos para las variables del agua y de 1 hora para las atmosféricas).

**Table 1.** Overall variation in sea-water temperature, salinity and sea level at La Escollera lagoon, and in air temperature and wind speed at Punta de Betín (Bay of Santa Marta). Data from January 2017 to February 2018. Values calculated directly from all measurements (30 minutes' intervals for sea-water variables and hourly intervals for atmospheric variables).

Variable	Promedio/Mean	Máximo/Maximum	Mínimo/Minimum	Desviación estándar/Standard deviation
Salinidad/Salinity (PSU)	34.3	38.9	15.1	2.8
Temperatura/Temperature (°C)	30.7	34.7	24.6	2.0
Nivel del mar relativo/Relative sea level (m)	0.0	-0.31	+0.37	Range 0.68
Temperatura del aire/Air temperature (°C)	28.7	35.0	22.7	1.9
Velocidad del viento/Wind speed (m s <sup>-1</sup> )	4.71	18.6	0.0	3.1

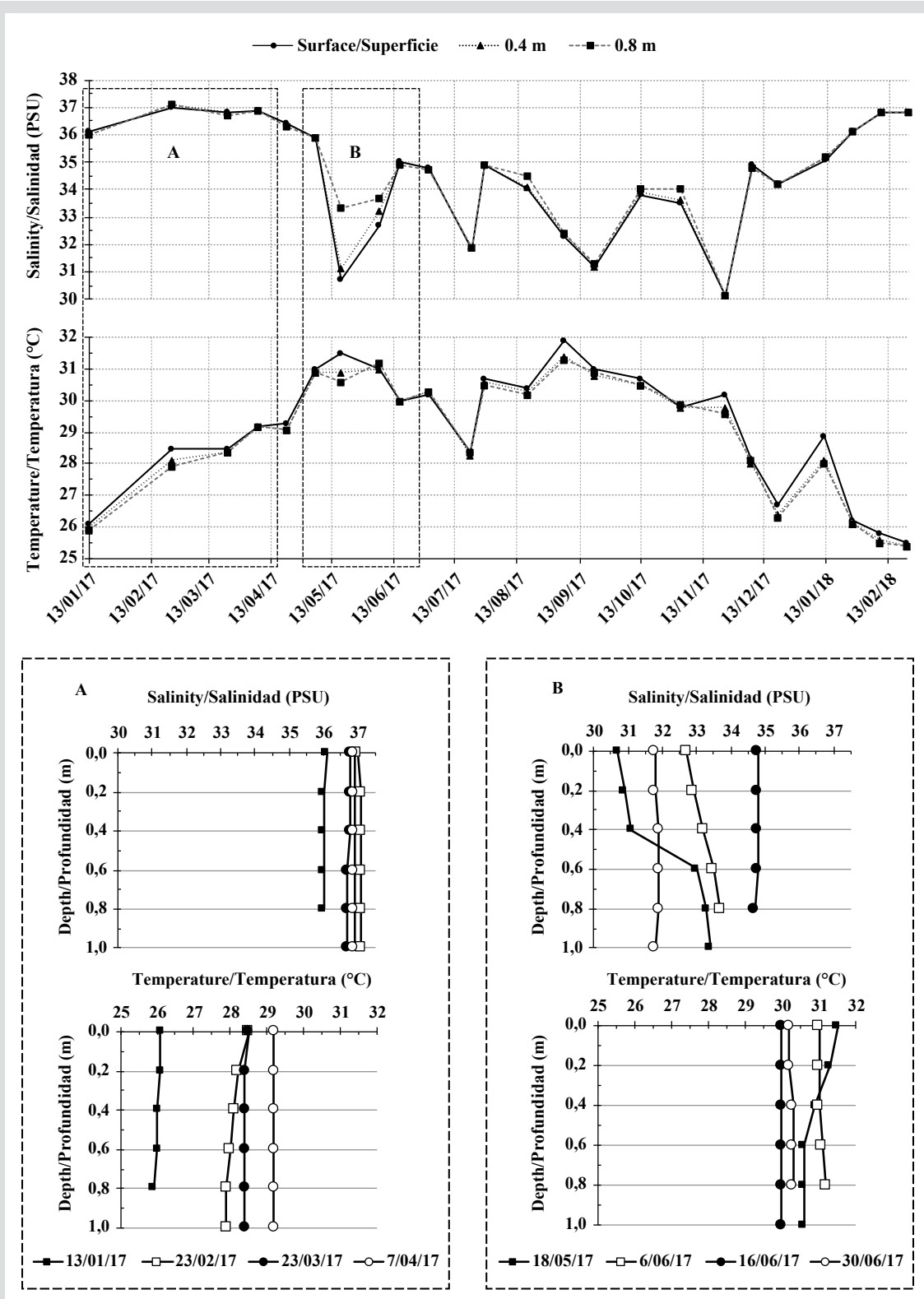


**Figura 3.** Valores promedio diarios de salinidad y temperatura del agua en la laguna La Escollera y de temperatura y velocidad del viento en Punta de Betín (bahía de Santa Marta), de enero de 2017 a febrero de 2018. Las flechas marcan registros de lluvia (chubascos y aguaceros, no medidos). Las dos flechas de la derecha, unidas por barras horizontales, indican una semana de lluvias repetidas (13-18 noviembre).

**Figure 3.** Daily mean values for La Escollera lagoon sea-water salinity and temperature, and for Punta de Betín (Bay of Santa Marta) air temperature and wind speed, from January 2017 to February 2018. Arrows mark recorded occurrence of rainfall (showers and downpours, not measured); rightmost two arrows joined by horizontal lines depict a week of repeated rains (13-18 November).

**Perfiles verticales.** Mediciones puntuales de salinidad y temperatura en el perfil vertical (de 0 a 1 m de profundidad cada 0,20 m), efectuadas aproximadamente cada dos semanas con un sensor de mano, permitieron comparar la estructura vertical de la columna de agua alrededor del mediodía entre las épocas seca y de lluvia (Figura 4). En general, en las dos épocas secas cubiertas por los datos (enero-abril de 2017, diciembre de 2017-febrero de 2018) la columna de agua estuvo bien mezclada mientras que en la época de lluvia (mayo-noviembre de 2017) la columna de agua estuvo en general mezclada, pero se estratificó, con bajas salinidades en superficie, luego de episodios de lluvia. Como un ejemplo de la época seca, los datos verticales al mediodía del 13 de enero al 17 de abril (Figura 4, recuadro A) muestran tanto

vertical structure of the water column around noon between the dry and rainy seasons (Figure 4). Overall, during both dry season periods covered by the data (January-April 2017, December 2017-February 2018), the water column was well mixed, while during the rainy season (May-November 2017) the water column was generally mixed but became stratified, with lower salinities at the surface, after rainfall episodes. As an example of the dry season, vertical data around noon from January 13 to April 7 (Figure 4, box A) show that salinity was high ( $\geq 35$ ) and the water column well mixed and temperature was cool ( $< 29$  °C), with moments of colder (26 °C) conditions. In contrast, two days after the first heavy rainfall of the 2017 rainy season, which took place on May 16, the water



**Figura 4.** Distribución vertical de salinidad y temperatura en la laguna La Escollera de enero de 2017 a febrero de 2018. Datos tomados aproximadamente cada dos semanas alrededor del mediodía (10:20-13:00) con un sensor de mano, de 0 a 1 m de profundidad cada 0,20 m. Los datos en superficie, 0,4 m y 0,8 m se presentan en los dos paneles superiores. Perfiles completos de profundidad marcados en los recuadros A y B se muestran en los paneles inferiores.

**Figure 4.** Vertical distribution of salinity and temperature at La Escollera lagoon from January 2017 to February 2018. Data taken approximately every two weeks around noon (10:20-13:00) with a handheld sensor, every 20 cm in depth from the surface to 1 m. Data for the surface, 0.4 m and 0.8 m are presented in the two upper panels. Complete depth profiles for the periods marked in boxes A and B are depicted in the lower panels.

la salinidad alta ( $\geq 35$ ) y la columna de agua bien mezclada como la temperatura fresca ( $< 29$  °C), con momentos de condiciones más frías (26 °C). En contraste, dos días luego del primer aguacero fuerte de la época de lluvia de 2017, que ocurrió el 16 de mayo, la columna de agua estaba todavía estratificada (18 de mayo, recuadro B), con salinidades menores en los primeros 0,4 m. La columna de agua estuvo bien mezclada de ahí en adelante (6-30 de junio, recuadro B), aunque menos salina ( $< 34-35$ ) y más caliente ( $> 29$  °C) que en la época seca.

### Variación diaria

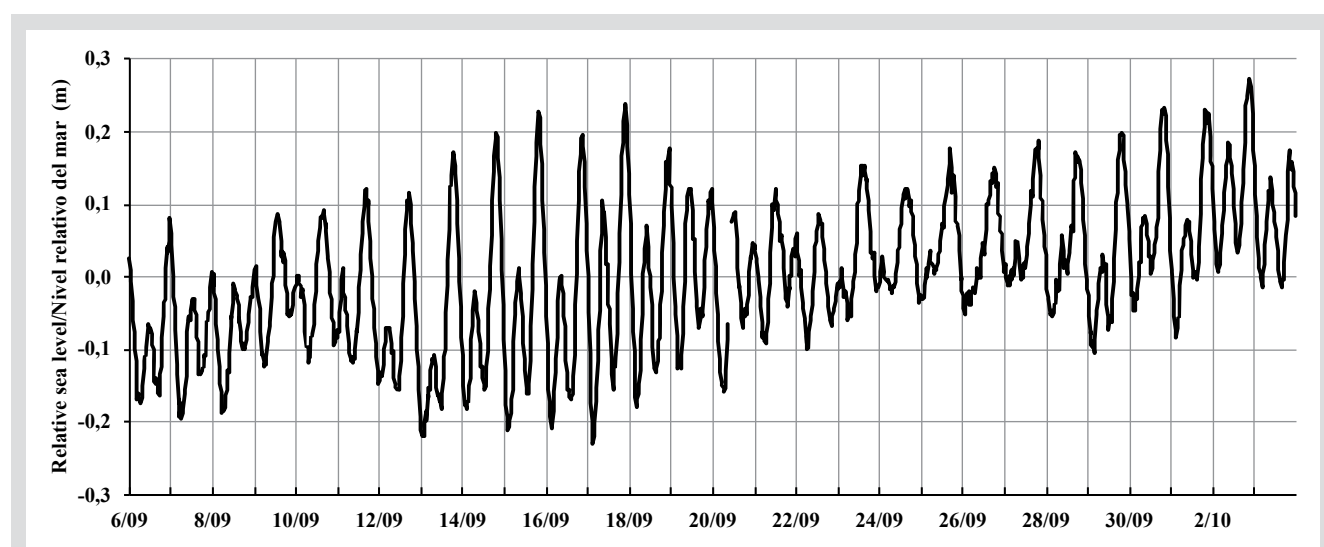
**Nivel del mar.** La oscilación del nivel del mar en La Escollera está claramente dominada por la marea, ya que sigue el esquema astronómico mixto del mar Caribe, con dos altas y dos bajas por día, pero de diferente altura, habiendo períodos de mareas vivas (de sicigia) y muertas (de cuadratura) (Figura 5). Dentro de un ciclo lunar dado, a medida que los días avanzan, una de las altas diarias se vuelve más pequeña mientras que la otra incrementa, cambiando de lugar eventualmente en un esquema complejo; en un momento, una de las dos desaparece por uno o dos días (Figura 5). El nivel del mar relativo de un año de mediciones (13 de enero de 2017-13 de enero de 2018) varió entre  $-0,31$  m y  $+0,37$  m, siendo el intervalo máximo de 0,68 m (Tabla 1). Para el período de 28 días mostrado en la Figura 5, el nivel relativo del mar varió entre  $-0,23$  y  $+0,27$  m, siendo el máximo intervalo de 0,50 m. El cambio de nivel del mar entre altas y bajas varió entre 0,04 y 0,44 m, con un

columna was still stratified (May 18, box B), with lower salinities on the upper 0.4 m. The water column was well-mixed thereafter (June 6-30, box B), although less saline ( $< 34-35$ ) and warmer ( $> 29$  °C) than during the dry-season.

### Daily variation

**Sea level and tides.** The sea level oscillation at La Escollera is clearly dominated by the tide, as it follows the mixed astronomical tide pattern of the Caribbean Sea, with two high and lows per day but of different height, there being periods of spring and neap tides (Figure 5). Within a given lunar cycle, as the days proceed and the tide lags about an hour every day, one of the daily highs becomes smaller, while the other high increases, eventually exchanging places in a complex pattern; at some point one of the two may disappear for a day or two (Figure 5). Relative sea level of one year of measurements, from January 13, 2017 to January 13, 2018, varied between  $-0.31$  m and  $+0.37$  m, the maximal range being 0.68 m (Table 1). For the exemplified 28-day period depicted in Figure 5, relative sea level varied between  $-0.23$  and  $0.27$ , the maximal range being 0.50 m. Sea level change between highs and lows varied between 0.04 m and 0.44 m, with a mean tidal change of 0.19 m. Detailed analysis and decomposition of the tide (astronomical and meteorological components) is being carried out in a separate study.

**Seasonal patterns of daily variation.** Figures 6 to 8 depict example weekly intervals of daily variation in



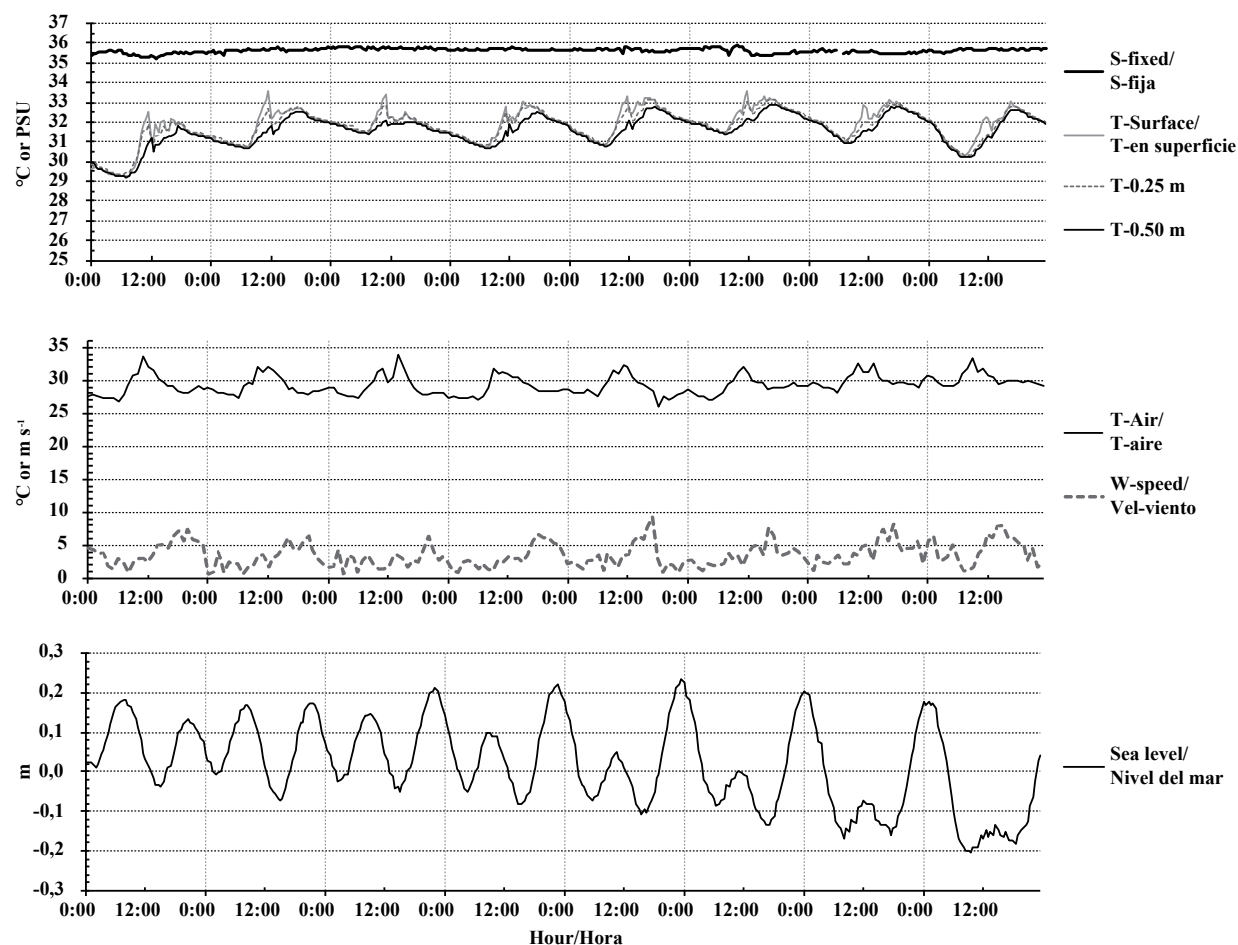
**Figura 5.** Oscilaciones del nivel relativo del mar en la laguna La Escollera durante un período de 28 días (6 de septiembre-3 de octubre de 2017). Datos normalizados para la serie de 28 días (dato menos el promedio de la serie). No se corrigieron valores originales de presión total en el registrador por presión atmosférica.

**Figure 5.** Oscillation of relative sea level at La Escollera lagoon during a 28-day period (September 6 and October 3, 2017). Data normalized for the 28-day series (datum minus series mean); original pressure measurements not corrected for atmospheric pressure.

promedio de cambio mareal de 0,19 m. Un análisis detallado y la descomposición de la marea (componentes astronómico y meteorológico) se está llevando a cabo en un estudio separado.

**Esquemas estacionales de variación diaria.** Las figuras 6 a 8 muestran ejemplos de intervalos semanales de variación diaria en la salinidad, temperatura y nivel del mar en la laguna La Escollera, y en la temperatura del aire y la velocidad del viento en Punta de Betín (bahía de Santa Marta). La temperatura del agua fue medida en superficie, a 0,25 m y a 0,50 m de profundidad con los registradores flotantes. El primer intervalo, 22-29 de abril de 2019 (Figura 6), corresponde al final de la época seca, cuando los fuertes vientos alisios que inducen afloramiento disminuyen. Las salinidades permanecieron altas pero estables y las

La Escollera lagoon sea-water salinity, temperature and sea level, and Punta de Betín (Bay of Santa Marta) air temperature and wind speed. The sea-water temperature was measured at the surface, 0.25 m and 0.50 m with the floating loggers. The first interval, April 22-29, 2017 (Figure 6), corresponds to the end of the dry season, when the strong upwelling-inducing trade winds had slacked, salinity remained high but stable, and temperatures were relatively high and followed a daily cycle of day warming and night cooling, warming being slightly greater at the surface of the lagoon than further deeper, the water column cooling uniformly throughout the night. Winds seemed to follow a rather regular pattern of late afternoon intensification. Daily sea level variation, with its 1-hour



**Figura 6.** Variación diaria en salinidad (S-fija), temperatura del agua (T-en superficie, 0,25 m y 0,50 m de profundidad) y nivel del mar en la laguna de La Escollera, y de temperatura del aire (T-aire) y velocidad del viento (Vel-viento) en Punta de Betín (bahía de Santa Marta), del 22 al 29 de abril de 2017. Intervalo de medida de 30 minutos para el agua y de 1 hora para el aire. Los registradores de temperatura flotaron con la marea y medían así a las mismas profundidades mientras que el registrador de conductividad tenía una posición fija y, por lo tanto, cambió de profundidad con la marea.

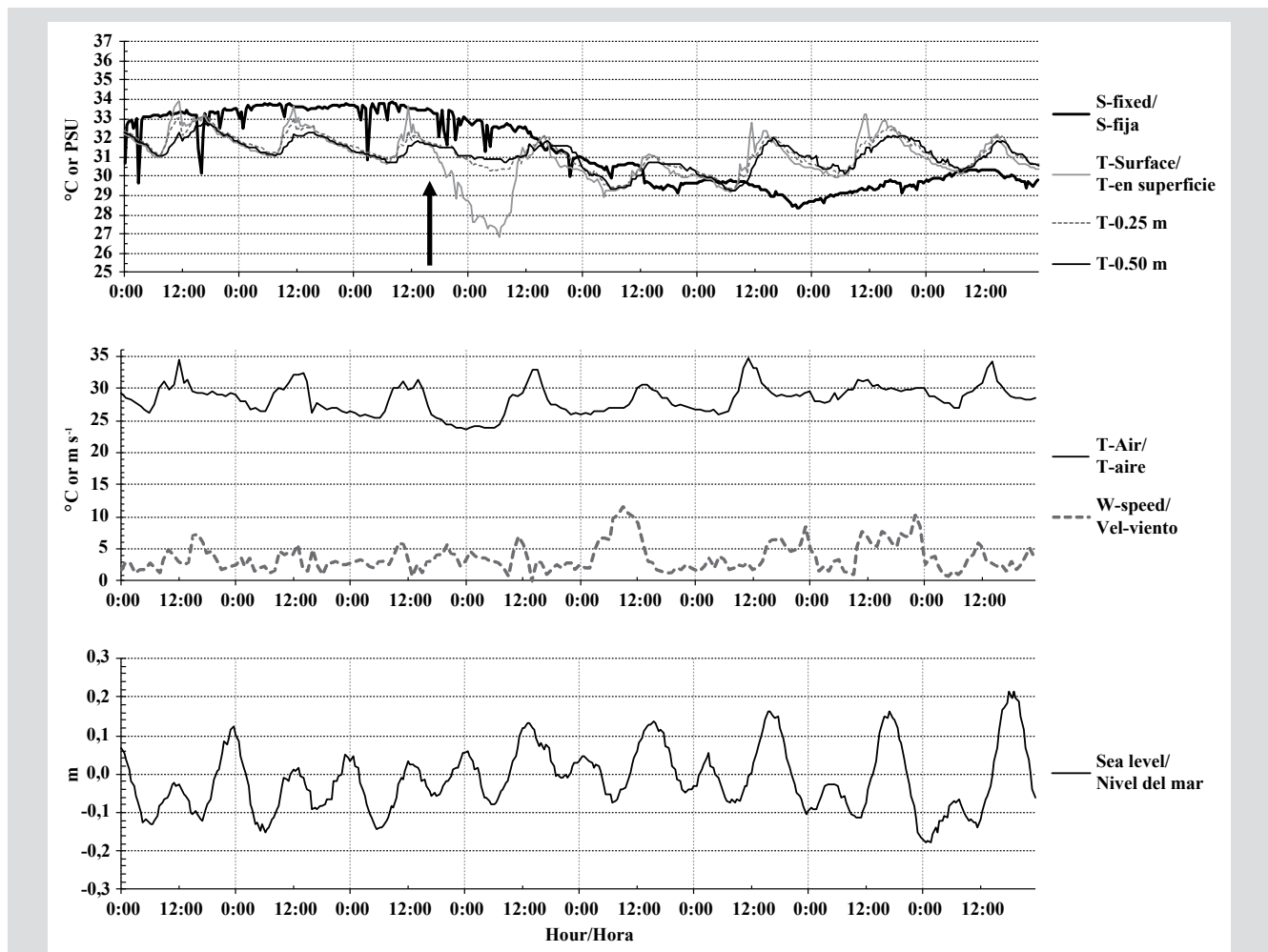
**Figure 6.** Daily variation of La Escollera lagoon sea-water salinity (S-fixed), temperature (T-at the surface, 0.25 m and 0.5 m in depth) and sea level, and of Punta de Betín (Bay of Santa Marta) air temperature (T-air) and wind speed (W-speed), from April 22 to 29, 2017. Measurement intervals of 30 minutes for sea-water and 1 hour for air. Temperature loggers floated with the tide, thus measuring at the same depths, while the conductivity logger had a fixed position and thus changed depth as the tide changed.

temperaturas fueron relativamente altas y siguieron el ciclo diario de calentamiento en el día y de enfriamiento en la noche. El calentamiento fue ligeramente mayor en la superficie de la laguna que en lo profundo y la columna de agua se enfrió uniformemente en la noche. Los vientos parecieron seguir un patrón algo regular de intensificación en la tarde. La variación diaria del nivel del mar, con su retraso diario de una hora, no pareció relacionarse directamente con las variaciones en la temperatura del agua.

El segundo intervalo, 6-13 de septiembre de 2017 (Figura 7), corresponde a la época de lluvia, con un episodio de fuerte lluvia en la tarde del 8 de septiembre (flecha). En general, la salinidad se mantuvo debajo de 34 y poco a poco se volvió menor. Curiosamente, hubo pulsos cortos de menores salinidades, de hasta 3 unidades, no asociados directamente

daily delay in the oscillations, did not seem to relate directly to the variations in sea-water temperature.

The second interval, September 6-13, 2017 (Figure 7), corresponds to the rainy season, with one episode of heavy rainfall on the afternoon of September 8 (arrow). Overall, salinity remained below 34, becoming progressively lower. Interestingly, there were short pulses of lower salinity, down to 3 units, not directly associated with rainfall, which may reflect circulation of less saline masses that move throughout the lagoon. Sea-water and air temperatures remained high with the regular day warming and night cooling. However, after the rainfall of Sept 8, there was additional cooling, especially overnight at the surface (and in the air), that soon became generalized for the entire water column and made the next two days



**Figura 7.** Variación diaria en salinidad (S-fija), temperatura del agua (T-en superficie, 0,25 m y 0,50 m de profundidad) y nivel del mar en la laguna de La Escollera, y de temperatura del aire (T-aire) y velocidad del viento (Vel-viento) en Punta de Betín (bahía de Santa Marta), del 6 al 13 de septiembre de 2017. Condiciones de medición como en la Figura 6. La flecha marca el inicio de un episodio de fuerte lluvia (8 de septiembre, 16:00).

**Figure 7.** Daily variation of La Escollera lagoon sea-water salinity (S-fixed), temperature (T-at the surface, 0.25 m and 0.5 m in depth) and sea level, and of Punta de Betín (Bay of Santa Marta) air temperature (T-air) and wind speed (W-speed), from September 6 to 13, 2017. Measurement conditions as in Figure 6. The arrow marks the beginning of a heavy rainfall episode (September 8, 16:00).

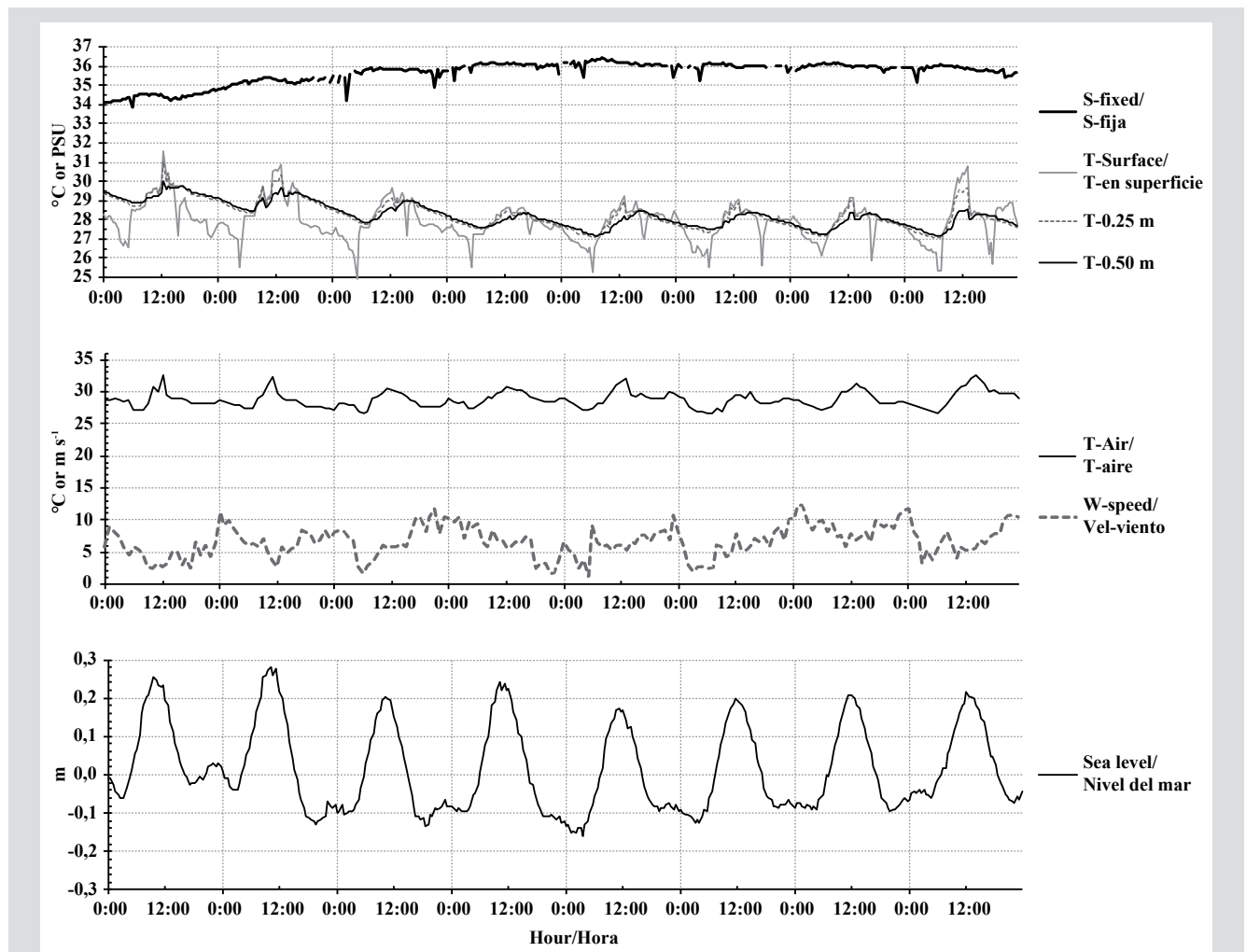


con lluvias, que pueden reflejar la circulación de masas de agua menos salinas en la laguna. Las temperaturas del agua y del aire se mantuvieron altas con la regularidad del calentamiento en el día y de enfriamiento en la noche. Sin embargo, luego de la lluvia del 8 de septiembre, hubo enfriamiento adicional, especialmente en la noche, en superficie (y en el aire). Ese enfriamiento pronto recubrió toda la columna de agua e hizo que los dos días siguientes fueran más fríos, debido posiblemente a un incremento en la velocidad del viento y a la nubosidad generalizada (no medida). Las variaciones diarias del nivel del mar no parecieron relacionadas directamente ni con los pulsos de baja salinidad ni con el enfriamiento o calentamiento luego de la lluvia.

El tercer intervalo, 13-20 de enero de 2018 (Figura 8), corresponde a la época seca, con alta salinidad (sobre 34

cooler, possibly owing to an increase in the wind speed and a generalized cloud cover (not measured). Daily sea level variation did not look directly related to either the low salinity pulses or to cooling and warming after the rain episode.

The third interval, January 13-20, 2018 (Figure 8), corresponds to the dry season, with high salinity (above 34 and higher than 36), and lower sea-water temperatures (mostly below 30 °C even around noon). Air temperatures were generally lower than in April 2017, not warming as much around noon on most days. Winds reached higher speeds than in the other intervals. In contrast, overnight cooling of the lagoon surface occurred every day and was quite important, being 3-6 °C lower in the early morning than around noon. However, there were point



**Figura 8.** Variación diaria en salinidad (S-fija) y temperatura del agua (T-en superficie, 0.25 m y 0.50 m de profundidad) y nivel del mar en la laguna de La Escollera, y de temperatura del aire (T-aire) y velocidad del viento (Vel-viento) en Punta de Betín (bahía de Santa Marta), del 13 al 20 de enero de 2018. Condiciones de medición como en la Figura 6.

**Figure 8.** Daily variation of La Escollera lagoon sea-water salinity (S-fixed), temperature (T-at the surface, 0.25 m and 0.5 m in depth) and sea level, and of Punta de Betín (Bay of Santa Marta) air temperature (T-air) and wind speed (W-speed), from January 13-20, 2018. Measurement conditions as in Figure 6.

y mayor a 36) y temperaturas del agua menores (la mayoría debajo de 30 °C, aún alrededor del mediodía). Las temperaturas del aire fueron generalmente menores que en abril de 2017 (Figura 6), sin calentarse tanto al mediodía en la mayor parte de días. Los vientos alcanzaron mayores velocidades que en los otros intervalos estudiados. En contraste, cada día ocurrió un enfriamiento nocturno significativo en la superficie de la laguna, el cual temprano en la mañana era 3-6 °C menor en comparación con el mediodía. Sin embargo, hubo episodios puntuales de enfriamiento de 2-3 °C en superficie durante la tarde (14:30-18:30) casi cada día, no asociados con disminución de la temperatura del aire o con vientos más fuertes, pero coincidentes con la mitad inferior de la marea saliente, lo cual quizás indica la circulación de masas de agua más frías.

**Mezcla luego de lluvia.** Luego de un episodio de fuertes lluvias y escorrentía el 2 de octubre de 2018 (14:30-20:30), se pudo seguir el comportamiento de la salinidad y la temperatura en la vertical por los siguientes tres días (Figura 9). Unas 12 horas después del episodio (3 de octubre, 07:50), la columna de agua estaba claramente estratificada con menores salinidades (18,2) y temperaturas (27,8 °C) en superficie (vs. 31,3 para salinidad y 30,0 °C para temperatura a 1 m de profundidad). Unas 5 horas más tarde (13:10), la salinidad y la temperatura superficiales se habían incrementado respectivamente a 24,4 y 31,3 °C. Al día siguiente (4 de octubre, 14:30), los 0,6 m superiores estaban bien mezclados y más salinos (alrededor de 29) y permanecieron así hasta el día siguiente (5 de octubre, 14:30). En suma, unas 42 horas luego de las lluvias, la columna de agua se mezcló por completo, con una salinidad similar a la del mar adyacente (28,3-28,4; la temperatura fue naturalmente más alta en la laguna que en el mar; Figura 9B, 9C). Cálculos de sigma-t para todos los perfiles verticales (Figura 9D) muestra que, mientras la columna estaba estratificada, la densidad era menor en la superficie; por lo tanto, probablemente la mezcla subsiguiente no ocurrió por intercambio vertical termohalino. Aun cuando el enfriamiento nocturno del 3 al 4 de octubre mostró que la capa superficial se puso mucho más fría que las inferiores (Figura 9A), como la salinidad se mantuvo baja, es poco probable que la densidad en la superficie hubiera sido mayor que las de las capas más profundas como para producir mezcla vertical. En cambio, hubo un ciclo mareal completo con un intervalo de 0,35 m entre las mediciones del 3 y el 4 de octubre (Figura 9A). Sin descartar efectos del viento (no considerados, ya que no hay medidas locales de viento), la mezcla pudo haber sido ayudada por la circulación impulsada por la marea.

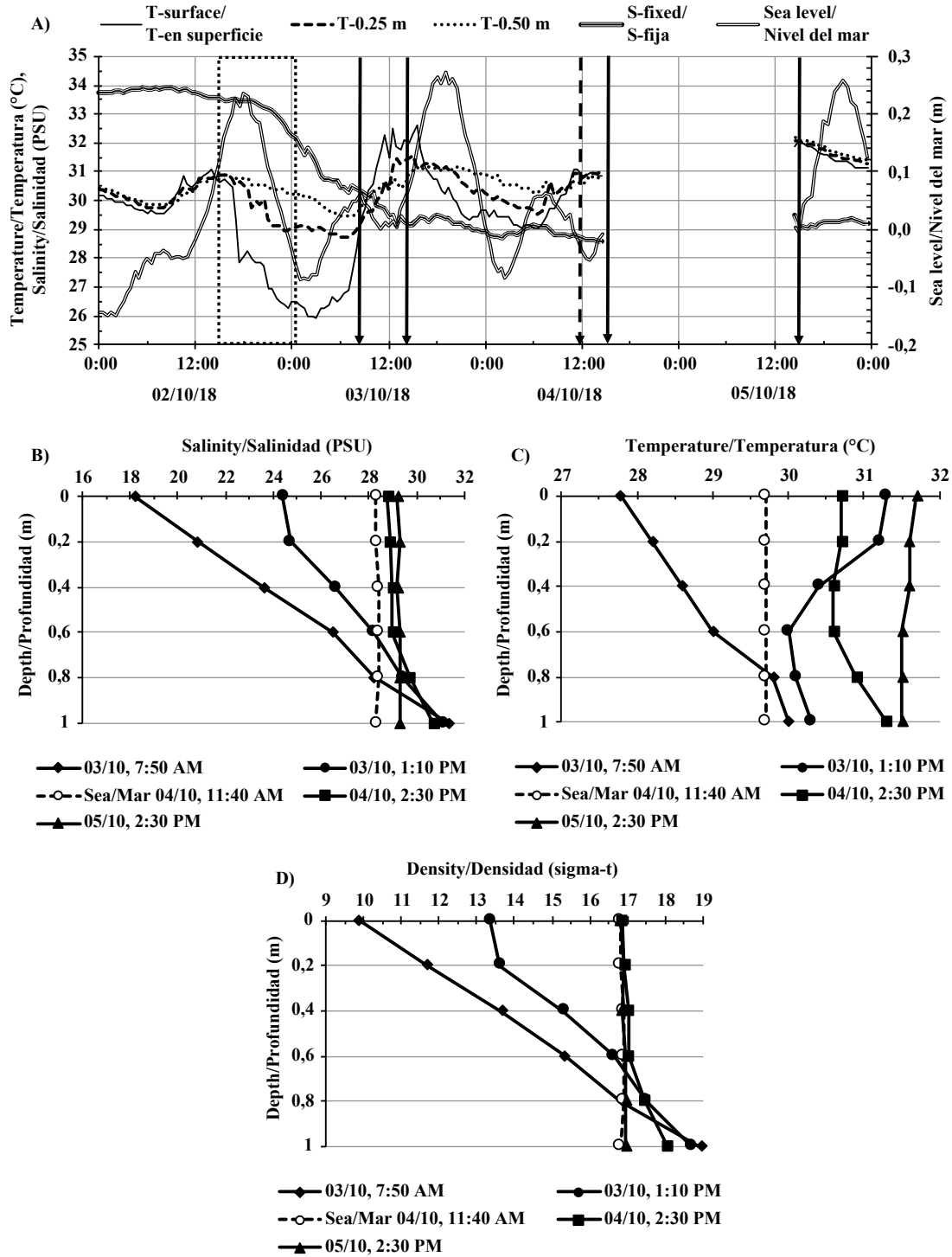
episodes of 2-3 °C surface cooling during the afternoon (14:30 to 18:30) almost every day, not associated with air temperature decreases or faster winds, but coincident with the lower half of the ebbing tide, somehow indicative of circulation of cooler water masses.

**Mixing after rainfall.** After a heavy rainfall and runoff episode on October 2, 2018 (14:30 to 20:30), we were able to follow up the behavior of salinity and temperature in the vertical for the next three days (Figure 9). About 12 hours after the episode (October 3, 07:50), the water column was clearly stratified with lower salinities (18.2) and temperatures (27.8 °C) at the surface (vs. 31.3 for salinity and 30.0 °C for temperature at 1 m in depth, Figure 9B, 9C). About 5 hours later (13:10) surface salinity and temperature had increased respectively to 24.4 and 31.3 °C. The next day (October 4, 14:30) the upper 0.6 m were well mixed and more saline (around 29), remaining as such one day later (October 5, 14:30). In sum, about 42 hours after the rainfall the water column was mixed thoroughly with a salinity similar to that of the adjacent sea (28.3-28.4; temperature was naturally warmer in the lagoon than in the sea, Figure 9B, 9C). Sigma-t calculations for all vertical profiles (Figure 9D) show that while the column was stratified, density was lower at the surface, and therefore mixing probably did not occur through vertical thermohaline exchange. Even though the overnight cooling from October 3 to 4 showed the surface layer to become much colder than deeper layers (Figure 9A), as salinity remained low, it is unlikely that the density of the surface would have been greater than that of deeper layers, to elicit vertical mixing. Instead, a full tidal cycle with a range of 35 cm occurred between measurements on October 3 and 4 (Figure 9A); not discarding wind effects (not considered as there are no local wind measurements), mixing could have been aided by tide-driven circulation.

#### Light extinction

La Escollera lagoon waters are usually greenish, with varied transparency. Only after heavy runoff, when sediments from the surrounding hills washed in, did waters temporarily become brown and murky. The following results on extinction coefficients are only for greenish waters, because the days in which light loggers were clean for valid measurements never coincided with brown murky water. There was not a clear pattern of light extinction either with the seasons or with the sea level (data not shown). Extinction coefficients varied between 0.020 cm<sup>-1</sup> and 0.065 cm<sup>-1</sup>, that is, approximately 2 % to





**Figura 9.** A) Variación de salinidad (S-fija), temperatura (T-en superficie, 0,25 m y 0,5 m de profundidad) y nivel del mar (2-5 de octubre de 2018). Condiciones de medición como en la Figura 6 (exceptuando el intervalo en blanco, cuando los registradores se recuperaron para limpieza hasta el otro día). Un episodio de fuertes lluvias, que ocurrió el 2 de octubre desde las 14:30 hasta las 20:30, se marca con un rectángulo de borde discontinuo. Las flechas marcan los momentos de mediciones verticales, que fueron llevadas a cabo con un sensor de mano cada 0,2 m en el primer metro de la columna de agua. La flecha discontinua marca las medidas hechas en el mar adyacente. Estos perfiles verticales se representan en B) y C). D) Valores de densidad (como sigma-t), calculados de B) y C).

**Figure 9.** A) Variation of La Escollera lagoon sea-water salinity (S-fixed), temperature (T-at the surface, 0.25 m and 0.5 m in depth) and sea level (October 2 to 5, 2018). Measurement conditions as in Figure 6 (excepting the blank interval, when loggers were retrieved overnight for cleaning). A heavy rainfall episode, which occurred on October 2 from 14:30 to 20:30, is marked by the dashed rectangle. Arrows mark moments of point vertical measurements every 0.2 m for the first 1 m of the water column, carried out with a handheld sensor; dashed arrow is for a measurement done at the adjacent sea. These vertical profiles are represented in B) and C). D) Density values (as sigma-t) calculated from B) and C).

**Extinción de la luz**

Las aguas de la laguna La Escollera usualmente son verdosas, con variada transparencia. Las aguas se volvieron marrones y turbias solo luego de una fuerte escorrentía, cuando se lavaron sedimentos de las colinas adyacentes. Los siguientes resultados sobre los coeficientes de extinción aplican solo para aguas verdosas porque los días en que los registradores de luz estuvieron limpios para producir datos válidos nunca coincidieron con aguas marrones turbias. No se encontró un esquema claro de extinción de la luz ni con las épocas ni con el nivel del mar (datos no mostrados). Los coeficientes de extinción variaron entre 0,020 cm<sup>-1</sup> y 0,065 cm<sup>-1</sup>; esto significa que aproximadamente de 2 % a 6,5 % de la intensidad de luz se perdió por cada 1 cm de profundidad, en comparación con el cm anterior (Tabla 2, Figura 10). En consecuencia, entre 85 % y 100 % de la luz se

6.5 % of the light intensity was lost every 1 cm in depth from the value of the previous cm (Table 2, Figure 10). Thus, about 85 % to 100 % of the light was lost within the first meter of water. From calculations for the minimum, mean and maximum extinction coefficients and incident light intensities, surface intensities around noon decreased to 1 % at 0.26 to 3.70 m in depth (mean 1.16 m).

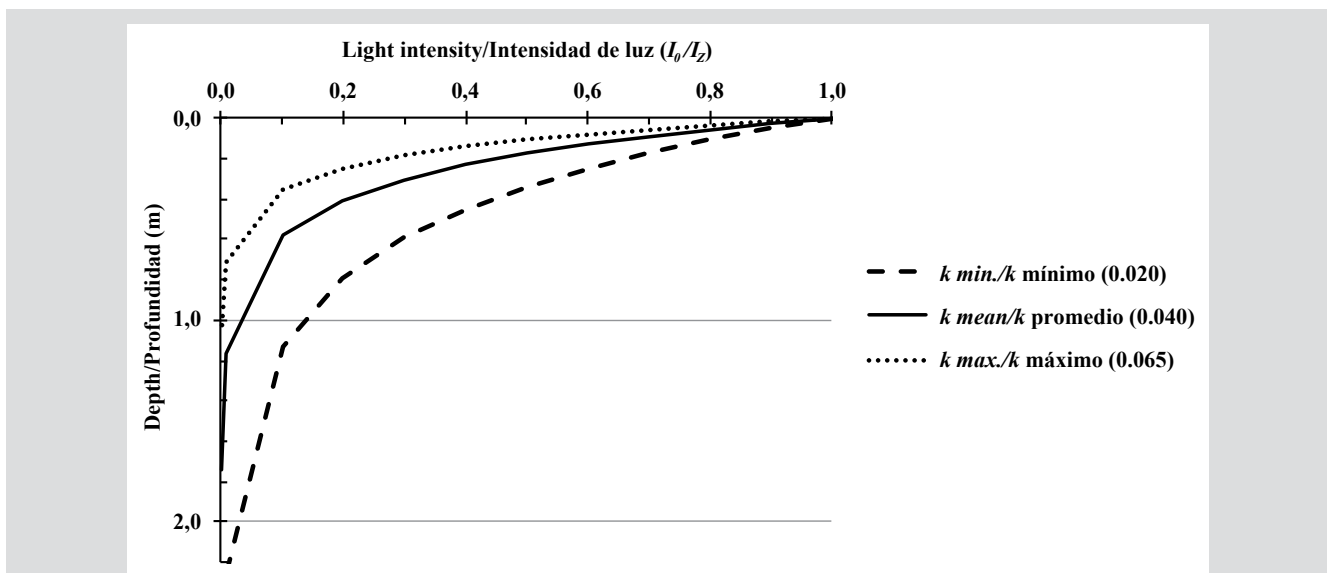
**DISCUSSION**

After more than 30 years of construction, the condition of La Escollera lagoon ecosystem with its well-developed fringe mangrove, is apparently good and healthy. Its trophic status, its main primary producers and drivers, and whether the system is providing the expected nursery and productivity services (e.g., Knoppers, 1994; Duarte

**Tabla 2.** Profundidad en la que la intensidad de luz corresponde a 1 % de la luz incidente en superficie en la laguna La Escollera. Lo anterior fue calculado a partir de la ecuación de extinción de la luz de Beer-Lambert usando el coeficiente de extinción (*k*) mínimo, promedio y máximo y las intensidades de luz incidente en superficie alrededor del mediodía. Datos de 73 días seleccionados en los que los registradores estuvieron limpios (entre marzo 2017-marzo 2018).

**Table 2.** Depth at which the light intensity is 1 % of the surface incident light in La Escollera lagoon, calculated from the Beer-Lambert light extinction equation using the minimum, mean and maximum extinction coefficients (*k*) and incident surface light intensities around noon. Data from 73 days in which the loggers were clean (from March 2017 to March 2018).

<i>k</i> (cm <sup>-1</sup> )	Profundidad de la intensidad de luz a 1 % (m)/Depth at 1 % light intensity (m)		
	Mínimo/Minimum	Promedio/Mean	Máximo/Maximum
Mínimo/Minimum (0.020)	0.81	2.26	3.70
Promedio/Mean (0.040)	0.42	1.16	1.91
Máximo/Maximum (0.065)	0.26	0.71	1.17



**Figura 10.** Extinción de la luz en la columna de agua (*I<sub>z</sub>* como proporción de la intensidad de luz en superficie, *I<sub>0</sub>*) en función de la profundidad para la laguna La Escollera. Datos y cálculos como en la Tabla 2 (unidades de *k* son cm<sup>-1</sup>).

**Figure 10.** Light extinction in the water column (*I<sub>z</sub>* as a proportion of the surface intensity, *I<sub>0</sub>*) as a function of depth. Data and calculations as in Table 2 (units of *k* are cm<sup>-1</sup>).

perdió dentro del primer metro de agua. A partir de cálculos del coeficiente de extinción mínimo, promedio y máximo, en relación con la intensidad de luz incidente, se pudo establecer que las intensidades de luz incidente en superficie al mediodía disminuyeron a 1 % desde 0,26 m hasta 3,70 m de profundidad (promedio de 1,16 m) (Figura 10); esto indica que la luz puede alcanzar el fondo de la laguna.

## DISCUSIÓN

Luego de más de 30 años de construcción, la condición del ecosistema de la laguna La Escollera, con su bien desarrollado manglar de borde, es aparentemente buena y saludable. Su estatus trófico, sus principales productores primarios y lo que los impulsa y, asimismo, si el sistema está proveyendo los servicios de guardería y producción esperados (v. g. Knoppers, 1994; Duarte y Cebrián, 1996; Nagelkerken *et al.*, 2008; Cloern *et al.*, 2014) son materia de investigaciones en marcha y lo será de futuras. También falta determinar los posibles impactos de derrames de agua de alcantarilla y de actividades náuticas como descargas de agua de sentina e introducción de especies no nativas (v. g. Foster *et al.*, 2016).

Hasta ahora, durante prácticas de cursos y observaciones de campo, se ha visto una epifauna sésil diversa pero temporalmente variable en el sustrato duro disponible (raíces adventicias de mangle, pilotes, paredes de cemento, lados inferiores de placas experimentales de colonización), en especial filtradores, que en ocasiones son afectados por episodios de fuerte escorrentía y sedimentación. Mediciones esporádicas han mostrado valores relativamente bajos de pH y de oxígeno y valores altos de nutrientes inorgánicos (ver Zea *et al.*, 2017).

La carencia de descarga fluvial constante hace de la laguna La Escollera un estuario negativo, que tiende a ser eurihalino (30-40) y a veces polihalino (18-30) (Vázquez-Botello *et al.*, 2009) y que se ve influenciado principalmente por escorrentía de la cuenca local durante lluvias. En La Escollera, el esquema estacional de salinidad es similar o mayor ( $> 35$ , con un máximo de 38,9) al del mar adyacente en la época seca, debido a la evaporación local, e intermitentemente más bajo ( $< 30$ , con un mínimo de 15,1) por dilución en la época de lluvia. Lo anterior lo hace similar al esquema estacional de las lagunas costeras estudiadas que están ubicadas en el Caribe colombiano y que carecen de entradas permanentes de agua dulce. Por ejemplo, Laguna Sur (de la bahía de Chengue), una laguna natural mucho más

and Cebrián, 1996; Nagelkerken *et al.*, 2008; Cloern *et al.*, 2014) is a matter of current and future research. Possible impacts from sewage overflow and from boating activities such as wastewater or non-native species introductions (e.g., Foster *et al.*, 2016) also remain to be determined. So far, during course practices and field observations we have seen diverse but temporarily variable sessile epifauna on the available cryptic hard substratum (mangrove stilt roots, pilings, cement walls, undersides of experimental fouling panels), especially filter feeders, often strongly affected by episodes of heavy runoff and sedimentation. Occasional measurements have shown relatively low pH and oxygen levels, and high inorganic nutrient levels (see Zea *et al.*, 2017).

The lack of a constant riverine runoff makes La Escollera lagoon a negative estuary, which tends to be euryhaline (30-40), sometimes polyhaline (18-30) (Vázquez-Botello *et al.*, 2009), influenced mainly by rain runoff from the local basin. In La Escollera, the seasonal pattern of salinity, similar or higher ( $> 35$ , with a maximum of 38.9) than the adjacent sea during the dry season, owing to local evaporation, and intermittently lower ( $< 30$ , reaching a minimum of 15.1), from dilution during the rainy season, is similar to studied natural coastal lagoons of the Colombian Caribbean that lack a permanent fresh water inputs. For example, Laguna Sur of Chengue Bay, a much wider natural lagoon located in the adjacent NE of Santa Marta, shows salinities from 37 to 42 during the dry season, and 31-35 during the rainy season but dropping to 23-29 after rainfall (Álvarez-León *et al.*, 1995). In Cocoliso, a karstic island lagoon in Isla Grande, Rosario Islands, near Cartagena city, salinity is similar to the sea, perhaps slightly higher (37), but may drop to 29 during rainstorms (Castillo *et al.*, 1992). In Ciénaga de los Vásquez, an ample lagoon with a rather wide opening to the sea, located south of Bahía de Cartagena, salinity is similar to that of the sea (36) during the dry season, lowering (29-34) during the rainy season (Pérez and Victoria, 1977).

Regarding temperature, the shallowness and enclosure of La Escollera are responsible for relatively strong warming from solar radiation, with temperatures as high as 34.7 °C, while coastal waters of Ensenada de Gaira fluctuate around 27-28 °C (Franco, 2005). The greater warming at the surface in comparison with 0.25 m and 0.50 m in depth during the day, often followed by cooling of surface waters at night, behaves as expected in a body of water which warms from the surface down by

grande localizada en el NE cercano a Santa Marta, muestra salinidades de 37-42 en la época seca y de 31-35 en la época de lluvia, pero baja a 23-29 luego de lluvias (Álvarez-León *et al.*, 1995). Por otra parte, en Ciénaga de los Vásquez, una laguna localizada al sur de la bahía de Cartagena que cuenta con una entrada bastante amplia del mar, la salinidad es similar a la del mar (36) en la época seca y baja (29-34) en la época de lluvia (Pérez y Victoria, 1977).

Con respecto a la temperatura, la poca profundidad y el encerramiento de La Escollera son responsables del calentamiento relativamente fuerte causado por la radiación solar, con temperaturas tan altas como 34,7 °C, mientras que las aguas costeras de la ensenada de Gaira fluctúan alrededor de 27-28 °C (Franco, 2005). El mayor calentamiento en la superficie en comparación con 0,25 m y 0,50 m de profundidad durante el día, frecuentemente seguido de enfriamiento del agua superficial en la noche, se comporta como se espera de un cuerpo de agua que se calienta desde la superficie hacia abajo por radiación incidente en el día y que pierde calor en la noche por convección hacia el aire. Esta laguna se enfría (hasta llegar a 25-26 °C) en la época seca. Lo mismo pasa en la cercana Laguna Sur, de la bahía de Chengue, con temperaturas mínimas de 26 °C en la época seca, atribuidas a la entrada de aguas de afloramiento (Álvarez-León *et al.*, 1995). En contraste, en las lagunas kársticas de Cocoliso y Ciénaga de los Vásquez, cerca de Cartagena, donde no hay afloramiento, las temperaturas son regularmente altas durante todo el año (28-32 °C) y llegan a 26 °C, pero luego de tormentas (Pérez y Victoria, 1977; Castillo *et al.*, 1992).

Este enfriamiento de La Escollera y Laguna Sur probablemente ocurre también por pérdida de calor convectivo y evaporativo, nocturno y por vientos; en la época seca, las temperaturas del aire son ligeramente menores (por el invierno del hemisferio norte) y soplan los fuertes vientos alisios en el área. De hecho, el enfriamiento nocturno de 3-6 °C de la capa superficial de La Escollera es la norma en esta época. Sin embargo, es claro que las aguas frías del afloramiento costero (23-26 °C, cf. Franco, 2005) entran en la laguna por la circulación impulsada por la marea. La ocurrencia de picos de enfriamiento superficial de 2-3 °C durante el día en la época seca en La Escollera, no asociados a bajas temperaturas del aire, podrían ocurrir por hundimiento rápido de aguas superficiales a causa de enfriamiento evaporativo debido al viento (Castillo *et al.*, 1992), pero también por la circulación de las aguas frías del afloramiento costero a través de la laguna.

incident radiation during the day, and loses heat at night by convection to the air. This lagoon is cooled (dropping to 25-26 °C) during the dry season. The same occurs in the nearby Laguna Sur of Chengue Bay, with minimal temperatures of 26 °C during the upwelling season (Álvarez-León *et al.*, 1995). In contrast, in the karstic lagoons of Cocoliso and Ciénaga de los Vásquez near Cartagena, where there is no upwelling, temperatures are regularly high throughout the year (28-32 °C), dropping to 26 °C but after rainstorms (Pérez and Victoria, 1977; Castillo *et al.*, 1992).

This cooling of La Escollera and Laguna Sur probably occurs from nocturnal and wind-driven convective and evaporative heat loss; slightly lower air temperatures (from the northern hemisphere winter) and strong trade winds are present in the area during the dry season. In fact, 3-6 °C nocturnal cooling of the surface layer of La Escollera are the norm during this time, possible increasing surface water density and thus inducing vertical mixing. However, it is clear that upwelled, cool coastal waters (23-26 °C, cf. Franco, 2005) enter the lagoon through tide-driven circulation. The occurrence of spikes of 2-3 °C of surface cooling during the day in the dry season at La Escollera, not associated with lower air temperatures, could occur from rapid sinking of surface waters from evaporative cooling by the wind (Castillo *et al.*, 1992) but also from circulation throughout the lagoon of cooler water masses.

The daytime (around noon) vertical profiles (down to 1 m in depth) of salinity and temperature in La Escollera lagoon show that a well-mixed water column is the norm, excepting after heavy rainfall, when the water column becomes stratified, with surface layers less saline than deeper layers. Vertical profiles also follow the seasonal pattern of cool and salty waters during the dry season, and the warmer and less saline waters during the rainy season. The same seasonal pattern of well-mixed vs. stratified column is seen, but in a larger vertical scale, in the coastal waters of Ensenada de Gaira (Franco, 2005). The occurrence during the dry season of days when the water column was uniformly cool around noon (e.g., 26 °C), indicate that upwelled waters are entering the lagoon, rather than being cooled overnight or by wind. In fact, the documented, rather quick mixing (hours to about 2 days) of the stratified water column formed after heavy rainfall, could not be accounted for by vertical exchange from increased density at the surface from overnight cooling, but rather by tide-driven circulation.

Los perfiles verticales (hasta 1 m de profundidad) en el día (alrededor del mediodía) de salinidad y temperatura en la laguna La Escollera muestran que la norma es una columna de agua bien mezclada, excepto luego de fuertes lluvias cuando la columna de agua se estratifica, con las capas superficiales menos salinas que las profundas. Los perfiles verticales también siguen el esquema estacional de aguas frías y saladas en la época seca y de más calientes y menos salinas en la época de lluvia. El mismo esquema estacional de columnas bien mezcladas vs. estratificadas ocurre en las aguas costeras de la ensenada de Gaira, pero en una mayor escala vertical (Franco, 2005). La ocurrencia en la época seca de algunos días en que la columna de agua estuvo uniformemente fría al mediodía (v. g. 26 °C) indica que las aguas de afloramiento están entrando en la laguna más que estén siendo enfriadas por la noche o el viento. De hecho, la mezcla bastante rápida (de horas hasta cerca de dos días) que fue documentada para la columna estratificada que se formó luego de un fuerte aguacero no puede explicarse por intercambio vertical al aumentar la densidad en superficie por enfriamiento nocturno, pero sí por circulación debida a la marea.

En lagunas costeras estranguladas como La Escollera, con una sola entrada larga y angosta, se asume que la circulación es impulsada más por vientos y escorrentía que por oscilaciones de la marea porque el canal amortigua las fluctuaciones del nivel del mar (Kjferve y Maguill, 1989; Kjferve, 1994). Sin embargo, la oscilación del nivel del mar dentro de La Escollera sigue la marea astronómica regular mixta del área, siendo de la misma magnitud que la de la costa (datos inéditos). Esto muestra que, de alguna manera, la morfología del canal permite que la marea entre y salga sin que haya, en apariencia, mucha disipación, y esto fuerza la circulación. Quizás porque la laguna está rodeada de manglares altos y no tiene quebradas que desembocan en ella, los vientos y la escorrentía tienen influencia mínima o esporádica en la circulación. Considerando una laguna de 1,5 m de profundidad y la diferencia mínima (0,04 m), máxima (0,44 m) y promedio (0,19 m) entre marea alta y baja en el mes lunar presentado en la Figura 5, el volumen que entra o sale de la laguna variaría de 0,04 % a 29,3 % (promedio 12,7 %) durante cada intercambio mareal. Con dos entrantes y dos salientes por día, en promedio, un equivalente de alrededor de 51 % del volumen de la laguna sería intercambiado cada día con el mar y alcanzaría 80 % durante las mareas vivas. Para confirmar lo anterior, se requiere un análisis más detallado del papel de la marea en la circulación, el cual se encuentra en desarrollo.

In choked coastal lagoons like La Escollera, with a single long narrow entrance channel, circulation is assumedly driven more by winds and runoff than by tidal oscillations, because the channel dampens water level fluctuations, significantly reducing tidal oscillation (Kjferve and Maguill, 1989; Kjferve, 1994). However, sea level oscillation inside La Escollera follows the regular astronomical mixed tide for the area, being of about the same magnitude to that at the coast (unpublished work). This shows that somehow the morphology of the channel allows for the tide to ebb and flood apparently without much dissipation, thus forcing circulation. Perhaps by being surrounded by tall mangroves, and not having any streams that open in the lagoon, winds and runoff have a minimal or sporadic influence on circulation, allowing tides to dominate. Considering a lagoon depth of 1.5 m, and the minimal (0.04 m), maximal (0.44 m) and mean (0.19 m) difference between high and low tide during the lunar month depicted in Figure 5, the volume of water entering or leaving the lagoon would vary from 0.04 % to 29.3 % (mean 12.7 %) during each ebbing or flooding. With two ebbs and two floods per day, on average an equivalent of about 51 % of lagoon volume would be exchanged with the sea each day, reaching 80 % during spring tides. A more detailed analysis of the role of tides in circulation, in progress, would be needed to confirm these assertions.

The light regime of La Escollera lagoon waters is such that primary production in most of the water column is possible. Its greenish waters are indicative of relatively high phytoplankton density and thus of photosynthesis. Measured (morning to noon) oxygen levels are low (ca. 1.7-2.83 mgL<sup>-1</sup>), in comparison to those of the outer canal and the sea (> 5 mgL<sup>-1</sup>, cf. Zea *et al.*, 2017), and show that processes that lead to its consumption are significant. Oxygen, primary production and respiration measurements are being undertaken and the results will be published elsewhere. Our water transparency measurements neither showed a seasonal trend, nor were they related to the tide, indicating a complex scenario for the control of phytoplankton biomass. The light extinction coefficients show that light is regularly reaching the bottom, as 1 % of incident light intensity around noon could reach more than 1 m in depth, and even almost 2 m in average transparency conditions. Indeed, part of the lagoon bottom supports, apparently seasonally, thick carpets of the green algae *Caulerpa sertularioides*.



El régimen lumínico en las aguas de la laguna La Escollera es tal que la producción primaria en la mayor parte de la columna de agua es posible. Sus aguas verdosas son indicativas de una relativamente alta densidad fitoplanctónica y, por lo tanto, de fotosíntesis. Los niveles de oxígeno medidos (de la mañana al mediodía) son bajos (ca. 1,7-2,83 mgL<sup>-1</sup>) en comparación con los del canal exterior y el mar (> 5 mgL<sup>-1</sup>, cf. Zea *et al.*, 2017) y, además, muestran que los procesos que llevan a su consumo son significativos. Se están llevando a cabo mediciones de oxígeno, producción primaria y respiración; los resultados se publicarán por separado. Las medidas de transparencia del agua no mostraron un esquema de variación estacional ni estuvieron relacionadas con la marea, lo que presenta un escenario complejo del control de la biomasa fitoplanctónica. Los coeficientes de extinción de la luz muestran que esta regularmente alcanza el fondo, puesto que 1 % de la luz incidente al mediodía puede alcanzar más de 1 m de profundidad y hasta casi 2 m en condiciones promedio de transparencia. En efecto, en parte del fondo de la laguna existen gruesos tapetes del alga verde *Caulerpa sertularioides*, que parecen ser estacionales.

Las observaciones y datos presentados proveen la base para desarrollar preguntas de investigación sobre el papel de (1) las variables físicas en la circulación y descarga de agua y en el transporte de sedimento (y en mantener el canal abierto); (2) la circulación y su variabilidad en la producción primaria y la respiración, tanto pelágica como bentónica, y (3) eventos extremos de alta escorrentía y sedimentación y de agotamiento de oxígeno en la sucesión de la comunidad epifaunal.

## AGRADECIMIENTOS

Roberto Lemaitre, dueño de la discoteca La Escollera, generosamente permitió la entrada al área para estos estudios. Los celadores, Martín y Ramón, fueron siempre muy amables y serviciales. La sede Caribe de la Universidad Nacional de Colombia financió los costos de los equipos y el programa de Posgrado en Ciencias-Biología, línea Biología Marina financió los costos del laboratorio y de los cursos. La Universidad Autónoma de Madrid dio respaldo institucional a la estancia académica de NEG-L en el Instituto de Estudios en Ciencias del Mar (Cecimar), Santa Marta. Néstor Campos (sede Caribe) y Pedro Ricardo Dueñas (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano) sirvieron de enlace y dieron soporte conceptual. Ernesto Mancera (sede Bogotá) y Jairo Medina (sede

The above observations and data provide the basis for developing research questions regarding the role of 1) physical variables in circulation, flushing and sediment transport (and in maintaining the channel open); 2) circulation and its variability in primary production and respiration, both pelagic and benthic, and 3) of extreme events of high runoff and sedimentation and oxygen depletion in epifaunal community succession.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Roberto Lemaitre, owner of La Escollera discotheque, kindly allowed entrance to the area for these studies. The guardsmen, Martín and Ramón, were always very kind and helpful. The Caribbean campus of Universidad Nacional de Colombia funded the costs of equipment, and the Graduate Program in Marine Biology funded lab and course expenses. Universidad Autónoma de Madrid gave institutional support for the academic stay of NEG-L at the Instituto de Estudios en Ciencias del Mar – Cecimar, Santa Marta. Néstor Campos (Caribbean Campus) and Pedro Ricardo Dueñas (Universidad Jorge Tadeo Lozano) served as liaison and gave conceptual support. Ernesto Mancera (Bogotá Campus) and Jairo Medina (Caribbean Campus) carried out graduate course practices in La Escollera and provided insights and data gathered by students. Andrés Osorio (Medellín Campus) advised on physical oceanography. Brigitte Gavio (Bogotá Campus) identified the green alga. Undergraduate students Jessica Reyes (Palmira), Ballantyne Puin (Medellín) and Juan Manuel López (Bogotá) greatly helped during field work. Contribution 497 of Cecimar and of the Graduate Program in Marine Biology, Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe.





Caribe) llevaron a cabo cursos y prácticas de posgrado en La Escollera y proveyeron ideas y datos obtenidos por los estudiantes. Andrés Osorio (sede Medellín) asesoró en oceanografía física. Brigitte Gavio (sede Bogotá) identificó el alga verde. Los estudiantes de pregrado Jessica Reyes (sede Palmira), Ballantyne Puin (sede Medellín) y Juan Manuel López (sede Bogotá) ayudaron significativamente durante el trabajo de campo. Contribución 497 de Cecimar y del programa de Posgrado en Ciencias-Biología, línea Biología Marina, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe.

## BIBLIOGRAFÍA/LITERATURE CITED

- Álvarez-León, R., G. Ramírez-Triana y E. Wedler. 1995. Registro de las condiciones ambientales de la Laguna Sur (bahía de Chengue, Caribe colombiano) entre 1981-1984. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 19(74): 509-525.
- Barnes, R.S.K. 1980. Coastal lagoons – The natural history of a neglected habitat. Cambridge University Press, Cambridge. 105 p.
- Blanco, J. 1988. Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis M. Sc., Biol. Mar., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 59 p.
- Castillo, A., C. Hernández, A. Fresneda, W. Gualteros y L.S. Barbosa. 1992. Caracterización física de la laguna costera de Cocoliso, Isla Grande, Parque Nacional Corales del Rosario, Colombia: 501-511. *Mem. VIII Sem. Nal. Cienc. Tecn. Mar, Cong. Centroam. Car. Cienc. Mar, Santa Marta.*
- Cloern, J.E., S.Q. Foster, and A.E. Kleckner. 2014. Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. *Biogeosciences*, 11: 2477-2501.
- De Jonge, V.N., M. Elliot, and E. Orive. 2002. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. *Hydrobiologia*, 475/476: 1-19.
- Duarte, C.M. and J. Cebrián. 1996. The fate of marine autotrophic production. *Limnol. Oceanogr.*, 41(8): 1758-1766.
- Elliott, J.A., A.E. Irish, and C.S. Reynolds. 2001. The effects of vertical mixing on a phytoplankton community: a modelling approach to the intermediate disturbance hypothesis. *Freshw. Biol.*, 46: 1291-1297.
- Fofonoff, P. and R.C. Millard Jr. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. *Unesco Techn. Pap. Mar. Sci.*, 44. 53 p.
- Foster, V., R.J. Giesler, A. Meriwether, W. Wilson, C.R. Nall, and E.J. Cook. 2016. Identifying the physical features of marina infrastructure associated with the presence of non-native species in the UK. *Mar. Biol.*, 163,173: 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2941-8>
- Franco, A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira: El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 58 p.
- Gocke, K., E. Mancera, A. Vidal, and D. Fonseca. 2003. Planktonic primary production and community respiration in several coastal lagoons of the outer delta of the Río Magdalena, Colombia. *Bol. Investig. Mar. Costeras*, 32: 125-144.
- Gopal, B., W.J. Junk, and J.A. Davis. (Eds.). 2000. Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation. Vol. 1. Backhuys Publishers, Leiden, 353 p.
- Hernández, C.A. y K. Gocke. 1990. Productividad primaria en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*, 19-20: 101-119.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoons. 1-8. In: Kjerfve, B. (Ed.). *Coastal lagoon processes*. Elsevier, Amsterdam. 576 p.
- Kjerfve, B. and K.E. Magill. 1989. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Mar. Geol.*, 88: 187-199.
- Knoppers, B. 1994. Aquatic primary production in coastal lagoons. 243-286. In: Kjerfve, B. (Ed.). *Coastal lagoon processes*. Elsevier, Amsterdam. 577 p.
- Lončar, G., I. Bartolić, and D. Bujak. 2018. Contribution of wind and waves in exchange of seawater through flushing culverts in marinas. *Tehnički vjesnik*, 25(6): 1587-1594.
- Lonin, S.A. y L.A. Mendoza. 1997. Evaluación hidrodinámica de las bahías Hooker e Iacos. *Bol. Cient. CIOH*, 18: 51-64.

- Márquez, G. 1982. Los sistemas ecológicos marinos del sector adyacente a Santa Marta. Caribe colombiano. I. Generalidades. *Ecol. Trop.*, 2(1): 5-19.
- Martínez-Clavijo, S. 2013. Diagnóstico actualizado y propuestas de manejo integrado para el balneario El Rodadero, Santa Marta, Caribe colombiano. Trabajo de grado Biol. Mar., Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 211 p.
- Mitsch, J.W. and J.G. Gosselink. 1993. *Wetlands*. 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York. 722 p.
- Montaño-Ley, Y., R. Peraza-Vizcarra, and F. Páez-Osuna. 2008. Tidal hydrodynamics and their implications for the dispersion of effluents in Mazatlán Harbor: an urbanized shallow coastal lagoon. *Water Air Soil Pollut.*, 194: 343-357.
- Nagelkerken, I., S.J.M. Blaber, S. Bouillon, P. Green, M. Haywood, L.G. Kirton, J.O. Meynecke, J.R. Pawlik, H.M. Penrose, A. Sasekumar, and P.J. Somerfield. 2008. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquat. Bot.*, 89: 155-185.
- Nece, R.E. and R.A. Falconer. 1989. Hydraulic modelling of tidal circulation and flushing in coastal basins. *Proc. Instn. Cio. Engrs, Part 1*, 86: 913-935.
- Niedda, M. and M. Greppi. 2007. Tidal, seiche and wind dynamics in a small lagoon in the Mediterranean Sea. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 74: 21-30.
- Parsons, T.R., M. Takahashi, and B. Hargrave. 1984. *Biological oceanographic processes* (3rd ed.). Pergamon Press, U.K. 330 p.
- Pérez, M.E. y C.H. Victoria. 1977. Diversidad y macrofauna de la comunidad de las raíces sumergidas de mangle rojo en la bahía de Cartagena y la ciénaga de los Vásquez. Tesis Biol. Mar., Universidad Jorge Tadeo Lozano, Cartagena. 93 p.
- Polanía, J., A. Santos-Martínez, J.E. Mancera-Pineda, and L. Botero Arboleda. 2001. The coastal lagoon Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. 33-45. In: Seelinger, U. and B. Kjervfre (Eds.). *Coastal marine ecosystems of Latin America*. Springer Verlag, Berlin and Heidelberg. 366 p.
- Ramírez, G. 1983. Características físico-químicas de la bahía de Santa Marta (agosto 1980-julio 1981). *An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín*, 13: 111-121.
- Ramírez, G. 1990. Distribución de los nutrientes inorgánicos en las aguas costeras de la región de Santa Marta, Caribe colombiano: 244-254. *Mem. VII Sem. Nal. Cienc. Tecnol. Mar, Cali*.
- Rodríguez-Chila, J.D., J.E. Mancera-Pineda y H.J. López-Salgado. 2009. Efectos de la recomunicación del río Magdalena con su antiguo delta: cambios en la producción primaria fitoplanctónica y respiración en el complejo Pajarales, 1989 a 2005. *Bol. Investig. Mar. Costeras*, 38(2): 119-144.
- Salzwedel, H. and K. Müller. 1983. A summary of meteorological and hydrological data from the Bay of Santa Marta, Colombian Caribbean. *An. Inst. Invest. Mar. Punta de Betín*, 13: 67-83.
- Sánchez, R. y S. Zea, 2000. Metabolismo de nitrógeno y fósforo inorgánicos disueltos en la columna de agua en una laguna costera tropical (Caribe colombiano). *Carib. J. Sci.*, 36(1-2): 127-140.
- Vázquez-Botello, A., F. Contreras-Espinosa, G. De La Lanza-Espino, and S. Villanueva F. 2009. Primary production in coastal lagoons. 339-361 In: Isla, F.I. and O. Iribarne (Eds.). *Coastal zones and estuaries. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, 1. Unesco, Paris. 540 p.
- Velásquez-Montoya, L. and M.F. Overton. 2017. Impacts of seasonal forcings on the hydrodynamics of Oregon Inlet, NC. *Coast. Dynam.*, 55: 1240-1250.
- Zea, S., N.H. Campos y J.E. Mancera-Pineda (Eds.). 2017. *Procesos ecológicos y oceanográficos en lagunas costeras: el caso de La Escollera en Santa Marta. Reconocimiento general y avances 2014-17. Informe inédito, Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe, Santa Marta. 62 p. <http://bdigital.unal.edu.co/71339/>*

**RECIBIDO/RECEIVED:** 08/08/2019

**ACEPTADO/ACCEPTED:** 04/06/2020



## Incidenia estacional de mareas rojas en la bahía de Santa Marta y sectores adyacentes, Caribe colombiano

### Seasonal incidence of red tides in the Bay of Santa Marta and adjacent sectors, Colombian Caribbean

Natalia Arbeláez M. \*, Julián Franco-Angulo y Luisa F. Espinosa

0000-0002-5162-0336

0000-0002-7626-7911

0000-0003-1452-3104

I. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (Invemar), Santa Marta D.T.C.H., Colombia. [nar\\_nmc@hotmail.com](mailto:nar_nmc@hotmail.com)\*; [julian.franco@invemar.org.co](mailto:julian.franco@invemar.org.co); [luisa.espinosa@invemar.org.co](mailto:luisa.espinosa@invemar.org.co)

\* Autora de correspondencia.

#### RESUMEN

Con el propósito de describir las condiciones ambientales y climáticas asociadas con la ocurrencia de seis eventos de mareas rojas entre 2010 y 2017 en Santa Marta (Caribe colombiano), se recopiló la información biológica y fisicoquímica obtenida durante estos eventos. Adicionalmente, se consultaron los datos de precipitación y el Índice Oceánico de El Niño (ONI) entre 2010 y 2017. Los resultados mostraron que el dinoflagelado *Cochlodinium* sp. fue el responsable de tres eventos ocurridos en octubre de 2010, octubre de 2011 y noviembre de 2015, períodos en los que alcanzó densidades máximas de  $5 \times 10^6$  cél. L<sup>-1</sup>. Estos eventos se asociaron con un incremento en las precipitaciones y la temperatura superficial del agua de mar (29,7 °C) y con un descenso en la salinidad (< 35,5). El ciliado *Mesodinium* cf. *rubrum* fue responsable de otros tres eventos (enero de 2015, enero de 2017 y marzo de 2017), períodos en los que registró concentraciones máximas de  $9,2 \times 10^6$  cél. L<sup>-1</sup>. Durante estos últimos eventos, no se presentaron precipitaciones y se evidenciaron concentraciones elevadas de nutrientes, incrementos en la salinidad (> 36,6) y temperaturas del mar inferiores a 26 °C. Al asociar las ocurrencias de mareas rojas y los valores del índice ONI, se evidenció que las floraciones de *Cochlodinium* sp. ocurrieron durante años influenciados por eventos climáticos (térmicos) moderados y fuertes (ONI > ±1 °C) en tanto que las floraciones de *M. cf. rubrum* se presentaron durante años neutrales (ONI entre 0,5 y -0,5 °C). Las mareas rojas presentaron un patrón temporal de ocurrencia en la región del Magdalena, influenciadas por la variabilidad climática y ambiental de cada época, sin representar hasta el momento un riesgo para la salud humana.

**PALABRAS CLAVE:** mareas rojas, floraciones algales, variabilidad climática, Caribe colombiano

#### ABSTRACT

In order to describe the environmental and climatic conditions associated with the occurrence of six red tide events between 2010 and 2017, in Santa Marta (Colombian Caribbean), biological and physicochemical information during these events was collected. Additionally, precipitation data and the Oceanic Niño Index (ONI) between 2010 and 2017 were consulted. The results showed that the dinoflagellate *Cochlodinium* sp. was responsible for three events that occurred in October 2010, October 2011 and November 2015, reaching a maximum densities of  $5 \times 10^6$  cells L<sup>-1</sup>. These events were associated with an increase in rainfalls and seawater surface temperature (29.7 °C) and a decrease in salinity (< 35.5). The *Mesodinium* cf. *rubrum* ciliate was responsible for three other events (January 2015, January 2017 and March 2017), recording maximum concentrations of  $9.2 \times 10^6$  cells L<sup>-1</sup>. During these last events, there was no rainfall and high concentrations of nutrients, increases in salinity (> 36.6) and sea temperatures below 26 °C were evident. Associating the occurrences of red tide events and the ONI index, it was evidenced that *Cochlodinium* sp. blooms occurred during years influenced by moderate-strong climatic (thermal) events (ONI > ±1 °C) whereas the blooms of *M. cf. rubrum* occurred during neutral years (ONI between 0.5 and -0.5 °C). The red tides presented a temporal pattern of occurrence in the Magdalena region, influenced by the climatic and environmental variability of each period, without representing a risk to human health until now.

**KEYWORDS:** red tides, algae blooms, climatic variability, Colombian Caribbean

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2020.49.2.940>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

## INTRODUCCIÓN

Las mareas rojas son fenómenos naturales que normalmente causan cambios en la coloración del agua como consecuencia del incremento en el tamaño, la densidad o la acumulación de organismos planctónicos pigmentados, entre los cuales se incluyen microalgas, cianobacterias y ciliados microzooplanctónicos. Estos eventos ocurren en diversas partes del mundo y su aparente incremento tanto en frecuencia como en intensidad, en las últimas décadas, es cada vez más evidente a escala global (Sar *et al.*, 2002; Hallegraeff *et al.*, 2004). Algunos estudios indican que son varios los factores que influyen en la formación de mareas rojas, incluyendo la salinidad, la temperatura del agua, las concentraciones de nutrientes y la disponibilidad de luz (McGaraghan *et al.*, 2012; California Ocean Science Trust, 2016).

Estas mareas suelen ser inocuas y poco frecuentes cuando ocurren en áreas con una tasa alta de intercambio de agua o donde no se emplea la acuicultura a gran escala. Sin embargo, en algunos casos, pueden considerarse un problema cuando causan impactos a nivel socioeconómico y afectan el comercio y el turismo. Pueden llegar, incluso, a generar un riesgo para la salud pública, particularmente si las floraciones son producidas por especies nocivas que representan un peligro para los organismos, incluyendo el ser humano, ya que algunas de ellas tienen la capacidad de producir toxinas potentes (Sar *et al.*, 2002; Hallegraeff *et al.*, 2004; Reguera *et al.*, 2011, 2016).

En Colombia, los eventos de mareas rojas han sido evidentes por años en el ámbito local, en zonas costeras, pero la mayoría de esta información no es pública. Sin embargo, se han divulgado algunos reportes sobre la presencia de microalgas potencialmente nocivas y el impacto negativo producido por las floraciones algales nocivas (FAN) (Mancera-Pineda *et al.*, 2009, 2014; Rodríguez *et al.*, 2010; Arbeláez *et al.*, 2017; Ruiz y Mancera-Pineda, 2019). En los últimos años, se ha observado un incremento en la frecuencia de aparición de mareas rojas en la zona costera del departamento del Magdalena (Colombia), particularmente en la región de Santa Marta (Invemar, 2010, 2015a, 2015b, 2017a, 2017b; Malagón y Perdomo, 2013). Por esta razón, el presente estudio tiene como objetivos analizar la posible influencia de las variables ambientales y climáticas en la aparición de los eventos de mareas rojas ocurridas entre 2010 y 2017 y tratar de identificar patrones temporales de ocurrencia.

## INTRODUCTION

Red tides are natural phenomena that normally cause changes in the color of the water as a result of the increase in the size, density, or accumulation of pigmented planktonic organisms, which include microalgae, cyanobacteria, and microzooplankton ciliates. These events occur in different parts of the world and their apparent growth in both frequency and intensity, in recent decades, is increasingly evident on a global scale (Sar *et al.*, 2002; Hallegraeff *et al.*, 2004). Some studies indicate that several factors influence the formation of red tides, including salinity, water temperature, nutrient concentrations, and light availability (McGaraghan *et al.*, 2012; California Ocean Science Trust, 2016).

These tides are usually harmless and infrequent when they occur in areas with a high rate of water exchange or where large-scale aquaculture is not used. However, in some cases, they can be considered a problem when they cause socio-economic impacts and affect trade and tourism. They can even generate a risk to public health, particularly if the blooms are produced by harmful species that represent a danger to organisms, including humans, as some of them can produce powerful toxins (Sar *et al.*, 2002; Hallegraeff *et al.*, 2004; Reguera *et al.*, 2011, 2016).

In Colombia, red tide events have been evident for years at the local level in coastal areas, but most of this information is not public. However, some reports have been disclosed on the presence of potentially harmful microalgae and the negative impact produced by harmful algal blooms (HAP) (Mancera-Pineda *et al.*, 2009, 2014; Rodríguez *et al.*, 2010; Arbeláez *et al.*, 2017; Ruiz and Mancera-Pineda, 2019). In recent years, an increase in the frequency of the appearance of red tides has been observed in the coastal zone of the Magdalena department (Colombia), particularly in the Santa Marta region (Invemar, 2010, 2015a, 2015b, 2017a, 2017b; Malagón and Perdomo, 2013). For this reason, the present study aims to analyze the possible influence of environmental and climatic variables on the appearance of red tide events that occurred between 2010 and 2017 and to try to identify temporal patterns of occurrence.

## STUDY AREA

Santa Marta is located in the northeastern portion of the Colombian Caribbean (11°15' -22' N and 73°57' -74°12' W) (Figure 1; Díaz *et al.*, 2000), in the area of influence

## ÁREA DE ESTUDIO

Santa Marta se encuentra ubicada en la porción nororiental del Caribe colombiano ( $11^{\circ}15' - 22' \text{ N}$  y  $73^{\circ}57' - 74^{\circ}12' \text{ W}$ ) (Figura 1; Díaz *et al.*, 2000), en el área de influencia de uno de los ecosistemas más estratégicos del país: la Sierra Nevada de Santa Marta, declarada por la Unesco como Reserva de la Biosfera desde 1979. La región incluye aproximadamente diez bahías que representan diversos ecosistemas, las cuales, en su mayoría, están ubicadas en el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), una de las áreas protegidas del Caribe colombiano.

El área urbana que integra la bahía de Santa Marta presenta una población de aproximadamente 507 000 habitantes (Cámara de Comercio de Santa Marta, 2018). En esta región predominan las actividades portuarias y turísticas, las cuales han experimentado un rápido incremento y se han convertido en el ingreso económico más importante de la

of one of the country's most important ecosystem strategic points: The Sierra Nevada de Santa Marta, declared by UNESCO as a Biosphere Reserve since 1979. The region includes approximately ten bays that represent diverse ecosystems, most of which are located in the Tayrona National Natural Park (PNNT), one of the protected areas of the Colombian Caribbean.

The urban area that makes up the bay of Santa Marta has a population of approximately 507 000 inhabitants (Santa Marta Chamber of Commerce, 2018). In this region, port and tourist activities predominate, which have experienced a rapid increase and have become the most important economic income of the city, along with local commerce and fishing, in order of importance (Vega-Sequeda *et al.*, 2008).

The region's climate is governed by the climatic pattern of the Colombian Caribbean coast: a dry season



**Figura 1.** Mapa de Santa Marta (Caribe colombiano) con las localidades en las cuales se han detectado mareas rojas (línea roja). Elaborado por el Laboratorio de Servicios de Información (Labsis) del Invemar.

**Figure 1.** Map of Santa Marta (Colombian Caribbean) with the localities in which red tides have been detected (red line). Made by the Laboratory of Information Services (Labsis) of Invemar.



ciudad, junto con el comercio y la pesca local, en orden de importancia (Vega-Sequeda *et al.*, 2008).

El clima de la región se encuentra regido por el patrón climático de la costa Caribe colombiana: una época seca de diciembre a abril y una época de lluvias de mayo a noviembre. Sin embargo, en detalle, se han descrito cuatro épocas climáticas: seca mayor (de diciembre a abril), en la cual la presencia de los vientos alisios del norte genera eventos de surgencia, así como disminución de la temperatura del agua de mar (20-25 °C) e incremento de la salinidad (> 38) y de la intensidad del oleaje; lluviosa menor (de mayo a junio), que se caracteriza por una leve disminución de los vientos alisios y la aparición de precipitaciones ligeras; seca menor o “veranillo de San Juan” (de julio a agosto), cuya característica principal es la intensificación de los vientos alisios, que vuelven a ser dominantes pero con menor fuerza, y lluviosa mayor (de septiembre a noviembre), época en la cual se incrementan las precipitaciones (más del 65 % del volumen anual), desaparecen los vientos alisios, tiende a aumentar la temperatura del mar (27-29 °C), disminuye la salinidad del agua (< 34) y se acrecienta la carga de sedimentos, lo cual a su vez aumenta la turbidez del agua a causa del incremento en aportes continentales (Ramírez, 1983; Bula-Meyer, 1985; Díaz *et al.*, 2000; Garzón-Ferreira y Díaz, 2003; Rodríguez-Ramírez y Garzón-Ferreira, 2003; Franco-Herrera, 2005). Cabe resaltar que este patrón puede variar, particularmente al haber influencia de eventos climáticos como el fenómeno de La Niña y El Niño (Franco-Herrera, 2005; Montealegre, 2014).

En cuanto a la hidrodinámica, la bahía de Santa Marta se ve influenciada principalmente por dos tipos de macrocorrientes: la corriente del Caribe, formada por la acción de los vientos alisios durante la época seca, y la contracorriente Panamá-Colombia (durante el período de lluvias), proveniente del suroeste de la cuenca del Caribe. Ambas macrocorrientes regulan parcialmente los patrones de circulación superficial local dentro de las bahías ubicadas en la región del Magdalena (Franco-Herrera, 2005). Así mismo, la bahía de Santa Marta recibe aportes continentales atribuidos no solo a la escorrentía, sino también a la desembocadura del río Manzanares, el cual cruza la ciudad y descarga sus aguas directamente en el sector sur de la bahía.

from December to April and a rainy season from May to November. However, in detail, four climatic seasons have been described: major dry (from December to April), in which the presence of north trade winds generates upwelling events, as well as a decrease in seawater temperature (20-25 °C) and increase in salinity (> 38) and wave intensity; less rainy (from May to June), characterized by a slight decrease in the trade winds and the appearance of light rainfall; minor dry season or “veranillo de San Juan” (from July to August), whose main characteristic is the intensification of the trade winds, which are again dominant but with less force, and more rainy (from September to November), which increases rainfall (more than 65 % of the annual volume), the trade winds disappear, the sea temperature tends to increase (27-29 °C), the salinity of the water decreases (< 34) and the sediment load increases, which in turn increases the turbidity of the water due to the increase in continental contributions (Ramírez, 1983; Bula-Meyer, 1985; Díaz *et al.*, 2000; Garzón-Ferreira and Díaz, 2003; Rodríguez-Ramírez and Garzón-Ferreira, 2003; Franco-Herrera, 2005). It should be noted that this pattern may vary, particularly due to the influence of climatic events such as the La Niña and El Niño phenomena (Franco-Herrera, 2005; Montealegre, 2014).

Regarding hydrodynamics, the Bay of Santa Marta is mainly influenced by two types of macrocurrents: The Caribbean current, formed by the action of the trade winds during the dry season, and the Panama-Colombia countercurrent (during the period of rains), coming from the southwest of the Caribbean basin. Both macrocurrents partially regulate local surface circulation patterns within bays located in the Magdalena region (Franco-Herrera, 2005). Likewise, the bay of Santa Marta receives continental contributions attributed not only to runoff but also to the mouth of the Manzanares River, which crosses the city and discharges its waters directly into the southern sector of the bay.

## MATERIALS AND METHODS

The biological and physicochemical parameter information was collected during six red tide events that occurred in the bays of Santa Marta and Gaira between 2010 and 2017 (Invemar, 2010, 2015a, 2015b, 2017a, 2017b; Malagón and Perdomo, 2013). To define the characteristics



## MATERIALES Y MÉTODOS

La información biológica y de parámetros fisicoquímicos fue recopilada durante seis eventos de mareas rojas ocurridos en las bahías de Santa Marta y de Gaira entre 2010 y 2017 (Invemar, 2010, 2015a, 2015b, 2017a, 2017b; Malagón y Perdomo, 2013). Para determinar las características del agua durante estos eventos se hicieron observaciones y se identificó la dispersión de los parches rojizos. Una vez ubicados los parches, se establecieron de tres a cuatro puntos de muestreo para cada evento, en los cuales se midieron aspectos como temperatura del agua, salinidad, oxígeno disuelto y pH, y se recolectaron muestras de un litro de agua para realizar el análisis de nutrientes inorgánicos disueltos (nitrógeno y fósforo). Estas muestras se depositaron en botellas plásticas lavadas previamente y se transportaron al laboratorio para realizar los análisis correspondientes de acuerdo con las metodologías establecidas (Strickland y Parsons, 1972; APHA *et al.*, 2012).

Con el propósito de establecer si el cambio en la coloración del agua era causado por la floración de organismos microscópicos, en los mismos puntos en los cuales se recolectaron las muestras para el análisis fisicoquímico se tomaron directamente muestras de 500 y 80 mL de agua superficial (< 1 m). En cada evento, la muestra de 80 mL se almacenó sin fijar y la de 500 mL se fijó con lugol neutral en proporción 1/100 (Reguera *et al.*, 2016). Luego, las muestras se transportaron a la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (Labcam) del Invemar para su análisis.

Las muestras sin fijador se analizaron inmediatamente para observar las células en vivo. Entre tanto, sobre las muestras fijadas con lugol se llevó a cabo un análisis cuantitativo, para lo cual se sedimentaron por tres horas alícuotas de 1 a 3 mL de la muestra debido a la alta concentración de células, siguiendo el método de sedimentación de Utermöhl (Reguera *et al.*, 2016); se usó un microscopio invertido para hacer las observaciones (Edler y Elbrächter, 2010).

La identificación de organismos se realizó con base en las guías de Balech (1988) y Vidal (1995, 2010). Por su parte, los datos de precipitaciones (sumatoria mensual) y de temperatura superficial de mar se solicitaron al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2015; estación del aeropuerto Simón Bolívar) mientras que el Índice Oceánico de El Niño (ONI) se consultó en el sitio web de NOAA (2020).

of the water during these events, observations were made and the dispersion of the reddish patches was identified. Once the patches were located, three to four sampling points were established for each event, in which aspects such as water temperature, salinity, dissolved oxygen, and pH were measured, and samples of one liter of water were collected to perform the analysis of dissolved inorganic nutrients (nitrogen and phosphorus). These samples were deposited in previously washed plastic bottles and transported to the laboratory to perform the corresponding analyzes according to established methodologies (Strickland and Parsons, 1972; APHA *et al.*, 2012).

To determine whether the change in the color of the water was caused by the flowering of microscopic organisms, at the same points in which the samples were collected for the physicochemical analysis, samples of 500 and 80 mL of surface water were taken (< 1 m). In each event, the 80 mL sample was stored unfixed and the 500 mL sample was fixed with neutral lugol in a 1/100 ratio (Reguera *et al.*, 2016). The samples were then transported to Invemar's Marine Environmental Quality Laboratories Unit (Labcam) for analysis.

Samples without fixatives were immediately analyzed to observe cells in vivo. A quantitative analysis was carried out on the samples fixed with lugol. Aliquots of 1 to 3 mL of the sample were sedimented for three hours due to the high concentration of cells, following the Utermöhl sedimentation method (Reguera *et al.*, 2016); an inverted microscope was used to make the observations (Edler and Elbrächter, 2010).

The identification of organisms was carried out based on the Balech (1988) and Vidal (1995, 2010) guidelines. The precipitation data (monthly summation) and sea surface temperature were requested from the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM, 2015; Simón Bolívar airport station) while the El Niño Oceanic Index (ONI) was consulted on the NOAA (2020) webpage.

The ONI index is an El Niño-Southern Oscillation (ENSO) measure used to detect warm and cold events such as El Niño and La Niña, respectively, in the tropical Pacific Ocean. This index is based on the average of three consecutive months of the superficial thermal anomalies of the sea, from measurements in the region of El Niño 3.4 (corresponding to 5 °N-5 °S, 120-70 °W). Neutral values correspond to those between ± 0.5 °C, values above 0.5 °C indicate El Niño

El índice ONI es una medida de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) utilizada para detectar eventos cálidos y fríos como El Niño y La Niña, respectivamente, en el océano Pacífico tropical. Este índice se fundamenta en la media de tres meses consecutivos de las anomalías térmicas superficiales del mar, a partir de mediciones en la región de El Niño 3,4 (que corresponde a 5 °N-5 °S, 120-70 °W). Los valores neutrales corresponden a aquellos entre  $\pm 0,5$  °C, valores superiores a 0,5 °C indican eventos de El Niño y valores inferiores a -0,5 °C indican eventos de La Niña por, al menos, cinco períodos consecutivos (NOAA, 2020).

## RESULTADOS

El dinoflagelado *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.; Figura 2) fue responsable de las tres mareas rojas detectadas en octubre de 2010, octubre de 2011 (Malagón y Perdomo, 2013) y noviembre de 2015. Los dos primeros eventos se observaron principalmente en la bahía de Santa Marta en tanto que el evento de 2015 se presentó en una bahía aledaña (bahía de Gaira). Estas floraciones se caracterizaron por la presencia de manchas de tono rojizo en el agua, las cuales se mantuvieron alejadas de la línea de costa y a una profundidad no mayor de 2 m. Los parches rojizos presentaron un desplazamiento de sur a norte, asociado con la contracorriente Panamá-Colombia, predominante entre septiembre y noviembre. Este período coincide con la época anual de lluvias, acompañada de ligeros vientos del sureste.

*Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) fue la especie más representativa entre las microalgas observadas durante los muestreos, con abundancias relativas (AR) superiores a 95 %. Los individuos se encontraban aislados o formaban cadenas de cuatro células (Figura 2) y, con menos frecuencia, de ocho células. La densidad máxima ( $5 \times 10^6$  cél L<sup>-1</sup>) se observó en la bahía de Santa Marta en octubre de 2010. Durante los tres eventos (octubre de 2010, octubre de 2011 y noviembre de 2015), las condiciones ambientales típicas del período de lluvias se caracterizaron por el incremento de las precipitaciones (> 90 mm [volumen total por mes]) y el consecuente descenso de los vientos alisios, así como por el incremento del aporte de aguas continentales provenientes del río Manzanares y de otros aportes. Esto último generó una disminución de la salinidad (< 35,5) y un aumento en la temperatura del agua (> 29,7 °C) (Tabla 1).

events, and values below -0.5 °C indicate La Niña events for at least five consecutive periods (NOAA, 2020).

## RESULTS

The dinoflagellate *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.; Figure 2) was responsible for the three red tides events in October 2010, October 2011 (Malagón and Perdomo, 2013), and November 2015. The first two events were observed mainly in the bay of Santa Marta while the 2015 occurred in a neighboring bay (Bay of Gaira). These blooms were characterized by the presence of reddish spots in the water, which were kept away from the coastline and at a depth no greater than 2 m. The reddish patches showed a displacement from south to north, associated with the Panama-Colombia countercurrent, predominant between September and November. This period coincides with the annual rainy season, accompanied by light winds from the southeast.

*Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) was the most representative species among the microalgae observed during the samplings, with relative abundances (RA) higher than 95 %. The individuals were isolated or formed chains of four cells (Figure 2) and, less frequently, of eight cells. Maximum density ( $5 \times 10^6$  cells L<sup>-1</sup>) was observed in the bay of Santa Marta in October 2010. During the three events (October 2010, October 2011, and November 2015), the typical environmental conditions of the rainy period were characterized by increased rainfall (> 90 mm [total volume per month]) and the consequent decrease in the trade winds, as well as the increase in the contribution of inland waters from the Manzanares River and other contributions. The latter generated a decrease in salinity (< 35.5) and an increase in water temperature (> 29.7 °C) (Table 1).

Three more events were recorded during January 2015, January 2017, and March 2017 attributed to the ciliate *Mesodinium* cf. *rubrum* (Figure 3), which formed deep red spots. This study corresponds to the first record of red tides produced by said ciliate on the Colombian Caribbean coast. These organisms reached maximum densities of  $5.5 \times 10^4$  and  $9.2 \times 10^6$  cells L<sup>-1</sup> and an RA of 90 %. The events were evident during the dry season, influenced by trade winds and total rainfall per month less than 0.1 mm. The higher cell density was associated with high phosphate concentrations (> 224 µg L<sup>-1</sup>), increased salinity (> 36.6), and water temperature lower than 26 °C (Table 1).



**Figura 2.** Células de *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) observadas en las muestras recolectadas durante el evento de mareas rojas ocurrido en las bahías de Santa Marta y Gaira en noviembre de 2015. Barra de escala: 20  $\mu\text{m}$ .

**Figura 2.** Células de *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) observadas en las muestras recolectadas durante el evento de mareas rojas ocurrido en las bahías de Santa Marta y Gaira en noviembre de 2015. Barra de escala: 20  $\mu\text{m}$ .

**Tabla 1.** Variables fisicoquímicas registradas durante los eventos de mareas rojas (valores relacionados con las densidades máximas). Los valores con el símbolo < se refieren a concentraciones de nutrientes por debajo del límite de detección.

**Table 1.** Physicochemical variables recorded during red tide events (values related to maximum densities). Values with the < symbol refer to nutrient concentrations below the detection limit.

Fecha de mareas rojas/ Red tide date	Temp. (°C)	Salinidad/ Salinity	pH	OD (mg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	NO <sub>3</sub> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	NH <sub>4</sub> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	PO <sub>4</sub> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Época/ Season	Responsable/ Responsible
29/oct./2010	<b>31.6</b>	<b>26.1</b>	<b>8.05</b>	-	1.8	7.8	52.3	7.4	Lluvia/ Rain	<i>Cochlodinium</i>
26/oct./2011	29.7	<b>20</b>	-	-	-	-	-	-	Lluvia/ Rain	<i>Cochlodinium</i>
9/nov./2015	30.1	35.5	<b>8.05</b>	<b>9.28</b>	< 0.7	< 2.1	< 3.1	< 2.4	Lluvia/ Rain	<i>Cochlodinium</i>
15/en./2015	25.6	36.9	8.18	6.62	1.4	3.4	<b>62.9</b>	6	Seca/ Dry	<i>Mesodinium</i>
20/en./2017	25.9	36.6	<b>8.33</b>	<b>11.3</b>	4.1	-	< 3.1	<b>20.6</b>	Seca/ Dry	<i>Mesodinium</i>
14/mar./2017	25.9	36.9	<b>8.75</b>	8.8	1.68	2.8	< 3.1	<b>224</b>	Seca/ Dry	<i>Mesodinium</i>
Rango para la época de lluvia/ Range for season of rain*	26.6-31.1	29.2-36.0	8.13-8.30	5.5-7.7	< 0.7-7.0	< 2.1-12.6	< 3.1-42.0	< 2.4-6.7	-	-
Rango para la época seca/ Range for epoch dry	24.0-29.3	34.9-37.1	8.03-8.20	3.2-8.8	< 0.7-4.4	< 2.1-26.5	< 3.1-39.0	< 2.4-12.4	-	-

\* Rango histórico de valores registrados en la bahía de Santa Marta de 2014 a 2017, en la época lluviosa y seca. Datos del monitoreo de microalgas nocivas en Colombia realizado por el Invermar.

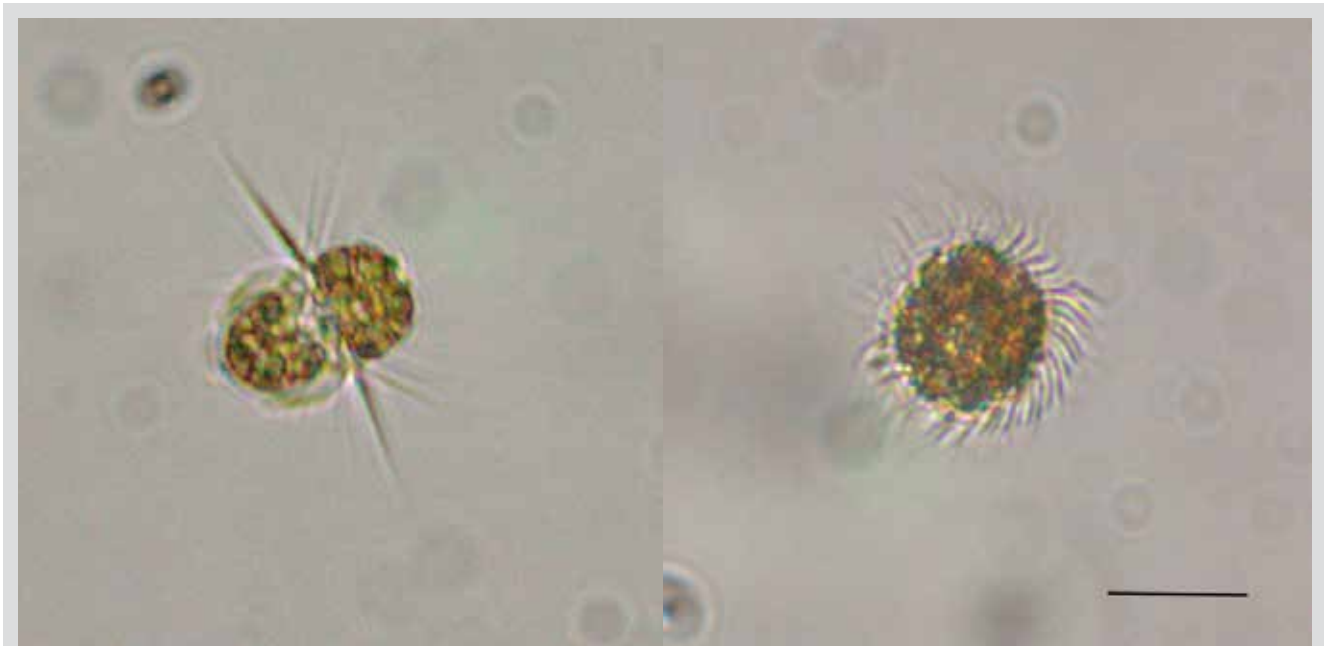
Nota: los números en negrilla indican los valores observados por fuera del rango histórico registrado en la bahía de Santa Marta de 2014 a 2017.

\* Historical range of values recorded in the bay of Santa Marta from 2014 to 2017, in the rainy and dry season. Data from the monitoring of harmful microalgae in Colombia carried out by Invermar.

Note: The numbers in bold indicate the values observed outside the historical range recorded in the bay of Santa Marta from 2014 to 2017.

Tres eventos más se registraron durante enero de 2015, enero de 2017 y marzo de 2017 atribuidos al ciliado *Mesodinium cf. rubrum* (Figura 3), el cual formó manchas de color rojo intenso. El presente estudio corresponde al primer registro de mareas rojas producido por dicho ciliado en las costas del Caribe colombiano. Estos organismos alcanzaron densidades máximas de  $5,5 \times 10^4$  y  $9,2 \times 10^6$  cél.  $L^{-1}$  y una AR de 90 %. Los eventos fueron evidentes durante la época seca, influenciada por vientos alisios y precipitaciones totales por mes inferiores a 0,1 mm. La mayor densidad celular se asoció con altas concentraciones de fosfatos ( $> 224 \mu g L^{-1}$ ), incremento de la salinidad ( $> 36,6$ ) y temperatura del agua inferior a  $26 ^\circ C$  (Tabla 1).

In most of the red tide events recorded in the bay of Santa Marta and other bays close to it, the physicochemical variables such as the concentration of dissolved oxygen in the water and some dissolved inorganic nutrients exceeded the range of concentrations typical of the area (Table 1), this being a key characteristic that allows formulating a hypothesis about the causes of the presence of an algal bloom. During the periods in which the red tides were recorded, climatic fluctuations were more evident on the Colombian Caribbean coast, particularly during 2010-2011 and 2014-2016. These multi-year periods were influenced by two climatic events: a La Niña event during 2010 that lasted until 2011 and in which rainfall increased dramatically



**Figura 3.** Células del ciliado *Mesodinium cf. rubrum* observadas durante la marea roja ocurrida en la bahía de Santa Marta en enero de 2017. **Izq.** Vista lateral de la célula. **Der.** Vista superior de la célula. Barra de escala: 20  $\mu M$ .

**Figure 3.** Cells of the ciliate *Mesodinium cf. rubrum* observed during the red tide occurred in the bay of Santa Marta in January 2017. **Left:** Side view of the cell. **Right:** Top view. Scale bar: 20  $\mu M$ .

En la mayoría de los eventos de mareas rojas registrados en la bahía de Santa Marta y en bahías cercanas a esta, las variables fisicoquímicas tales como la concentración de oxígeno disuelto en el agua y algunos nutrientes inorgánicos disueltos superaron el rango de concentraciones típicas de la zona (Tabla 1), siendo esta una característica clave que permite formular una hipótesis sobre las causas de la presencia de una floración algal. Durante los períodos en los que se registraron las mareas rojas, las fluctuaciones climáticas fueron más evidentes en la costa del Caribe colombiano, particularmente durante 2010-2011 y 2014-2016. Estos períodos plurianuales se

( $> 1000$  mm) and an El Niño event, which began in 2014 with moderate intensity, strengthened in 2015, and lasted until mid-2016 (IDEAM, 2015; UNGRD, 2016).

It is worth mentioning that, despite the strong drought prevailing in 2015, during November of this year, the month in which one of the red tide occurred, there was an increase in rainfall in Santa Marta (IDEAM), which exceeded 139 mm. Analyzing the recorded red tide events and the ONI index as the main indicator to monitor El Niño and La Niña events, it becomes clear that the blooms of *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) occurred during

vieron influenciados por dos eventos climáticos: un evento de La Niña durante 2010 que se mantuvo hasta 2011 y en el cual las precipitaciones incrementaron drásticamente (> 1000 mm) y un evento de El Niño, que inició en 2014 con intensidad moderada, se fortaleció en 2015 y se prolongó hasta mediados de 2016 (IDEAM, 2015; UNGRD, 2016).

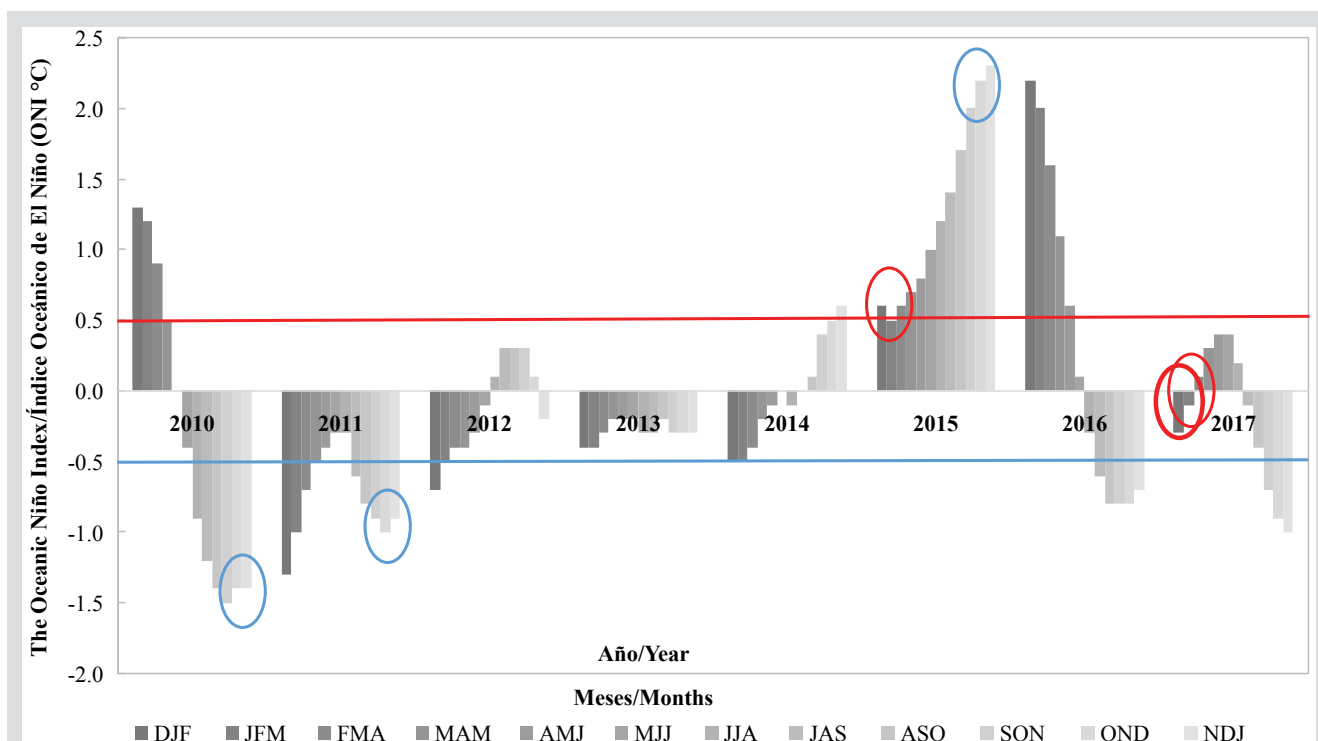
Cabe mencionar que, a pesar de la fuerte sequía predominante en 2015, durante noviembre de ese año, mes en el cual se presentó una de las mareas rojas, se registró un incremento de las precipitaciones en Santa Marta (IDEAM), las cuales superaron 139 mm. Analizando los eventos de mareas rojas registrados y el índice ONI como indicador principal para monitorear los eventos de El Niño y La Niña, se hace evidente que las floraciones de *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) ocurrieron durante años influenciados por eventos climáticos moderados-fuertes, con valores ONI superiores a  $\pm 1,0$  °C. Por su parte, las floraciones causadas por *Mesodinium* cf. *rubrum* se presentaron durante años neutrales, con valores inferiores a  $\pm 0,5$  °C (Figura 4).

years influenced by moderate-strong climatic events, with ONI values higher than  $\pm 1.0$  °C. On the other hand, the blooms caused by *Mesodinium* cf. *rubrum* occurred during neutral years, with values below  $\pm 0.5$  °C (Figure 4).

## DISCUSSION

A total of six red tide events were recorded between 2010 and 2017 in the Magdalena region: Three were produced by the dinoflagellate *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) and the other three by the ciliate *Mesodinium* cf. *rubrum*. Koray (1984) indicates that cell concentrations in red tides regularly vary from  $10^6$  cells  $L^{-1}$  to  $10^8$  cells  $L^{-1}$ . Even densities higher than  $5.0 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ , similar values to those observed in the study area during the blooms of both species.

Red tides produced by *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) in October 2010, October 2011, and November 2015, during the rainy season in the Magdalena



**Figura 4.** Índice ONI calculado entre 2010 y 2017. Eventos climáticos superiores a 0,5 °C se consideran influenciados por el fenómeno de El Niño mientras que eventos inferiores a -0,5 °C se consideran influenciados por el fenómeno de La Niña. Valores superiores a  $\pm 1,5$  °C indican eventos climáticos fuertes. Los círculos azules corresponden a las mareas rojas de *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.); los círculos rojos, a las de *Mesodinium* cf. *rubrum* ocurridas en la bahía de Santa Marta y en bahías aledañas.

**Figure 4.** ONI index was calculated between 2010 and 2017. Climatic events above 0.5 °C are considered influenced by the El Niño phenomenon while events below -0.5 °C are considered influenced by the La Niña phenomenon. Values greater than  $\pm 1.5$  °C indicate strong climatic events. The blue circles correspond to the red tides of *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.); the red circles, to those of *Mesodinium* cf. *rubrum* occurred in the bay of Santa Marta and neighboring bays.



## DISCUSIÓN

Se registró un total de seis eventos de mareas rojas entre 2010 y 2017 en la región del Magdalena: tres fueron producidos por el dinoflagelado *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) y los otros tres por el ciliado *Mesodinium* cf. *rubrum*. Koray (1984) indica que regularmente las concentraciones de células en las mareas rojas varían de  $10^6$  cél. L<sup>-1</sup> a  $10^8$  cél. L<sup>-1</sup>. Incluso, se alcanzan densidades superiores a  $5,0 \times 10^4$  cél. L<sup>-1</sup>, valores similares a los observados en el área de estudio durante las floraciones de ambas especies.

Las mareas rojas producidas por *Cochlodinium* sp. (= *Margalefidinium* sp.) en octubre de 2010, octubre de 2011 y noviembre de 2015, durante la época de lluvias en el Magdalena, reflejan un comportamiento reiterativo en la proliferación de este dinoflagelado en el área, particularmente durante años en los que se presentaron eventos climáticos moderados-fuertes (negativos y positivos). Lo anterior podría mostrar la preferencia de estos dinoflagelados por condiciones extremas relacionadas principalmente con altas temperaturas (> 29,7 °C) del agua y disminución de la salinidad (< 35).

Morse *et al.* (2013) han observado floraciones repetitivas producidas por la especie *Cochlodinium polykrikoides* (= *Margalefidinium polykrikoides*) en la bahía de Chesapeake, en los Estados Unidos (océano Atlántico). Los autores indican que estas mareas rojas se originan en las desembocaduras de los ríos cuando la temperatura del agua aumenta durante los períodos de vientos débiles y bajas concentraciones de nutrientes. Similar a lo observado en la bahía de Santa Marta, la floración de *C. polykrikoides* en la bahía de Chesapeake y la ensenada de La Paz, golfo de California, coincidió con períodos de lluvia después de un prolongado período de sequía de verano. En estos eventos, el aporte de aguas continentales no solo fertilizó las aguas, sino que también generó gradientes verticales de densidad y temperatura que favorecieron la estabilidad de la columna de agua y crearon las condiciones adecuadas para la supervivencia y el crecimiento de *C. polykrikoides* (Alonso, 2004; Mulholland *et al.*, 2009; López-Cortés *et al.*, 2014). Así mismo, otros autores, incluidos Gárate-Lizárraga *et al.* (2000, 2004) y Gárate-Lizárraga (2013) en el golfo de California, Anton *et al.* (2008) en las costas de Malasia y Azanza *et al.* (2008) en Filipinas, también relacionaron las floraciones de este dinoflagelado con una alta concentración de nutrientes causada por la influencia de la lluvia y los vientos. Por esta razón, se considera que la concentración de nutrientes

region, reflect a repetitive behavior in the proliferation of this dinoflagellate in the area, particularly during years in which moderate-strong climatic events (negative and positive) occurred. This could show the preference of these dinoflagellates for extreme conditions mainly related to high water temperatures (> 29.7 °C) and decreased salinity (< 35).

Morse *et al.* (2013) have observed repetitive blooms produced by the species *Cochlodinium polykrikoides* (= *Margalefidinium polykrikoides*) in the Chesapeake Bay, United States (Atlantic Ocean). The authors indicate that these red tides originate at the river mouths when the water temperature rises during periods of weak winds and low nutrient concentrations. Similar to what was observed in the Bay of Santa Marta, the blooms of *C. polykrikoides* in the Chesapeake Bay and La Paz Inlet, Gulf of California, coincided with periods of rain after a prolonged period of summer drought. In these events, the contribution of continental waters not only fertilized the waters but also generated vertical gradients of density and temperature that favored the stability of the water column and created suitable conditions for the survival and growth of *C. polykrikoides* (Alonso, 2004; Mulholland *et al.*, 2009; López-Cortés *et al.*, 2014). Likewise, other authors, including Gárate-Lizárraga *et al.* (2000, 2004) and Gárate-Lizárraga (2013) in the Gulf of California, Anton *et al.* (2008) off the coast of Malaysia, and Azanza *et al.* (2008) in the Philippines, also related the blooms of this dinoflagellate with a high concentration of nutrients caused by the influence of the rain and winds. For this reason, it is considered that the concentration of nutrients dissolved in the water, as well as the hydrodynamics of the area, has a significant influence on its high densities.

Most of the blooms or red tides produced by *C. polykrikoides* (= *Margalefidinium polykrikoides*) in North America have been recorded on the Pacific coast, including the bays of Mexico and Costa Rica and the Gulf of California (Table 2; Freer and Vargas-Montero, 2003; Gárate-Lizárraga and Muñetón-Gómez, 2008; Dorantes-Aranda *et al.*, 2009; Calvo-Vargas and Arguedas-Rodríguez, 2012; López-Cortés *et al.*, 2014). Some of these blooms have had drastic consequences for various species of fish. In Colombia, considering the information collected by Invemar through the monitoring system of harmful microalgae in the Magdalena region, the genus *Cochlodinium* (= *Margalefidinium*) is not usually common in the area: it is only observed when blooms occur.



disueltos en el agua, así como la hidrodinámica de la zona, tiene una influencia significativa en sus altas densidades.

La mayoría de las floraciones o mareas rojas producidas por *C. polykrikoides* (= *Margalefidinium polykrikoides*) en América del Norte se han registrado en la costa del Pacífico, incluyendo las bahías de México y Costa Rica y el golfo de California (Tabla 2; Freer y Vargas-Montero, 2003; Gárate-Lizárraga y Muñetón-Gómez, 2008; Dorantes-Aranda *et al.*, 2009; Calvo-Vargas y Arguedas-Rodríguez, 2012; López-Cortés *et al.*, 2014). Algunas de estas floraciones han generado consecuencias drásticas para varias especies de peces. En Colombia, considerando la información recolectada por el Inveemar mediante el sistema de monitoreo de microalgas nocivas en la región del Magdalena, el género *Cochlodinium* (= *Margalefidinium*) no suele ser común en el área: solo se observa al presentarse floraciones.

**Tabla 2.** Densidades de *Cochlodinium* (= *Margalefidinium*) registradas durante diferentes eventos de mareas rojas en la costa Pacífica y el Atlántico medio.

Lugar/ Place	Fecha/ Date	Autores/ Authors	Densidades máximas de <i>M. rubrum</i> (cél. L <sup>-1</sup> )/ Maximum densities of <i>M. rubrum</i> (cells L <sup>-1</sup> )	Ubicación/ Location
Golfo de Nicoya, Costa Rica/ Gulf of Nicoya, Costa Rica	Febrero y marzo de 1979/ February and March 1979	Hargraves y Viquez (1981)	$80 \times 10^6$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit (México)/Bay of Banderas, Jalisco-Nayarit (Mexico)	Octubre de 2001/ October 2001	Cortés-Lara (2002)	$3 \times 10^6$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
Bahía de Banderas (México)/ Bay of Banderas (Mexico)	Septiembre de 2000/ September 2000	Cortés-Lara (2004)	$1.1 \times 10^8$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
Chesapeake Bay (EE. UU./ US)	Septiembre de 2007/ September 2007	Mulholland <i>et al.</i> (2009)	$> 10^7$	Atlántico medio/ Mid Atlantic
Bahía de la Paz, Baja California	Agosto de 2012/ August 2012	Gárate-Lizárraga (2013)	$1.4 \times 10^3$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
La Paz, golfo de California/ La Paz, Gulf of California	Octubre de 2012/ October 2012	López-Cortés <i>et al.</i> (2014)	$8.6 \times 10^6$	Costa Pacífica/ Pacific Coast

Por otra parte, las mareas rojas producidas por *Mesodinium cf. rubrum* fueron reiterativas durante los primeros meses del año (época seca) cuando la presencia de los vientos alisios generó las condiciones básicas para la ocurrencia de eventos de surgencia en las aguas costeras de la región del Caribe colombiano, proceso que enriquece las aguas superficiales con nutrientes como fósforo y nitrógeno, que se reincorporan en la columna de agua desde el fondo (Lindholm, 1985; Franco-Herrera, 2005; Jiménez y Gualancaña, 2006). Las densidades máximas alcanzadas por este ciliado durante las mareas rojas en el

On the other hand, the red tides produced by *Mesodinium cf. rubrum* were repetitive during the first months of the year (dry season) when the presence of the trade winds generated the basic conditions for the occurrence of upwelling events in the coastal waters of the Colombian Caribbean region, a process that enriches the surface waters with nutrients like phosphorus and nitrogen, which are reincorporated into the water column from the bottom (Lindholm, 1985; Franco-Herrera, 2005; Jiménez and Gualancaña, 2006). The maximum densities reached by this ciliate during red tides in the Colombian Caribbean exceeded those recorded by other authors during various events that occurred in coastal cities of Chile and Mexico (Table 3). However, some authors recorded maximum densities higher than  $2 \times 10^7$  (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2001, 2002) during the red tides in the Gulf of California (Table 3). This indicates

**Table 2.** *Cochlodinium* (= *Margalefidinium*) densities recorded during different red tide events on the Pacific coast and the mid-Atlantic.

that the densities of *M. cf. rubrum* during the blooms recorded in Santa Marta are within the range of maximums recorded in North America. Also, in January 2013 a red tide of *M. rubrum* was observed in Bahía de las Ánimas, located in Cartagena de Indias (Colombian Caribbean), with maximum densities of  $7.3 \times 10^5$  cells L<sup>-1</sup> (Table 3).

Lindholm (1985) and Crawford (1989) mention that *M. rubrum* is a cosmopolitan species that produces occasional blooms in upwelling areas, estuaries, fjords, and temperate coastal waters. The proliferation of *M. rubrum*

Caribe colombiano excedieron a las registradas por otros autores durante varios eventos que ocurrieron en ciudades costeras de Chile y México (Tabla 3). Sin embargo, algunos autores registraron densidades máximas superiores a  $2 \times 10^7$  (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2001, 2002) durante las mareas rojas producidas en el golfo de California (Tabla 3). Esto indica que las densidades de *M. cf. rubrum* durante las proliferaciones registradas en Santa Marta están dentro del intervalo de máximos registrados en América del Norte. Además, en enero de 2013 se observó una marea roja de *M. rubrum* en la bahía de las Ánimas, ubicada en Cartagena de Indias (Caribe colombiano), con densidades máximas de  $7,3 \times 10^5$  cél. L<sup>-1</sup> (Tabla 3).

Lindholm (1985) y Crawford (1989) mencionan que *M. rubrum* es una especie cosmopolita que produce floraciones ocasionales en zonas de surgencia, estuarios, fiordos y aguas costeras templadas. Las proliferaciones de *M. rubrum* también se han registrado en diferentes costas del mundo, incluyendo Estados Unidos (Johnson *et al.*, 2013), Inglaterra (Kifle y Purdie, 1993; Williams, 1996) y Brasil (De Oliveira, 2004), entre otros.

**Tabla 3.** Densidades de *Mesodinium cf. rubrum* registradas durante diferentes eventos de mareas rojas en la costa Caribe y Pacífica (modificado de Gárate-Lizárraga *et al.*, 2002).

Lugar/ Place	Fecha/ Date	Autores/ Authors	Densidades máximas de <i>M. rubrum</i> (cél. L <sup>-1</sup> ) / Maximum densities of <i>M. rubrum</i> (cell L <sup>-1</sup> )	Ubicación/ Location
Aysén y Valparaíso/ Aysén and Valparaíso (Chile)	Febrero de 1978/ February 1978	Avaria <i>et al.</i> (1999)	$1.3 \times 10^3 - 8.0 \times 10^5$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
Golfo de California, parte central/ Gulf of California, central part (México)	Junio de 1982/ June 1982	Hernández-Becerril (1987)	$1 \times 10^6$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
Golfo de California, isla Cerralvo/ Gulf of California, Cerralvo Island (México)	Abril de 1994/ April 1994	Gárate-Lizárraga <i>et al.</i> (2001)	$2.3 \times 10^7$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
Mazatlán, Sinaloa (México)	1980; marzo de 1995, 1996; enero-febrero de 1997/ 1980; March 1995, 1996; January-February 1997	Cortés-Altamirano (1984) Cortés-Altamirano y Alonso-Rodríguez (1997)	$8.6 \times 10^5 - 3.5 \times 10^6$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
Golfo de California/ Gulf of California (México)	Enero-marzo de 1998/ January-March 1998	Gárate-Lizárraga <i>et al.</i> (2002)	$2.5 \times 10^5 - 2.0 \times 10^7$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
Bahía de Banderas/ Bay of Banderas, Jalisco-Nayarit (México)	Enero de 2002/ January 2002	Cortés-Lara (2002)	$6.4 \times 10^4 - 1 \times 10^6$	Costa Pacífica/ Pacific Coast
Bahía de las Ánimas, Cartagena (Colombia)	Marzo de 2013/ March 2013	Invemar (2013)	$1.4 \times 10^5 - 7.3 \times 10^5$	Costa Caribe/ Caribbean Coast

has also been recorded on different coasts of the world, including the United States (Johnson *et al.*, 2013), England (Kifle and Purdie, 1993; Williams, 1996), and Brazil (De Oliveira, 2004), among others.

Red tides are recurrent in the bay of Santa Marta and nearby sectors and, so far, have not represented an apparent risk to public health or other organisms. However, some species of the genus *Cochlodinium* (= *Margalefidinium*) have caused a high number of deaths of marine animals in other coastal countries due to their hemolytic activity and the production of oxidizing compounds (ROS = reactive oxygen species). Although its toxicity is not clear and, to date, there is controversy around its mechanism of action (Kim *et al.*, 2002; Gobler *et al.*, 2008), some studies have confirmed its adverse effects that include hemolysis, osmoregulatory alteration, and asphyxia of organisms due to mucus production (Lee, 1996; Kim *et al.*, 1999, 2000, 2002). For this reason, the species *Cochlodinium polykricoides* (= *Margalefidinium polykrikoides*) is included in the Unesco IOC taxonomic reference list as a toxin-producing species.

**Table 3.** Densities of *Mesodinium cf. rubrum* recorded during different red tide events on the Caribbean and Pacific coast (modified from Gárate-Lizárraga *et al.*, 2002).

Las mareas rojas son recurrentes en la bahía de Santa Marta y en sectores cercanos y, de momento, no han representado un riesgo aparente para la salud pública ni de otros organismos. Sin embargo, algunas especies del género *Cochlodinium* (= *Margalefidinium*) han causado un alto número de muertes de organismos marinos en otros países costeros debido a su actividad hemolítica y a la producción de otros compuestos oxidantes (ROS = *reactive oxygen species*). Aunque su toxicidad no es clara y, hasta la fecha, existe controversia en torno a su mecanismo de acción (Kim *et al.*, 2002; Gobler *et al.*, 2008), algunos estudios han confirmado sus efectos adversos que incluyen hemólisis, alteración osmorreguladora y asfixia de organismos a causa de la producción de mucus (Lee, 1996; Kim *et al.*, 1999, 2000, 2002). Por tal motivo, la especie *Cochlodinium polycicoides* (= *Margalefidinium polykrikoides*) se encuentra incluida en la lista de referencias taxonómica de la COI de Unesco como especie productora de toxinas.

Por otro lado, las floraciones de *Mesodinium cf. rubrum* son generalmente inofensivas (Johnson y Stoecker, 2005). En casos extremos se han asociado con la muerte de peces y algunos invertebrados marinos debido a condiciones de hipoxia y anoxia causadas por la disminución en las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua (Hayes *et al.*, 1989; Cortés-Lara, 2002) y el taponamiento de sus branquias (Horstman, 1981). Las floraciones de este ciliado también podrían representar un riesgo indirecto considerando que estos organismos son el alimento esencial de los dinoflagelados mixótrofos del género *Dinophysis*, los cuales producen toxinas diarreicas (DST). Así pues, las floraciones de *M. cf. rubrum* podrían desencadenar el incremento en las densidades de *Dinophysis* y aumentarían el riesgo de intoxicaciones diarreicas a través de consumo de mariscos expuestos a estas poblaciones.

Adicionalmente, la aparición de mareas rojas en lugares como bahías puede generar inconvenientes de tipo ambiental, puesto que, al tratarse de una concavidad en la línea costera, el flujo de agua en una bahía tiende a ser menor que en el de un sistema abierto y, por lo tanto, la retención de agua es más prolongada y pueden ocurrir situaciones que pongan en peligro el sistema como, por ejemplo, la muerte de organismos marinos por anoxia (Alonso *et al.*, 2016). Así mismo, las mareas rojas pueden generar inconvenientes de tipo socioeconómico, particularmente en sectores con una alta afluencia turística como es el caso de las bahías en la región del Magdalena. Los cambios de color del agua y el fuerte olor a mariscos que se produce pueden no ser

On the other hand, the blooms of *Mesodinium cf. rubrum* are generally harmless (Johnson and Stoecker, 2005). In extreme cases, they have been associated with the death of fish and some marine invertebrates due to hypoxic and anoxic conditions caused by the decrease in dissolved oxygen concentrations in the water (Hayes *et al.*, 1989; Cortés-Lara, 2002) and the plugging of their gills (Horstman, 1981). The blooms of this ciliate could also represent an indirect risk considering that these organisms are the essential food of the mixotrophic dinoflagellates of the genus *Dinophysis*, which produces diarrhetic shellfish poisoning (DSTs). Thus, the blooms of *M. cf. rubrum* could trigger the growth in *Dinophysis* densities and increase the risk of diarrhetic poisoning through the consumption of shellfish exposed to these populations.

Furthermore, the appearance of red tides in places such as bays can generate environmental problems, since, being a concavity in the coastline, the flow of water in a bay tends to be less than in an open system and, therefore, water retention is longer and situations may occur that endanger the system, such as the death of marine organisms by anoxia (Alonso *et al.*, 2016). Likewise, red tides can generate socio-economic problems, particularly in sectors with a high tourist influx, such as the bays in the Magdalena region. Changes in the color of the water and the strong shellfish smell that occurs may not be pleasant for bathers when the event occurs.

## CONCLUSIONS

High biomass blooms were detected ( $> 10^6$  cells L<sup>-1</sup>, red tides) of *Mesodinium cf. rubrum* in the dry season (first months of the year) and of *Cochlodinium sp.* (= *Margalefidinium sp.*) in the rainy season (October and November). These red tides showed a cyclical pattern of occurrence in the bay of Santa Marta and nearby bays, influenced by the environmental conditions and the climatic variability.

Through the ONI index, it was possible to show that the red tides produced by *Mesodinium cf. rubrum* occurred in years with the typical climatic conditions of the area, while the tides of *Cochlodinium sp.* occurred in years with moderate-strong climatic events (La Niña and El Niño), which indicates the preference of these dinoflagellates for extreme environmental conditions.

Although the red tides detected in the bay of Santa Marta and other nearby bays have not been classified

agradables para los bañistas que se encuentran donde se produce el evento.

## CONCLUSIONES

Se detectaron floraciones de alta biomasa ( $> 10^6$  cél. L<sup>-1</sup>, mareas rojas) de *Mesodinium cf. rubrum* en la época seca (primeros meses del año) y de *Cochlodinium sp.* (= *Margalefidinium sp.*) en época de lluvias (octubre y noviembre). Estas mareas rojas mostraron un patrón cíclico de ocurrencia en la bahía de Santa Marta y en bahías cercanas, influenciadas por las condiciones ambientales y la variabilidad climática de cada época.

Mediante el índice ONI fue posible evidenciar que las mareas rojas producidas por *Mesodinium cf. rubrum* ocurrieron en años con condiciones climáticas típicas de la zona, en tanto que las mareas de *Cochlodinium sp.* ocurrieron durante años con eventos climáticos (La Niña y El Niño) moderados-fuertes, lo cual indica la preferencia de estos dinoflagelados por condiciones ambientales extremas.

Aunque las mareas rojas detectadas en la bahía de Santa Marta y en otras bahías cercanas no se han catalogado como perjudiciales para la salud humana y la de otros organismos, estos eventos deben continuar siendo monitoreados y estudiados para evitar futuros inconvenientes en el área. Esta información, junto con el monitoreo permanente de microalgas potencialmente nocivas en el Magdalena, podría considerarse como un insumo relevante para la construcción de un sistema de alerta temprana de las FAN en la región del Caribe colombiano, el cual ayudaría a las autoridades ambientales del país a tomar medidas cuando ocurran estos eventos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) por su apoyo para llevar a cabo el monitoreo de microalgas nocivas en el Caribe colombiano a través de proyectos regionales. Así mismo, agradecen al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar) por el apoyo técnico y al Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia por el apoyo económico. Contribución 1275 del Invemar.

as harmful to human and other organisms health, these events must continue to be monitored and studied to avoid future inconveniences. This information, together with the permanent monitoring of potentially harmful microalgae in the Magdalena region, could be considered as a relevant input for the construction of an early warning system for harmful algae blooms (HABs) in the Colombian Caribbean region, which would help the country’s environmental authorities to take action when these events occur.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the International Atomic Energy Agency (IAEA) for its support to carry out the monitoring of harmful microalgae in the Colombian Caribbean through regional projects. Likewise, they thank the Marine and Coastal Research Institute “José Benito Vives de Andrés” (Invemar) for the technical support and to the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development of Colombia for economic support. Invemar Contribution 1275.



## BIBLIOGRAFÍA/LITERATURE CITED

- Alonso, R. 2004. Hidrología y condiciones ambientales que determinan la proliferación de dinoflagelados causantes de mareas rojas en la bahía de Mazatlán, Sin., México. Tesis Ph.D. Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz. 116 p.
- Alonso, R., Á. Moreira, S. Méndez, and B. Reguera. 2016. Introduction. 5. In: Reguera, B., R. Alonso, A. Moreira, S. Méndez, and M.Y. Dechraoui-Bottein. (Eds). 2016. Guide for designing and implementing a plan to monitor toxin-producing microalgae. 2nd Ed. IOC Manuals and Guides, (59). Unesco and IAEA, Paris and Vienna. 66 p.
- Anton, A, P.L. Teoh, S.R. Mohd-Shaleh, and N. Mohammad-Noor. 2008. First occurrence of *Cochlodinium blooms* in Sabah, Malaysia. *Harmful Algae*, 7: 331-336.
- APHA, AWWA, and WEF. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22.º Ed. American Water Works Association, Washington. 1463 p.
- Arbeláez, N., J.E. Mancera y B. Reguera. 2017. Dinoflagelados epífitos de *Thalassia testudinum* en dos sistemas costeros del Caribe colombiano. *Bol. Investig. Mar. Costeras*, 46(2): 9-40.
- Avaria, S., M. Cáceres, P. Muñoz, S. Palma y P. Vera. (Eds.). 1999. Plan nacional sobre floraciones de algas nocivas en Chile. Comité Oceanográfico Nacional, Santiago de Chile. 31 p.
- Azanza, R.V., L.T. David, R.T. Borja, I.U. Baula, and Y. Fukuyo. 2008. An extensive *Cochlodinium* bloom along the western coast of Palawan, Philippines. *Harmful Algae*, 7: 324-330.
- Balech, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. 310 p.
- Bula-Meyer, G. 1985. Un nuevo núcleo de surgencia en el Caribe colombiano detectado en correlación con las macroalgas. *Bol. Ecológica*, 12: 2-26.
- California Ocean Science Trust. 2016. Framing the science around harmful algal blooms and California fisheries: scientific insights, recommendations and guidance for California. California Ocean Science Trust, Oakland, CA. 20 p.
- Calvo-Vargas, E. y M. Arguedas-Rodríguez. 2012. Muestreo de las floraciones algales nocivas (FANs) en el golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 7 p.
- Cámara de Comercio de Santa Marta. 2018. Informe económico: indicadores económicos 2017-2018. Unidad de Desarrollo Competitivo (UDC). Coordinación Proyectos e Investigaciones. Santa Marta. 56 p.
- Cortés-Altamirano, R. 1984. Mareas rojas producidas por el ciliado *Mesodinium rubrum* (Lohman) en el litoral de Mazatlán, Sinaloa, México. *Biótica*, 9: 259-269.
- Cortés-Altamirano, R. y R. Alonso-Rodríguez. 1997. Mareas rojas durante 1997 en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Cienc. Mar*, 15: 31-37.
- Cortés-Lara, M.C. 2002. Primer registro de marea roja del 2002. Bahía de Banderas Jalisco-Nayarit (enero de 2002). *Rev. Biomed.*, 13(3): 229-230. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v13i3.321> 20/08/2018.
- Cortés-Lara, M.C., R. Cortés-Altamirano y A.P. Sierra-Beltrán. 2004. Presencia de *Cochlodinium catenatum* (Gymnodiniales: Gymnodiniaceae) en mareas rojas de bahía de Banderas, Pacífico mexicano. *Rev. Biol. Trop.*, 52: 35-49.
- Crawford, D.W. 1989. *Mesodinium rubrum*: the phytoplankter that wasn't. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 58: 161-174.
- Crawford, D.W. and T. Lindholm, 1997. Some observations on vertical distribution and migration of the phototrophic ciliate *Mesodinium rubrum* (= *Myrionecta rubra*) in a stratified brackish inlet. *Aquat. Microb. Ecol.*, 13: 267-274.
- De Oliveira, L.A. 2004. A red water caused by *Mesodinium rubrum* on the coast of Santa Catarina, southern Brazil. *Braz. J. Oceanogr.*, 52(2): 153-161.
- Díaz, J. M., L. M. Barrios, M.H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G.H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Ángel, F.A. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. Ser. Publ. Espec., (5). Inveemar, Santa Marta. 176 p.
- Dorantes-Aranda, J.J., L.M. García-De la Parra, R. Alonso-Rodríguez, and L. Morquecho. 2009. Hemolytic activity and fatty acids composition in the ichthyotoxic dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* isolated from Bahía de La Paz, Gulf of California. *Mar. Pollut. Bull.*, 58: 1401-1405.
- Edler, L. and M. Elbrächter. 2010. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis: 13-20. In: Karlson, B., C. Cusack, and E. Bresnan. (Eds.) Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. IOC Manuals and Guides, (55). Unesco. Paris. 110 p.
- Franco-Herrera, A. 2005. Una aproximación a la oceanografía de la ensenada de Gaira: El Rodadero, más allá que un centro turístico. Univ. Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 58 p.
- Freer, E. y M. Vargas-Montero. 2003. Floraciones algales nocivas en la costa pacífica de Costa Rica: toxicología y sus efectos en el ecosistema y salud pública. *Acta Med. Costarric.*, 45(4): 158-164.



- Gárate-Lizárraga, I. 2013. Bloom of *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae: Gymnodiniales) in Bahía de La Paz, Gulf of California. Mar. Pollut. Bull., 67: 217-222.
- Gárate-Lizárraga, I. y M.S. Muñeton-Gómez. 2008. Los riesgos de las mareas rojas en el Pacífico mexicano. *Conversus*, 3: 20-23.
- Gárate-Lizárraga, I., J.J. Bustillos-Guzmán, L.M. Morquecho, and C.H. Lechuga-Deveze. 2000. First outbreak of *Cochlodinium polykrikoides* in the Gulf of California. *Harmful Algae News*, 21: 7.
- Gárate-Lizárraga, I., M.L. Hernández-Orozco, C. Band-Schmidt, and G. Serrano-Casillas. 2001. Red tides along the coasts of Baja California Peninsula, México 1984 to 2001. *Oceánides*, 16(2): 127-134.
- Gárate-Lizárraga, I., C. Band-Schmidt, R. Cervantes-Duarte y D. Escobedo-Urías. 2002. Mareas rojas de *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger y Buddenbrock en el golfo de California (invierno de 1998). *Hidrobiológica*, 12: 15-20.
- Gárate-Lizárraga, I., D.J. López-Cortés, J.J. Bustillos-Guzmán, and F.E. Hernández-Sandoval. 2004. Blooms of *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodiniaceae) in the Gulf of California, México. *Rev. Biol. Trop.*, 52(Suppl. 1): 51-58.
- Garzón-Ferreira, J. and J.M. Díaz. 2003. The Caribbean coral reefs of Colombia: 275-301. In: Cortés, J. (Ed.). *Latin American Coral Reefs*. Elsevier Science B.V., Amsterdam. 508 p.
- Gobler, C.J., D.L. Berry, O.R. Anderson, A. Burson, F. Koch, B.S. Rodgers, L.K. Moore, J.A. Golesky, B. Allam, P. Bowers, Z.Y. Tang, and R. Nuzzi. 2008. Characterization, dynamics, and ecological impacts of harmful *Cochlodinium polykrikoides* blooms on eastern Long Island, NY, USA. *Harmful Algae*, 7: 293-307.
- Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson, and A.D. Cembella. 2004. *Manual on harmful marine microalgae*. Monographs on Oceanographic Methodology. Unesco, Paris. 793 p.
- Hargraves, P.E. and R. Viquez. 1981. The dinoflagellate red tide in Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 29: 31-38.
- Hayes, G.C., D.A. Puerdie, and J.A. Williams. 1989. The distribution of ichthyoplankton in Southampton water in response to low oxygen levels produced by *Mesodinium rubrum* bloom. *J. Fish. Biol.*, 34: 811-813.
- Hernández-Becerril, D.U. 1987. Un caso de mareas rojas en el golfo de California. *Rev. Latinoam. Microbiol.*, 29: 171-174.
- Horstman, D.A. 1981. Reported red-water outbreaks and their effects on fauna of the west and south coasts of South Africa, 1959-1980. *Fish. Bull. S. Afr.*, 15: 71-88.
- IDEAM. 2015. Anuario climatológico 2015. Inst. Hidrol., Meteorol. Est. Ambient., Bogotá. 363 p.
- Invemar. 2010. Concepto técnico sobre el evento de florecimiento de microalgas en el área de Santa Marta. CPT-CAM-044-10. Inst. Investig. Mar. Costeras, Santa Marta. 10 p.
- Invemar. 2013. Concepto técnico sobre el análisis del fitoplancton de cuatro muestras de agua de la bahía de Cartagena tomadas por el CIOH el 27 de marzo de 2013. CTP-CAM-008-13. Inst. Investig. Mar. Costeras, Santa Marta. 6 p.
- Invemar. 2015a. Concepto técnico sobre aparición de mancha roja frente a playa Blanca y la bahía de Santa Marta. CPT-CAM-001-15. Inst. Investig. Mar. Costeras, Santa Marta. 18 p.
- Invemar. 2015b. Concepto técnico sobre posible evento de floración de microalgas frente a la Playa del Rodadero. CPT-CAM-020-15. Inst. Investig. Mar. Costeras, Santa Marta. 12 p.
- Invemar. 2017a. Concepto técnico sobre la mancha roja observada desde la bahía de Santa Marta hasta el sector de Playa Blanca. CPT-CAM-002-17. Inst. Investig. Mar. Costeras, Santa Marta. 12 p.
- Invemar. 2017b. Concepto técnico sobre la mancha roja observada entre la bahía de Santa Marta y Taganga. CPT-CAM-008-17. Inst. Investig. Mar. Costeras, Santa Marta. 14 p.
- Jiménez, R. y E. Gualancaña. 2006. Floraciones de *Mesodinium rubrum* en los procesos de surgencia en el pacífico ecuatorial. *Acta Oceanogr. Pac.*, 13(1): 71-78.
- Johnson, M.D. and D.K. Stoecker. 2005. Role of feeding in growth and photophysiology of *Myrionecta rubra*. *Aquat. Microb. Ecol.*, 39: 303-312.
- Johnson, M.D., D.K. Stoecker, and H.G. Marshall. 2013. Seasonal dynamics of *Mesodinium rubrum* in Chesapeake Bay. *J. Plankton Res.*, 35(4): 877-893. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbt028>
- Kifle, D. and D.A. Purdie. 1993. The seasonal abundance of the phototrophic ciliate *Mesodinium rubrum* in Southampton Water, England. *J. Plankton Res.*, 15(7): 823-833.





- Kim, C.S., S.G. Lee, C.K. Lee, H.G. Kim, and J. Jung. 1999. Reactive oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of the red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. *J. Plankton Res.*, 21(11): 2105-2115.
- Kim, C.S., S.G. Lee, and H.A. Kim. 2000. Biochemical responses of fish exposed to a harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 254: 131-141.
- Kim, D., T. Oda, T. Muramatsu, D. Kim, Y. Matsuyama, and T. Honjo. 2002. Possible factors responsible for the toxicity of *Cochlodinium polykrikoides*, a red tide phytoplankton. *Comp. Biochem. Physiol. C.*, 132(4): 415-423. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(02\)00093-5](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(02)00093-5)
- Koray, T. 1984. The occurrence of red tide and causative organisms in Izmir Bay, E.U. *Fac. Sci. J. Ser. B.*, 7(1): 75-83.
- Lee, J.S. 1996. Bioactive components from the red tide plankton *Cochlodinium polykrikoides*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 29: 165-173.
- Lindholm, I. 1985. *Mesodinium rubrum*: a unique photosynthetic ciliate. *Adv. Aq. Microbiol.*, 3: 1-48.
- López-Cortés, D.J., C.J. Band-Schmidt, J.J. Bustillos-Guzmán, F.E. Hernández-Sandoval, A. Mendoza-Flores y E.J. Núñez-Vázquez. 2014. Condiciones ambientales durante un florecimiento de *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodinales, Dinophyceae) en la ensenada de La Paz, golfo de California. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 49: 97-110.
- Malagón, A. and L.V. Perdomo. 2013. *Cochlodinium polykrikoides* bloom in the Colombian Caribbean. *Harmful Algae News*, 47: 14-15.
- Mancera-Pineda, J.E., B. Gavio y G. Arencibia. 2009. Floraciones algales nocivas, intoxicación por microalgas e impactos en el desarrollo regional: el caso de San Andrés isla, Caribe colombiano. 46-62. En: Mancera-Pineda, J.E., O. Sierra y S. Pérez. 2009. (Eds). Reserva de Biosfera Seaflower. Problema Ambiental. Cuad. Car. 13, 78 p.
- Mancera-Pineda, J.E., M. Montalvo-Talaigua y B. Gavio. 2014. Dinoflagelados potencialmente tóxicos asociados a material orgánico flotante (drift) en San Andrés Isla, Reserva Internacional de la Biosfera – Seaflower. *Caldasia*, 36: 139-156.
- McGaraghan, A., R. Kudela, and K. Negrey. 2012. A primer on California harmful algal blooms: common questions and answers for stakeholders, decision makers, coastal managers, and the education community. <http://fisheries.legislature.ca.gov/sites/fisheries.legislature.ca.gov/files/u8/Primer%20on%20HAB%20westcoast.pdf> 30/05/2018.
- Montealegre, J.E. 2014. Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia como insumo para el Atlas Climatológico. IDEAM, Bogotá. 80 p.
- Morse, R.E., M.R. Mulholland, W.S. Hunley, S. Fentress, M. Wiggins, and J.L. Blanco-García. 2013. Control on the initiation and development of blooms of the dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef in lower Chesapeake Bay and its tributaries. *Harmful Algae*, 28: 71-82.
- Mulholland, M.R., R.E. Morse, G.E. Boneillo, P.W. Bernhardt, K.C. Filippino, L.A. Procise, J.L. Blanco-García, H.G. Marshall, T.A. Egerton, W.S. Hunley, K.A. Moore, D.L. Berry, and C.J. Gobler. 2009. Understanding causes and impacts of the dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides*, blooms in the Chesapeake Bay. *Estuaries Coast.*, 32(4): 734-747.
- NOAA. 2020. Climate prediction center. Cold & warm episodes by season. *Nat. Oc. Atm. Adm.* [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) 16/02/2020.
- Ramírez, G. 1983. Características fisicoquímicas de la bahía de Santa Marta (agosto, 1980-julio, 1981). *An. Inst. Investig. Mar. Punta Betín*, 13: 111-121.
- Reguera, B., R. Alonso, A. Moreira y S. Méndez. 2011. Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas. *Manuales y guías de la COI. Unesco y OIEA, París y Viena.* 59 p.
- Reguera, B. R. Alonso, A. Moreira, S. Méndez, and M.Y. Dechraoui-Boitein (Eds). 2016. Guide for designing and implementing a plan to monitor toxin-producing microalgae. 2nd Ed. *IOC Manuals and Guides (59)*. Unesco and IAEA, Paris and Vienna. 66 p.
- Rodríguez, A., J.E. Mancera-Pineda, and B. Gavio. 2010. Survey of benthic dinoflagellates associated to beds of *Thalassia testudinum* in San Andrés Island, Seaflower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia. *Acta. Biol. Colomb.*, 15(2): 229-246.
- Rodríguez-Ramírez, A. y J. Garzón-Ferreira. 2003. Monitoreo de arrecifes coralinos, pastos marinos y manglares en la bahía de Chengue (Caribe colombiano): 1993-1999. *Ser. Publ. Espec.*, (8). Invemar, Santa Marta. 170 p.
- Ruiz, A. and J.E. Mancera-Pineda. 2019. Potentially toxic dinoflagellates associated to seagrass on isla de Barú, Colombian Caribbean, during El Niño 2015. *Acta. Biol. Colomb.*, 24: 109-117.
- Sar, E.A., M.E. Ferrario y B. Reguera. (Eds.). 2002. Floraciones algales nocivas en el cono sur americano. *Inst. Esp. Oceanogr.*, Madrid. 311 p.
- Strickland, D.H. and T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2.º Ed. *Fish. Res. Board Can. Bull.* 157. 310 p.
- UNGRD. 2016. Fenómeno El Niño, análisis comparativo 1997-1998//2014-2016. *Unid. Nal. Gestión Riesgo Desastres*, Bogotá. 143 p.

- Vega-Sequeda, J., A. Rodríguez-Ramírez, M.C. Reyes-Nivia y R. Navas-Camacho. 2008. Formaciones coralinas del área de Santa Marta: estado y patrones de distribución espacial de la comunidad bentónica. *Bol. Investig. Mar. Costeras*, 37(2): 87-105.
- Vidal, L.A. 1995. Estudio del fitoplancton en el sistema lagunar estuarino tropical Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, durante el año 1987. Tesis M.Sc. Biol. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 207 p.
- Vidal, L.A. 2010. Manual del fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños. Fund. Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 384 p.
- Williams, J.A. 1996. Blooms of *Mesodinium rubrum* in Southampton Water: do they shape mesozooplankton distribution? *J. Plankton Res.*, 18(9): 1685-1697.

**RECIBIDO/RECEIVED:** 22/10/2019

**ACEPTADO/ACCEPTED:** 12/08/2020




## ***Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov. (Dyctioceratida: Spongiidae): una nueva especie de esponja para el Caribe colombiano**

### ***Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov. (Dyctioceratida: Spongiidae): a new sponge species from the Colombian Caribbean**

Jesús David-Colón\* y Dairo Marín-Casas

 0000-0001-7973-6210

 0000-0002-0372-9847

1. Grupo de investigación Biología Evolutiva, programa de Biología, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia. [jesusdanieldavid@gmail.com](mailto:jesusdanieldavid@gmail.com)\*, [dairo.marin@unisucree.edu.co](mailto:dairo.marin@unisucree.edu.co)

\* Autor de correspondencia.

#### RESUMEN

**S**e describe la nueva especie *Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov. que fue recolectada en rompeolas del municipio de Coveñas, departamento de Sucre (Caribe colombiano). Esta es una esponja masiva, con lóbulos o ramas erectas y rastreras; esqueleto de fibras primarias ascendentes con inclusiones de material foráneo; mallas de fibras secundarias y pseudoterciarias sin inclusiones dominan el esqueleto; fibras pseudoterciarias más claras y conectadas a los otros tipos de fibras o formando un retículo dentro de mallas de fibras secundarias. Este hallazgo constituye el primer registro y descripción de una especie del subgénero *Heterofibria* para Colombia y el Caribe, lo que eleva a nueve las especies del género para el Caribe y a tres para Colombia.

**PALABRAS CLAVE:** Caribe, *Spongia (Heterofibria)*, especie nueva, Spongiidae, Porifera

#### ABSTRACT

**T**he new species *Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov. that was collected in breakwaters in the municipality of Coveñas, department of Sucre (Colombian Caribbean) is described. This is a massive sponge, with erect and creeping lobes or branches; skeleton of ascending primary fibers cored with foreign material; secondary and pseudotertiary fiber meshes cored dominate the skeleton; lighter pseudotertiary fibers connected to the other fiber types or forming a reticulum within secondary fibers meshes. This finding constitutes the first record and description of a species of the subgenus *Heterofibria* for Colombia and the Caribbean, which raises to nine the species number of the genus for the Caribbean and three for Colombia.

**KEYWORDS:** Caribbean, *Spongia (Heterofibria)*, new species, Spongiidae, Porifera

## INTRODUCCIÓN

En la familia Spongiidae se incluyen esponjas que se usan comercialmente para el baño y el lavado. Estas se caracterizan por poseer un esqueleto de fibras de espongina homogéneas, sin laminaciones distintivas, generalmente dominado por una red de fibras subprimarias, y también por tener cámaras de coanocitos diploides. Esta familia consta de seis géneros válidos, uno de los cuales, *Spongia* Linnaeus, 1759, incluye tres subgéneros: *Spongia*, *Heterofibria* Cook y Bergquist, 2001 y *Australospongia* Cook y Bergquist, 2001 (Cook y Bergquist, 2001). Especies del género *Spongia* poseen una superficie de cónulos bajos dispuestos uniformemente. La consistencia es elástica, flexible y muy compresible. El retículo esquelético está compuesto de un reducido número de fibras primarias ascendentes con inclusiones de material foráneo y de un retículo secundario de fibras sin inclusiones, altamente desarrollado (Cook y Bergquist, 2002). *Spongia* contiene 65 especies válidas descritas, de las cuales 8 se encuentran en el Caribe (Van Soest *et al.*, 2019).

El subgénero *Heterofibria* se distingue de los otros dos subgéneros por tener una dicotomía distintiva de tamaño entre las fibras del esqueleto secundario. Las fibras de mayor diámetro son denominadas secundarias y las de menor diámetro pseudoterciarias, lo que genera un retículo subprimario (Cook y Bergquist, 2001). Las primeras especies descritas del subgénero *Heterofibria* fueron *S. corrugata* Cook y Bergquist, 2001, *S. decooki* Van Soest & Hooper, 2020 (misma que *Spongia (Heterofibria) cristata* Cook y Bergquist, 2001), *S. gorgonocephalus* Cook y Bergquist, 2001, *S. manipulatus* Cook y Bergquist, 2001 y *S. mokohinau* Cook y Bergquist, 2001 en Nueva Zelanda, a partir de una revisión del género *Spongia* (Cook y Bergquist, 2001). Este subgénero se ve representado en el Atlántico de Brasil por *S. catarinensis* Mothes, Kasper, Lerner, Campos y Carraro, 2006. Kim y Sim (2009) describieron dos especies de las costas de Corea: *S. corallina* y *S. purpurea*. Samaai *et al.* (2019) describieron *S. cooki* (nombre que fue remplazado por *S. peddemorsi* Samaai, Pillay y Janson, 2020) y *S. smaragdus* de Sodwana Bay, en la costa oriental de Sudáfrica.

Para Colombia, dos especies de *Spongia* han sido registradas y descritas por Zea (1987): *S. (Spongia) tubulifera* Lamarck, 1814 y *S. (Spongia) anclotea* De Laubenfels y Storr, 1958 (como *S. obscura* Hyatt, 1877 y *S. pertusa* Hyatt, 1877 respectivamente). En el presente estudio se describe una nueva especie de *Spongia (Heterofibria)*

## INTRODUCTION

The Spongiidae family includes sponges that are used commercially for bathing and washing. These are characterized by having a skeleton of homogeneous spongin fibers, without distinctive laminations, generally dominated by a network of sub-primary fibers, and also by having diploidal choanocytes chambers. This family consists of six valid genera, one of which, *Spongia* Linnaeus, 1759, includes three subgenera: *Spongia*, *Heterofibria* Cook and Bergquist, 2001 and *Australospongia* Cook and Bergquist, 2001 (Cook and Bergquist, 2001). Species of the genus *Spongia* possess a surface of uniformly arranged low conules. The consistency is elastic, flexible, and very compressible. The skeletal reticulum is composed of a small number of ascending primary fibers cored with foreign material and a highly developed uncored secondary reticulum (Cook and Bergquist, 2002). *Spongia* contains 65 valid described species, of which 8 are found in the Caribbean (Van Soest *et al.*, 2019).

The subgenus *Heterofibria* is distinguished from the other two subgenera by having a distinctive size dichotomy between the fibers of the secondary skeleton. Fibers with a larger diameter are called secondary and those with a smaller diameter pseudo-tertiary, which generates a sub-primary reticulum (Cook and Bergquist, 2001). The first species of the subgenus *Heterofibria* described were *S. corrugata* Cook and Bergquist, 2001, *S. decooki* Van Soest and Hooper, 2020 (same as *Spongia (Heterofibria) cristata* Cook and Bergquist, 2001), *S. gorgonocephalus* Cook and Bergquist, 2001, *S. manipulatus* Cook and Bergquist, 2001 and *S. mokohinau* Cook and Bergquist, 2001 in New Zealand, based on a review of the genus *Spongia* (Cook and Bergquist, 2001). This subgenus is represented in the Brazilian Atlantic by *S. catarinensis* Mothes, Kasper, Lerner, Campos, and Carraro, 2006. Kim and Sim (2009) described two species from the coasts of Korea: *S. corallina* and *S. purpurea*. Samaai *et al.* (2019) described *S. cooki* (a name that was replaced by *S. peddemorsi* Samaai, Pillay and Janson, 2020) and *S. smaragdus* from Sodwana Bay, on the east coast of South Africa.

For Colombia, two species of *Spongia* have been recorded and described by Zea (1987): *S. (Spongia) tubulifera* Lamarck, 1814 and *S. (Spongia) anclotea* De Laubenfels and Storr, 1958 (as *S. obscura* Hyatt, 1877 and *S. pertusa* Hyatt, 1877, respectively). This study describes a new species of *Spongia (Heterofibria)* collected in

recolectada en rompeolas de las playas del departamento de Sucre (Caribe colombiano).

breakwaters from the beaches of the department of Sucre (Colombian Caribbean).

## ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se realizó en dos rompeolas de roca calcárea ubicados en las playas Boca La Caimanera ( $9^{\circ}26'6,33''-21,46''$  N,  $75^{\circ}37'40,39''-52,15''$ ) y punta Piedra ( $9^{\circ}25'21,62''$  N,  $75^{\circ}39'5,31''$  O) en el municipio de Coveñas, departamento de Sucre (Colombia), parte sur del golfo de Morrosquillo (Figura 1). Los rompeolas están ubicados a ambos costados de la desembocadura de la laguna costera La Caimanera, a una distancia máxima de 116 m de la costa y a una profundidad menor de 3 m. Los rompeolas están

## STUDY AREA

This study was carried out in two calcareous rock breakwaters located on the Boca La Caimanera beaches ( $9^{\circ}26'6.33''-21.46''$  N,  $75^{\circ}37'40.39''-52.12''$ ) and Punta Piedra ( $9^{\circ}25'21.62''$  N,  $75^{\circ}39'5.31''$  W) in the municipality of Coveñas, department of Sucre (Colombia), the southern part of the Gulf of Morrosquillo (Figure 1). The breakwaters are located on both sides of the mouth of the coastal lagoon La Caimanera, at a maximum distance of 116 m from the coast and at a depth of less than 3 m. Breakwaters are

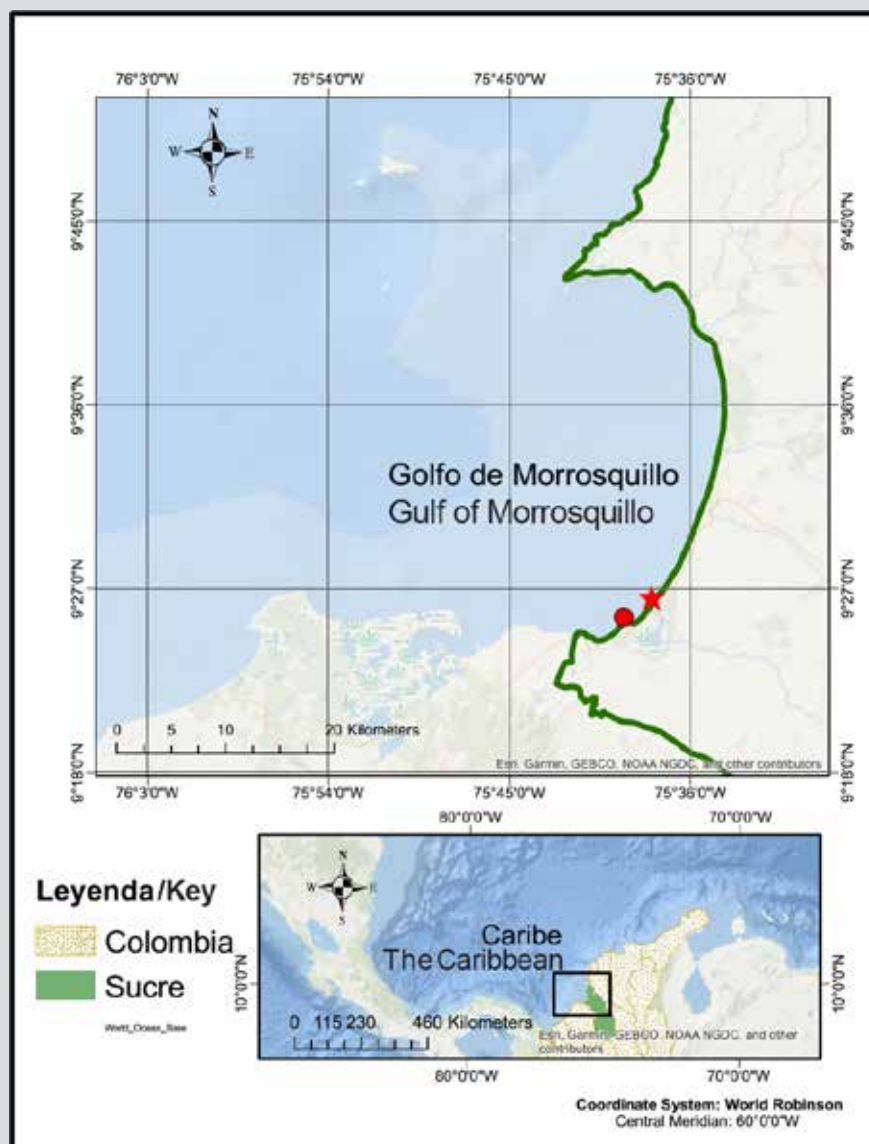


Figura 1. Área de estudio. ★ Playas Boca La Caimanera. ● Punta Piedra.

Figure 1. Study area. ★ Boca La Caimanera beaches. ● Punta Piedra.



acompañados por praderas de pastos marinos en los que habitan moluscos, equinodermos y poríferos. Punta Piedra es un bajo coralino compuesto principalmente por las especies *Millepora complanata* Lamarck, *M. squarrosa* Lamarck, *Siderastrea siderea* (Ellis y Solander) y *Siderastrea radians* (Pallas); se encuentra deteriorado y es abundante el coral muerto. La altura de las olas es inferior a la que se presenta en otras partes del Caribe colombiano y los eventos extremos del oleaje son generados principalmente por frentes fríos (Otero *et al.*, 2016).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los especímenes fueron recolectados entre el 20 de agosto de 2017 y el 22 de junio de 2018 mediante buceo a pulmón libre, de forma manual usando una espátula, y se depositaron en una bolsa resellable que contenía agua de mar. También se tomaron fotografías en el lugar con una cámara SJ4000 de SJCAM a 12 mp. Las muestras fueron fijadas y etiquetadas en frascos de vidrio con etanol al 70 % para su posterior identificación taxonómica y, luego, fueron depositadas en el Museo de Zoología de la Universidad de Sucre (MZUSU).

La identificación de las esponjas se realizó a través de cortes histológicos gruesos según la metodología de Zea (1987). Se utilizaron las claves taxonómicas propuestas por Hooper y Van Soest (2002b) y el trabajo de Mothes *et al.* (2006) hasta llegar al nivel de subgénero. También se hicieron comparaciones con muestras de las especies *S. anclotea*, *S. tubulifera* e *Hyatella cavernosa* (Pallas, 1766) para llegar hasta el nivel de especie. Las fotografías de la arquitectura del esqueleto fueron tomadas con un microscopio Labomed equipado con cámara iVu 3100. Las mediciones de las fibras y la distancia entre estas se calcularon con el programa PixelPro versión 2,8, a partir de la calibración del *software* con micrómetro de platina. Las medidas se presentan como mínimo-promedio-máximo. Por su parte, las mediciones de los ósculos, los lóbulos y el tamaño del fragmento se calcularon con un calibrador electrónico.

## RESULTADOS

### Taxonomía

Clase Demospongiae Sollas, 1885

Orden Dictyoceratida Minchin, 1900

Familia Spongiidae Gray, 1867

Género *Spongia* Linnaeus, 1759

accompanied by seagrass meadows inhabited by mollusks, echinoderms, and porifers. Punta Piedra is a coral reef composed mainly of the species *Millepora complanata* Lamarck, *M. squarrosa* Lamarck, *Siderastrea siderea* (Ellis and Solander), and *Siderastrea radians* (Pallas); it is deteriorated and dead coral is abundant. The wave height is lower than that found in other parts of the Colombian Caribbean and extreme wave events are generated mainly by cold fronts (Otero *et al.*, 2016).

## MATERIALS AND METHODS

The specimens were collected between August 20, 2017 and June 22, 2018 by free diving, manually using a spatula, and placed in a resealable bag containing seawater. Photographs were also taken on-site with an SJCAM SJ4000 camera at 12 mp. The samples were fixed and labeled in glass jars with 70 % ethanol for subsequent taxonomic identification and, later, they were deposited in the Museum of Zoology of the University of Sucre (MZUSU).

The identification of the sponges was carried out through thick histological sections according to the methodology of Zea (1987). The taxonomic keys proposed by Hooper and Van Soest (2002b) and the work of Mothes *et al.* (2006) up to the subgenus level. Comparisons were also made with samples of the species *S. anclotea*, *S. tubulifera* and *Hyatella cavernosa* (Pallas, 1766) to arrive at the species level. The photographs of the skeleton architecture were taken with a Labomed microscope equipped with an iVu 3100 camera. The measurements of the fibers and the distance between them were calculated with the PixelPro version 2.8 program, from the calibration of the software with a micrometer of the platen. Measurements are presented as minimum-average-maximum. On the other hand, the measurements of the oscula, the lobes, and the size of the fragment were calculated with an electronic caliper.

## RESULTS

### Taxonomy

Class Demospongiae Sollas, 1885

Order Dictyoceratida Minchin, 1900

Family Spongiidae Gray, 1867

Genera *Spongia* Linnaeus, 1759

**Diagnosis (de Cook y Bergquist, 2001):** esponjas suaves a firmes y compresibles. Con un retículo esquelético de fibras primarias, con inclusiones de material foráneo y fibras secundarias sin inclusiones; fibras primarias más evidentes cerca de la superficie, donde pueden atravesar la dermis. Los cónulos, cuando se encuentran presentes, están sostenidos por uno o varios mechones de fibras primarias emergentes. Esqueleto dominado por una malla de fibras secundarias sin inclusiones, lo que da a estas esponjas su flexibilidad y sus propiedades de retención de agua. Estas mallas se crean por la intersección y unión de fibras, y cada intersección de fibra siempre con tres fibras que se alejan de ella.

Subgénero *Heterofibria* Cook y Bergquist, 2001

**Diagnosis (de Cook y Bergquist, 2001):** esqueleto dominado por retículos de fibras subprimarias, de las cuales las de mayor diámetro son denominadas fibras secundarias y las de menor diámetro fibras pseudoterciarias. Mallas formadas por esqueleto de fibras, usualmente poligonales, aunque irregulares en tamaño y forma, menos angulares que las del subgénero *Spongia*, como se caracteriza para *S. officinalis*.

*Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov.  
(Figura 2)

**Material tipo:** Holotipo. MZUSU-I00005: boca La Caimanera, rompeolas, 1-3 m, 20-agosto-2017, col. J. David; Paratipos: MZUSU-I00026: Punta Piedra, arrecife coralino, 2-4 m, 22-junio-2018, col. J. David; MZUSU-I00027: boca La Caimanera, rompeolas, 1-3 m, 20-agosto-2017, col. J. David; MZUSU-I00028: Punta Piedra, arrecife coralino, 2-4 m, 22-junio-2018, col. J. David.

**Material adicional para comparación:** *Spongia (Spongia) tubulifera* (MZUSU-I00014); *Hyattella cavernosa* (MZUSU-I00040); *S. (Spongia) anclotea* (MZUSU-I00036).

**Diagnosis:** esponja masiva, con lóbulos o ramas erectas y rastreras. Esqueleto de fibras primarias ascendentes con inclusiones de material foráneo. Mallas de fibras secundarias y pseudoterciarias sin inclusiones dominan el esqueleto. Fibras pseudoterciarias más claras conectadas a los otros tipos de fibras o formando un retículo dentro de mallas de fibras secundarias.

**Morfología externa:** esponja masiva con lóbulos erectos y rastreros de longitud máxima de 5 cm y de ancho máximo de 1,7 cm. Ósculos redondos como perforaciones del pinacodermo, 1-3 mm de diámetro, ubicados principalmente en la parte superior de los lóbulos y dispuestos linealmente

**Diagnosis (from Cook and Bergquist, 2001):** soft to firm and compressible sponges. With a skeletal network of primary fibers, cored with foreign material and uncored secondary fibers; more obvious primary fibers near the surface, where they can pass through the dermis. Conules, when present, are supported by one or more tufts of emerging primary fibers. Skeleton is dominated by a mesh of uncored secondary fibers, which gives these sponges their flexibility and their water retention properties. These meshes are created by the intersection and union of fibers, and each fiber intersection always has three fibers moving away from it.

Subgenus *Heterofibria* Cook and Bergquist, 2001

**Diagnosis (from Cook and Bergquist, 2001):** skeleton dominated by networks of sub-primary fibers, of which the larger diameter fibers are called secondary fibers and the smaller diameter fibers pseudo-tertiary. Meshes formed by skeleton fibers, usually polygonal, although irregular in size and shape, less angular than those of the subgenus *Spongia*, as characterized in *S. officinalis*.

*Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov.  
(Figure 2)

**Material type:** Holotype. MZUSU-I00005: Boca La Caimanera, breakwater, 1-3 m, August 20, 2017, col. J. David; Paratypes: MZUSU-I00026: Punta Piedra, coral reef, 2-4 m, June 22, 2018, col. J. David; MZUSU-I00027: Boca La Caimanera, breakwater, 1-3 m, August 20, 2017, col. J. David; MZUSU-I00028: Punta Piedra, coral reef, 2-4 m, June 22, 2018, col. J. David.

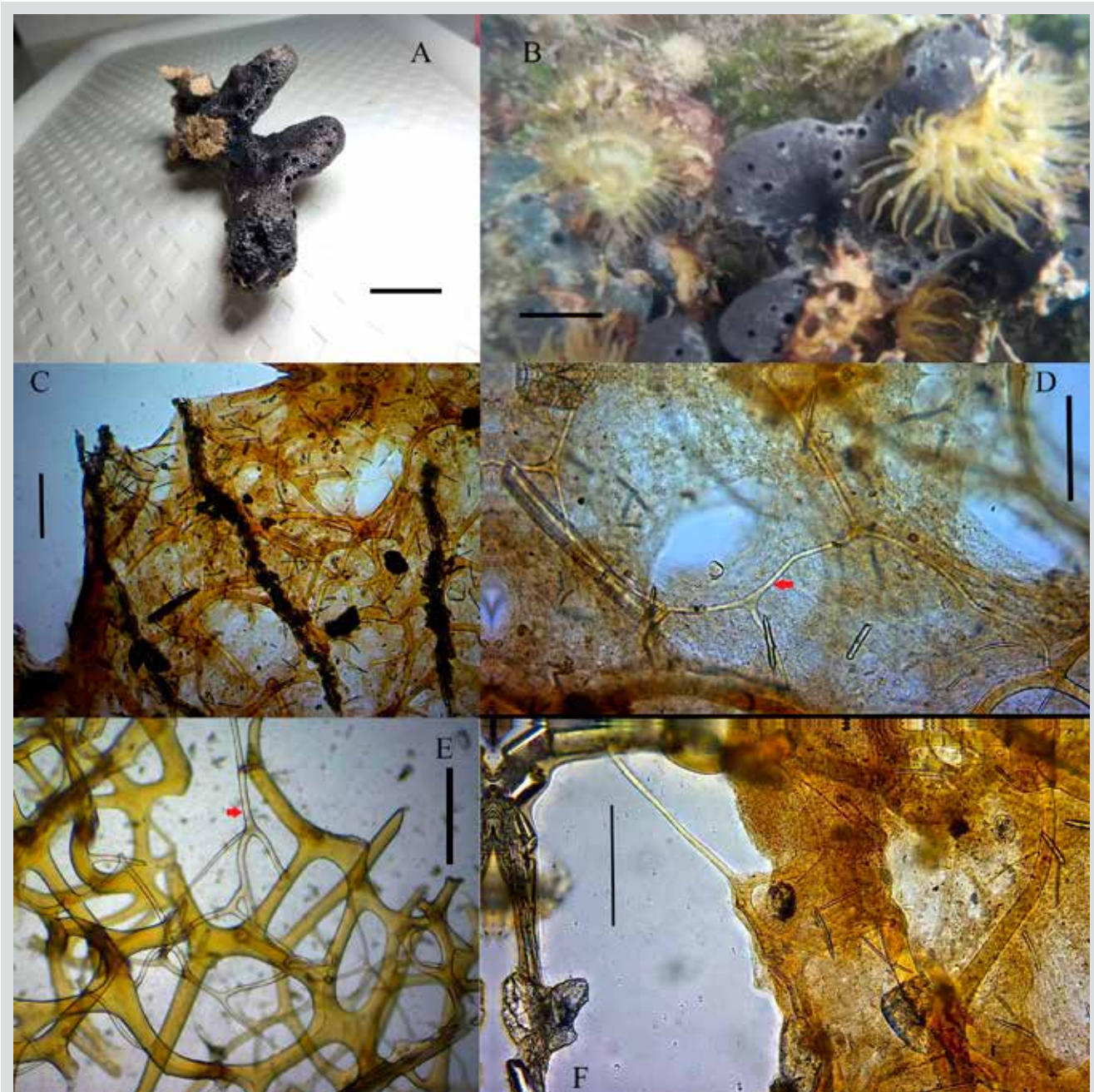
**Additional material for comparison:** *Spongia (Spongia) tubulifera* (MZUSU-I00014); *Hyattella cavernosa* (MZUSU-I00040); *S. (Spongia) anclotea* (MZUSU-I00036).

**Diagnosis:** massive sponge, with erect and creeping lobes or branches. Skeleton of ascending primary fibers cored with foreign material. Meshes of uncored secondary and pseudo-tertiary fibers dominate the skeleton. Lighter pseudo-tertiary fibers are connected to the other types of fibers or forming a reticulum within the meshes of secondary fibers.

**External morphology:** massive sponge with erect, creeping lobes of a maximum length of 5 cm, and a maximum width of 1.7 cm. Round oscula as perforations of the pinacoderm, 1-3 mm in diameter, located mainly on the upper part of the lobes and arranged linearly along

a lo largo de la esponja. Superficie cubierta por cónulos de altura de entre 0,3 y 0,8 mm. Algunos de los cónulos tienen una fibra fina emergente muy fina. Consistencia elástica y compresible, difícil de rasgar. Color *in situ* negro en parte superior y cremoso a blanco en la zona basal e interior de

with the sponge. Surface covered by conules of height between 0.3 and 0.8 mm. Some of the conules have a fine fiber protruding from the apices. Elastic and compressible consistency, difficult to tear. Color *in situ* black in the upper part and creamy to white in the basal and interior



**Figura 2.** *Spongia (Heterofibria) sucrensisi* sp. nov. **A)** Espécimen preservado (escala: 3 cm). **B)** Espécimen *in situ* (escala: 3 cm). **C)** Arquitectura del esqueleto, fibras primarias con inclusiones de material foráneo que emergen hacia la superficie formando un cónulo (escala: 300 µm). **D)** Arquitectura del esqueleto con material orgánico, retículo de fibras pseudoterciarias (flecha roja) (escala: 200 µm). **E)** Arquitectura del esqueleto sin material orgánico, retículo de fibras pseudoterciarias (flecha roja) (escala: 200 µm). **F)** Fibra pseudoterciaria solitaria (escala: 200 µm).

**Figure 2.** *Spongia (Heterofibria) sucrensisi* sp. nov. **A)** Preserved specimen (scale: 3 cm). **B)** Specimen *in situ* (scale: 3 cm). **C)** Architecture of the skeleton, primary fibers cored with of foreign material that emerge towards the surface forming a conule (scale: 300 µm). **D)** Architecture of the skeleton with organic material, the reticulum of pseudo-tertiary fibers (red arrow) (scale: 200 µm). **E)** Architecture of the skeleton without organic material, the reticulum of pseudo-tertiary fibers (red arrow) (scale: 200 µm). **F)** Solitary pseudo-tertiary fiber (scale: 200 µm).



la esponja; el color se mantiene en alcohol. Dimensiones máximas:  $11,5 \times 4,7 \times 1,9$  cm (largo-alto-ancho) (Figura 2A).

**Ectosoma:** pinacodermo orgánico distinguible.

**Coanosoma:** esqueleto anisotrópico, poco denso, algunas veces con mucho detrito, de fibras primarias ascendentes con inclusiones de material foráneo (espículas y detritos); muchas de estas fibras se bifurcan en tramos menos gruesos al acercarse a la superficie, donde la distancia entre estas es menor (Figura 2C). Las fibras secundarias y pseudoterciarias sin inclusiones dominan el esqueleto reticulado y están conectadas a otras fibras formando mallas. Las secundarias forman frecuentemente polígonos irregulares en cuanto a tamaño y forma mientras las pseudoterciarias se hallan solas, conectadas con los otros tipos de fibras o formando un retículo solo de estas, pero que conecta con los otros tipos de fibras; esto ocurre frecuentemente cerca de la superficie (Figura 2D, 2F). Este retículo se encuentra dentro de mallas de las otras fibras, paralelo a estas, aunque algunas fibras pueden retorcerse en otra dirección y conectarse con otro grupo de mallas (Figura 2D, 2E). Coloración amarilla de las fibras primarias y secundarias, en pseudoterciarias es más clara. Diámetro de fibras: primarias 48-80,2-119  $\mu\text{m}$  ( $n = 33$ ); secundarias 19-41,3-81  $\mu\text{m}$  ( $n = 30$ ); pseudoterciarias 7-13,9-24  $\mu\text{m}$  ( $n = 30$ ). Distancia entre fibras primarias: 204-688-1401  $\mu\text{m}$  ( $n = 28$ ). Diámetro de los polígonos formados por fibras primarias, secundarias y pseudoterciarias: 72-300-801  $\mu\text{m}$  ( $n = 30$ ); polígonos del retículo de fibras pseudoterciarias: 60-262-563  $\mu\text{m}$  ( $n = 20$ ).

**Ecología:** encontrada en sustrato rocoso artificial (rompeolas) y sobre coral muerto a una profundidad aproximada de 1,5 m. Dentro de una esponja se encontraron dos bivalvos del género *Mytilopsis*; junto a la esponja se hallaron anémonas del género *Exaiptasia*.

**Distribución:** costa de Sucre (Caribe colombiano).

**Etimología:** el nombre específico se refiere al departamento de Sucre, donde fue recolectada.

area of the sponge; the color is kept in alcohol. Maximum dimensions:  $11.5 \times 4.7 \times 1.9$  cm (length-height-width) (Figure 2A).

**Ectosome:** distinguishable organic pinacoderm.

**Coanosoma:** anisotropic skeleton, not very dense, sometimes with much debris, of ascending primary fibers cored with foreign material (spicules and debris); many of these fibers bifurcate into thinner sections as they approach the surface, where the distance between them is less (Figure 2C). Uncored secondary and pseudo-tertiary fibers dominate the reticulated skeleton and are connected to other fibers forming meshes. The secondaries are frequently formed irregular polygons in terms of size and shape while the pseudo-tertiary ones are found alone, connected with the other types of fibers or forming a reticulum only of these, but that connects with the other types of fibers; this frequently occurs near the surface (Figure 2D, 2F). This reticulum is found within meshes of the other fibers, parallel to these, although some fibers can twist in another direction and connect with another group of meshes (Figure 2D, 2E). Yellow coloration of the primary and secondary fibers, in pseudo-tertiary is clearer. Fiber diameter: primary 48-80.2-119  $\mu\text{m}$  ( $n = 33$ ); secondaries 19-41.3-81  $\mu\text{m}$  ( $n = 30$ ); pseudo-tertiary 7-13.9-24  $\mu\text{m}$  ( $n = 30$ ). Distance between primary fibers: 204-688-1401  $\mu\text{m}$  ( $n = 28$ ). Diameter of the polygons formed by primary, secondary and pseudo-tertiary fibers: 72-300-801  $\mu\text{m}$  ( $n = 30$ ); reticulum polygons of pseudo-tertiary fibers: 60-262-563  $\mu\text{m}$  ( $n = 20$ ).

**Ecology:** Found in the artificial rocky substrate (breakwater) and on dead coral at a depth of approximately 1.5 m. Inside a sponge, two bivalves of the genus *Mytilopsis* were found; Anemones of the genus *Exaiptasia* were found next to the sponge.

**Distribution:** Sucre coast (Colombian Caribbean).

**Etymology:** The specific name refers to the department of Sucre, where it was collected.

**Tabla 1.** Características diagnósticas de las especies del subgénero *Heterofibria*. Diámetros de PR: fibras primarias, SC: fibras secundarias, PT: fibras pseudoterciarias.

**Table 1.** Diagnostic characteristics of the subgenus *Heterofibria* species. Diameters of PR: Primary fibers, SC: Secondary fibers, PT: Pseudo-tertiary fibers.

Especie/ Species	PR (µm)	SC (µm)	PT (µm)	Reticulo de pseudoterciarias/ Pseudo-tertiary grid	Forma de crecimiento/ Growth form	Superficie/ Surface
<i>S. (H.) sucrensis</i> sp. nov.	48-80.2-119 (n = 30)	19-41.3-81 (n = 30)	7-13.9-24 (n = 30)	Conectado dentro de mallas de otras fibras primarias y secundarias. Algunas fibras de este reticulo pueden retorcerse en otra dirección y conectarse con otro grupo de mallas/ Connected within meshes of other primary and secondary fibers. Some fibers of this reticulum can twist in another direction and connect with another group of meshes	Masiva con lóbulos rastreros y erectos/ Massive with creeping and erect lobes	Cónulos de 0.3-0.8 mm/ Conules of 0.3-0.8 mm
<i>S. (H.) manipulator</i> Cook y Bergquist, 2001	35-78-184 (n = 14)	24-34-46 (n = 38)	4-13-23 (n = 42)	El reticulo de pseudoterciarias forma redes dentro de las mallas de secundarias y se extiende a otras mallas/ The pseudo-tertiary reticulum forms networks within the secondary meshes and extends to other meshes	Masiva/ Massive	Con túbulos cónicos con ósculos terminales. Abundantemente conulosa/ With conical tubules with terminal oscula. Abundantly conulous
<i>S. (H.) gorgonocephalus</i> Cook y Bergquist, 2001	38-55-126 (n = 14)	12-29-55 (n = 31)	4-8-9 (n = 15)	No	Pequeña, masiva y compacta/ Small, massive and compact	Cónulos estrechos, sobresalen de toda la esponja, algunos túbulos osculares. Cónulos con un "cordón" de fibras, terminal y emergente/ Narrow conules protruding from the entire sponge, some osseous tubules. Conules with a terminal, emergent "cord" of fibers
<i>S. (H.) corrugata</i> Cook y Bergquist, 2001	29-58-175 (n = 24)	10-21-31 (n = 28)	2-5-6 (n = 25)	El reticulo está más inclinado a formar redes en un solo plano dentro de mallas de secundarias, aunque puede conectarse con fibras secundarias adyacentes/ The reticulum is more inclined to form networks in a single plane within meshes of secondaries, although it can connect with adjacent secondary fibers	Masiva e irregular/ Massive and irregular	Numerosos espacios subdermales/ Numerous subdermal spaces
<i>S. (H.) decooki</i> Van Soest y Hopper, 2020	29-49-78 (n = 32)	17-30-42 (n = 40)	4-10-17 (n = 40)	El reticulo se encuentra dentro de mallas de fibras secundarias/ The reticulum is found within meshes of secondary fibers	Incrustante a masiva/ Encrusting to massive	Con mechones de fibras emergentes que se unen. Pinacodermo traslúcido. Túbulos bajos/ With tufts of emerging fibers that come together. Translucent pinacoderm. Low tubules
<i>S. (H.) purpurea</i> Kim y Sim, 2009	40-103	15-40	3-6	No	Masiva con muchos lóbulos/ Massive with many lobes	Porosa, con una membrana delgada traslúcida entre los lóbulos/ Porous, with a thin translucent membrane between the lobes





Especie/ Species	PR ( $\mu$ m)	SC ( $\mu$ m)	PT ( $\mu$ m)	Reticulo de pseudoterciarias/ Pseudo-tertiary grid	Forma de crecimiento/ Growth form	Superficie/ Surface
<i>S. (H.) corallina</i> Kim y Sim, 2009	40-120	15-50	10	Reticulo unido a una membrana superficial/ Reticulum attached to a surface membrane	Masiva/ Massive	Una membrana translúcida cubre la superficie. Lóbulos verticales con ósculos terminales/ A translucent membrane covers the surface. Vertical lobes with terminal oscula
<i>S. (H.) peddemorsi</i> Samaai, Pillay & Janson, 2020	55-65-89	23-28-37	12-16-18	Reticulo dentro de mallas poligonales e interconectado con fibras secundarias adyacentes/ Reticulum within polygonal meshes and interconnected with adjacent secondary fibers	Masiva, digitada/ Massive, typed	Superficie lisa con fibras expuestas/ Smooth surface with exposed fibers
<i>S. (H.) smaragdus</i> Samaai, Pillay & Janson, 2019	32-40-45	16-20-26	No se menciona/ Not mentioned	No	Masiva, amorfa a densamente incrustante./ Massive, amorphous to thickly encrusting	Conulosa con fibras expuestas y fistulas/ Conulous with exposed fibers and fistulas
<i>S. (H.) catarinensis</i> Mothes <i>et al.</i> 2006	60-69.3-100 (n = 50)	11-32.2-69 (n = 50)	2,3-13.3-23 (n = 50)	No	Masiva, incrustante con proyecciones irregulares esparcidas lateralmente/ Massive, encrusting with irregular projections scattered laterally	Cónulos de altura de hasta 2 mm, con proyecciones lobuladas discretas con ósculos terminales/ Conules up to 2 mm tall, with discrete lobed projections with terminal oscula

## DISCUSIÓN

Según Van Soest *et al.* (2019), el género *Spongia* tiene hasta el momento ocho especies registradas para el Caribe: *S. (Spongia) obliqua* Duchassaing y Michelotti, 1864, *S. (Spongia) barbara* Duchassaing y Michelotti, 1864, *S. anclotea*, *S. (Spongia) coelosia* Duchassaing y Michelotti, 1864, *S. (Spongia) obscura* Hyatt, 1877, *S. (Spongia) pilosa* (Wilson, 1902), *S. (Spongia) solitaria* Hyatt, 1877 y *S. tubulifera*. De ellas, *S. tubulifera* y *S. anclotea* (como *S. obscura* y *S. pertusa*, respectivamente) se han registrado y descrito en diferentes áreas del Caribe colombiano (Zea, 1987). Por lo tanto, con la descripción de *S. sucrensis* se amplía el registro a nueve especies del género para el Caribe y a tres para Colombia. De igual forma, es la primera vez que se registra el subgénero *Heterofibria* en el Caribe. Anteriormente, el subgénero solo se había registrado en Suramérica en la Ilha das Aranhas en el estado de Santa Catarina (Brasil) (Mothes *et al.*, 2006; Muricy *et al.*, 2011), en Nueva Zelanda (Cook y Bergquist, 2001), en Corea (Kim y Sim, 2009) y en la costa oriental de Sudáfrica (Samaai *et al.*, 2019).

Esta nueva especie es cercana a *Spongia (Heterofibria) catarinensis* (Mothes *et al.*, 2006), pero

## DISCUSSION

According to Van Soest *et al.* (2019), the genus *Spongia* has so far eight species registered for the Caribbean: *S. (Spongia) obliqua* Duchassaing and Michelotti, 1864, *S. (Spongia) barbara* Duchassaing and Michelotti, 1864, *S. anclotea*, *S. (Spongia) coelosia* Duchassaing and Michelotti, 1864, *S. (Spongia) obscura* Hyatt, 1877, *S. (Spongia) pilosa* (Wilson, 1902), *S. (Spongia) solitaria* Hyatt, 1877 and *S. tubulifera*. Of these, *S. tubulifera* and *S. anclotea* (as *S. obscura* and *S. pertusa*, respectively) have been recorded and described in different areas of the Colombian Caribbean (Zea, 1987). Therefore, with the description of *S. sucrensis* the record is extended to nine species of the genus for the Caribbean and three for Colombia. Similarly, it is the first time that the subgenus *Heterofibria* has been recorded in the Caribbean. Previously, the subgenus had only been recorded in South America on the Ilha das Aranhas in the state of Santa Catarina (Brazil) (Mothes *et al.*, 2006; Muricy *et al.*, 2011), in New Zealand (Cook and Bergquist, 2001), in Korea (Kim and Sim, 2009) and on the east coast of South Africa (Samaai *et al.*, 2019).

This new species is close to *Spongia (Heterofibria) catarinensis* (Mothes *et al.*, 2006), but its

su morfología externa se diferencia de esta en que las proyecciones esparcidas lateralmente están elevadas; no presenta ósculos ubicados en proyecciones lobadas discretas, elevadas de su superficie; los microcónulos son más pequeños (0,3-0,8 mm); el diámetro máximo de los ósculos es mayor (3 mm por 2 mm en *S. catarinensis*) y no hay una membrana translúcida circundando la abertura de estos. En cuanto al esqueleto, cerca de la superficie la nueva especie posee retículos formados por fibras pseudoterciarias que conectan con las primarias y secundarias adyacentes. Estos retículos están ausentes en *S. catarinensis*. Las mediciones realizadas muestran que el diámetro máximo de las fibras primarias y secundarias es mayor en la especie nueva mientras que las fibras pseudoterciarias presentan gran similitud (Tabla 1). El retículo de fibras pseudoterciarias ha sido mencionado también en otras especies del subgénero que tienen una distribución alejada con respecto a la nueva especie. Debido a la corta duración de las larvas de esponjas, es muy poco probable que se trate de ellas (Klautau *et al.*, 1999). *Spongia* (*H.*) *peddemorsi* [igual a *S. cooki* en Samaai *et al.* (2019)], una especie de Sudáfrica, también posee un retículo de fibras pseudoterciarias conectado con fibras secundarias, pero discrepa de la nueva especie en la presencia de una capa superficial de colágeno y en menores diámetros de fibras (primarias, 55-65-89  $\mu\text{m}$ ; secundarias, 23-28-37  $\mu\text{m}$ ) (Tabla 1). De igual forma, la especie nueva se diferencia de *S. (H.) corallina* y *S. (H.) purpurea* en que las fibras pseudoterciarias de estas se encuentran conectadas a una membrana dermal y no a fibras primarias o secundarias (Kim y Sim, 2009). Con respecto a las especies de Nueva Zelanda presentadas en Cook y Bergquist (2001), la nueva especie es semejante en la arquitectura del esqueleto a *S. (H.) decooki* [misma que *S. (H.) cristata*] y *S. (H.) mokohinau*, pero en la morfología externa se diferencia consistentemente. La morfología externa es un carácter que puede variar en algunas especies de esponjas dependiendo del hábitat; sin embargo, en este caso, la morfología ha sido utilizada para diferenciar las especies de este subgénero (Cook y Bergquist, 2001; Samaai *et al.*, 2019). En el presente trabajo, se utiliza la forma de los ósculos de la especie nueva como un carácter diferenciador, dado que, tanto en el holotipo como en los paratipos, a pesar de ser de distintos hábitats, los ósculos se encuentran como perforaciones de la dermis, por lo que parece ser un carácter consistente.

Esta especie se diferencia de *S. tubulifera* y *S. anclotea*, que también se encuentran en el Caribe colombiano, principalmente por la presencia de fibras pseudoterciarias. Así mismo, sus fibras son de mayor

external morphology differs from this in that the laterally scattered projections are elevated; it does not feature oscula located in discrete raised lobed projections of its surface; the microconules are smaller (0.3-0.8 mm); the maximum diameter of the oscula is greater (3 mm by 2 mm in *S. catarinensis*) and there is no translucent membrane surrounding the opening of the oscula. Regarding the skeleton, near the surface, the new species has reticles formed by pseudo-tertiary fibers that connect with the adjacent primary and secondary fibers. These reticles are absent in *S. catarinensis*. The measurements carried out show that the maximum diameter of the primary and secondary fibers is greater in the new species, while the pseudo-tertiary fibers show great similarity (Table 1). The reticulum of pseudo-tertiary fibers has also been mentioned in other species of the subgenus that have a distant distribution with respect to the new species. Due to the short duration of sponge larvae, it is highly unlikely that they are (Klautau *et al.*, 1999). *Spongia* (*H.*) *peddemorsi* [equal to *S. cooki* in Samaai *et al.* (2019)], a species from South Africa, also possesses a reticulum of pseudo-tertiary fibers connected with secondary fibers, but it differs from the new species in the presence of a superficial collagen layer and smaller fiber diameters (primary, 55-65-89  $\mu\text{m}$ , secondary 23-28-37  $\mu\text{m}$ ) (Table 1). In the same way, the new species differs from *S. (H.) corallina* and *S. (H.) purpurea* in that their pseudo-tertiary fibers are connected to a dermal membrane and not to primary or secondary fibers (Kim and Sim, 2009). For the New Zealand species presented in Cook and Bergquist (2001), the new species is similar in skeletal architecture to *S. (H.) decooki* [same as *S. (H.) cristata*] and *S. (H.) mokohinau*, but in external morphology, it differs consistently. The external morphology is a character that can vary in some species of sponges depending on the habitat. However, in this case, morphology has been used to differentiate the species of this subgenus (Cook and Bergquist, 2001; Samaai *et al.*, 2019). In the present work, the shape of the oscula of the new species is used as a differentiating character, since, both in the holotype and in the paratypes, despite being from different habitats, the oscula as perforations of the dermis, so it seems to be a consistent character.

This species differs from *S. tubulifera* and *S. anclotea*, which are also found in the Colombian Caribbean, mainly due to the presence of pseudo-tertiary fibers. Likewise, its fibers are larger in diameter and more irregular in architecture than in *S. tubulifera* and its external morphology does not present the oscular tubules



diámetro y de arquitectura más irregular que en *S. tubulifera* y su morfología externa no presenta los túbulos osculares característicos de esta. *Spongia anclotea*, además de presentar fibras de menor diámetro, las tiene muy condensadas, por lo que se llegan a distinguir solo las fibras primarias por las inclusiones de material foráneo. Por último, aunque *H. cavernosa* posee fibras de diámetro pequeño que podrían denominarse como pseudoterciarias, estas son de mayor diámetro que las de la nueva especie. Las fibras primarias están a mayor distancia entre ellas y se encuentran, a menudo, libres de inclusiones. También, *H. cavernosa* posee espacios subdermales profundos que están ausentes en la nueva especie.

## AGRADECIMIENTOS

Al profesor Sven Zea (Universidad Nacional de Colombia sede Caribe) por su enseñanza en la taxonomía de esponjas, al estudiante Farid Paternina por su ayuda en el trabajo de laboratorio, a los estudiantes Juan Tovar y Erwin Sequeda por su ayuda en el trabajo de campo y a la Escuela de Infantería de Marina de Colombia por permitir la realización de algunas salidas de campo.

characteristic of this. *Spongia anclotea*, in addition to having smaller diameter fibers, is highly condensed, so that only the primary fibers can be distinguished by cored of foreign material. Finally, although *H. cavernosa* has small diameter fibers that could be called pseudo-tertiary, these are larger in diameter than those of the new species. The primary fibers are at a greater distance from each other and are often uncored. Also, *H. cavernosa* has deep subdermal spaces that are absent in the new species.

## ACKNOWLEDGEMENT

Special thanks to Professor Sven Zea (Universidad Nacional de Colombia, Caribbean headquarters) for his teaching on sponge taxonomy, to the student Farid Paternina for his help in the laboratory work, to the students Juan Tovar and Erwin Sequeda for their help in the fieldwork, and to the Colombian Marine Infantry School for allowing some field trips to be carried out.

## BIBLIOGRAFÍA/LITERATURE CITED

- Cook, S. and P.R. Bergquist. 2001. New species of *Spongia* (Porifera: Demospongiae: Dictyoceratida) from New Zealand, and a proposed subgeneric structure. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.*, 35: 33-58. <https://doi.org/10.1080/00288330.2001.9516977>
- Cook, S. and P.R. Bergquist. 2002. Family Spongiidae: 1051-1060. In: Hooper, J. and R. Van Soest (Eds.). *Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 1763 p.
- De Laubenfels, M.W. and J.F. Storr. 1958. The taxonomy of American commercial sponges. *Bull. Mar. Sci. Gulf Carib.*, 8(2): 99-117.
- Duchassaing de Fonbressin, P. and G. Michelotti. 1864. Spongiaires de la mer Caraïbe. *Natuurkundige verhandelingen van de Hollandsche maatschappij der wetenschappen te Haarlem*, 21(2): 1-124.
- Ellis, J. and D. Solander. 1786. The natural history of many curious and uncommon zoophytes, collected from various parts of the globe. Systematically arranged and described. Benjamin White & Son, London. 206 p.
- Gray, J.E. 1867. Notes on the arrangement of sponges, with the descriptions of some new genera. *Proc. Zool. Soc. London*, 1867(2): 492-558.
- Hooper, J.N. and R.W. Van Soest. 2002. *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Springer US, Boston. 1708 p.
- Hyatt, A. 1877. Revision of the North American Poriferae; with remarks upon foreign species. Part II. *Mem. Boston Soc. Nat. Hist.*, 2: 481-554.
- Kim, H.R. and C.J. Sim. 2009. Two new *Spongia* species (Dictyoceratida: Spongiidae) from Korea. *Anim. Cells. Syst.*, 13(2): 141-145. <https://doi.org/10.1080/19768354.2009.9647205>

- Klautau, M., C.A. Russo, C. Lazoski, N. Boury-Esnault, J.P. Thorpe, and A.M. Solé-Cava. 1999. Does cosmopolitanism result from overconservative systematics? A case study using the marine sponge *Chondrilla nucula*. *Evolution*, 53(5): 1414-1422. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1999.tb05406.x>.
- Lamarck, J.B. 1813-1814. Sur les polypiers empâtés. *Ann. Mus. Nat. Hist. nat.*, 20: 294-312; 370-386; 432-458.
- Lamarck, J.B. 1816. Histoire naturelle des animaux sans vertèbres. Tome second. Verdière, Libraire, Paris. 568 p.
- Linnaeus, C. 1759. *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus II. Edición décima reformada. Holmiae: impensis direct. Laurentii Salvii.* 1384 p.
- Minchin, E.A. 1900. Chapter III. Sponges. 1-178. In: Lankester, E.R. (Ed.). *A treatise on zoology. Part II. The Porifera and Coelenterata. 2.* Adam & Charles Black, London. 178 p.
- Mothes, B., G.L. Kasper, C. Lerner, M. Campos y J.L. Carraro. 2006. *Spongia (Heterofibria) catarinensis* sp. nov. (Porifera, Spongiidae) no litoral de Santa Catarina, Brasil. *Iheringia Ser. Zool.*, 96(3): 335-338. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212006000300010>
- Muricy, G., D. Lopes, E. Hajdu, M. Carvalho, F. Moraes, M. Klautau, C. Menegola, and U. Pinheiro. 2011. Catalogue of Brazilian Porifera, Museu Nacional do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 299 p.
- Otero, L., J.C. Ortiz-Royero, J.K. Ruiz-Merchán, A.E. Higgins, and S.A. Henríquez. 2016. Storms or cold fronts: what is really responsible for the extreme waves regime in the Colombian Caribbean coastal region? *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.*, 16(2): 391-401. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-391-2016>
- Pallas, P.S. 1766. *Elenchus zoophytorum sistens generum adumbrationes generaliores et specierum cognitarum succinctas descriptiones, cum selectis auctorum synonymis.* Fransiscum Varrentrapp, Hagae. 451 p.
- Samaai, T., R. Pillay, and L. Janson. 2019. Shallow-water Demospongiae (Porifera) from Sodwana Bay, iSimangaliso Wetland Park, South Africa. *Zootaxa*, 4587(1): 1-85. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4587.1.1>
- Samaai, T., R. Pillay, and L. Janson. 2020. Suggestion of *Spongia (Heterofibria) peddemorsi* as replacement name for *Spongia (Heterofibria) cooki* Samaai, Pillay & Janson, 2019. *Zootaxa*, 4728(1): 149-149. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4728.1.9>
- Sollas, W.J. 1885. A classification of the sponges. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 16(95): 395-395.
- Van Soest, R., N. Boury-Esnault, J.N. Hooper, K. Rützler, N.J. de Voogd, J. Álvarez de Glasby, E. Hajdu, A. Pisera, R. Manconi, C. Schoenberg, D. Janussen, K. Tabachnick, M. Klautau, B. Picton, M. Kelly, J. Vacelet, M. Dohrmann, M. Díaz, P. Cárdenas, and J. Carballo. 2019. World Porifera database, *Spongia* Linnaeus, 1759. <http://www.marinespecies.org/porifera/porifera.php?p=taxdetails&id=131759>. 24/04/2018.
- Van Soest, R., J.N. Hooper, and P.J. Butler. 2020. Every sponge its own name: removing Porifera homonyms. *Zootaxa*, 4745(1): 1-93. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4745.1.1>
- Wilson, H.V. 1900-1902. The sponges collected in Porto Rico in 1899 by the U.S. Fish Commission Steamer Fish Hawk. *Bull. U. S. Fish Com.*, 2: 375-411.
- Zea, S. 1987. Esponjas del Caribe colombiano. Catálogo Científico, Bogotá. 286 p.

**RECIBIDO/RECEIVED:** 16/10/2019

**ACEPTADO/ACCEPTED:** 17/08/2020



## Biodiversidad de esponjas en arrecifes rocosos del Chocó norte, Pacífico colombiano

### Biodiversity of sponges in rocky reefs of North Chocó, Colombian Pacific

Nicoll Lizarazo<sup>1,3</sup>, Sven Zea<sup>2\*</sup>, Luis Chasqui<sup>3</sup> y Natalia Rincón-Díaz<sup>3</sup>

0000-0001-6163-7185 0000-0002-5657-4877 0000-0002-9381-2301 0000-0002-4908-4802

1. Programa de Biología Marina, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, sede Caribe, Santa Marta, Colombia. nicollp.lizarazor@utadeo.edu.co
  2. Instituto de Estudios en Ciencias del Mar (Cecimar), Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe, Santa Marta, Colombia. sezeas@unal.edu.co\*
  3. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (Invemar), Santa Marta D.T.H.C., Colombia. luis.chasqui@invemar.org.co., natalia.rincon@invemar.org.co
- \* Autor de correspondencia.

#### RESUMEN

En comparación con otros grupos de invertebrados, la taxonomía de esponjas (Porífera) ha sido poco desarrollada en el Pacífico Oriental Tropical (POT), en general, y en el Pacífico colombiano, en particular. Este trabajo busca incrementar el conocimiento de la biodiversidad del grupo en los arrecifes rocosos del norte del Chocó. Se recolectaron muestras de esponjas mediante buceo autónomo, las cuales fueron procesadas e identificadas en laboratorio por métodos estándar. Se confirmó la baja riqueza de especies y la predominancia de morfologías incrustantes y hábitos crípticos, que ha sido encontrada en otros estudios en la región. Se identificaron 24 morfotipos pertenecientes a 13 órdenes, 17 familias y 21 géneros. Doce (12) morfotipos se reconocieron a nivel de género o con identidad específica tentativa y los otros 12 fueron confirmados a nivel de especie. Seis (6) especies son morfológicamente similares a las del Caribe, lo que indica que las poblaciones posiblemente no han divergido lo suficiente desde el cierre del istmo de Panamá o, alternativamente, pueden haber cruzado recientemente el canal de Panamá.

**PALABRAS CLAVE:** biodiversidad de esponjas, Demospongiae, arrecifes rocosos del Pacífico, Pacífico colombiano, Pacífico Oriental Tropical.

#### ABSTRACT

Compared to other groups of invertebrates, sponge (Porifera) taxonomy has been poorly developed in the Eastern Tropical Pacific (ETP) in general and in the Colombian Pacific in particular. This work aims to increase knowledge of the group's biodiversity in the rocky reefs of northern Chocó. Sponge samples were collected by autonomous diving, which were then processed and identified in the laboratory by standard methods. It was confirmed the low species richness and the predominance of encrusting morphologies and cryptic habits, which have been found in other studies in the region. Twenty-four (24) morphotypes belonging to 13 orders, 17 families and 21 genera were identified. Twelve (12) morphotypes were recognized at the genus level or with a tentative specific identity and the other 12 were confirmed at the species level. Six (6) species are morphologically similar to those of the Caribbean, indicating that populations may not have diverged sufficiently since the closure of the Isthmus of Panama or, alternatively, may have recently crossed the Panama Canal.

**KEYWORDS:** sponges' biodiversity, Demospongiae, Pacific rocky reefs, Colombian Pacific, Eastern Tropical Pacific.



## INTRODUCCIÓN

En la costa norte del departamento del Chocó (Pacífico colombiano), se destacan formaciones rocosas conocidas como riscales y morros, que son arrecifes rocosos sumergidos y pequeños islotes, respectivamente (Guzmán *et al.*, 2004). Estas formaciones compuestas por rocas ígneas basálticas máficas y ultramáficas tienen diferentes niveles de complejidad topográfica, moldeada por siglos de exposición a factores de erosión marina que han creado paredes rocosas y cúmulos de grandes rocas con grietas y cuevas de tamaño variable. Los riscales y morros proveen sustrato duro para el asentamiento de biota bentónica como corales blandos, algas y esponjas, así como refugio a una amplia variedad de invertebrados móviles y peces (Velandia y Díaz, 2016).

Entre la biota característica de esas formaciones rocosas, las esponjas (Porifera) están entre los más conspicuos e importantes organismos bentónicos sésiles. Son filtradores que incorporan al fondo materia orgánica particulada y disuelta de la columna de agua que luego, por medio de un proceso de regeneración celular, devuelven en forma de nutrientes inorgánicos y detritus particulado al medio (Goeij *et al.*, 2008, 2013). En el Caribe y en mares del océano Índico Occidental e Indonesia, las esponjas son los organismos más conspicuos y diversos en las aguas costeras, después de los corales y las algas, ya que pueden encontrarse en diferentes hábitats como raíces de manglar, arrecifes de coral y fondos blandos, entre otros (Zea, 1987, 1998; Van Soest, 1994; Hooper *et al.*, 2002). En comparación con otros grupos taxonómicos de invertebrados, el estudio sistemático de las esponjas está poco desarrollado a raíz de la escasez de taxónomos especializados, la dificultad para identificar las especies, la ambigüedad de las características y lo disperso de la literatura (Hooper *et al.*, 2002). No obstante, la popularización del buceo autónomo, el desarrollo de la fotografía submarina y la implementación de técnicas histológicas y moleculares han ayudado a paliar el problema (Worheide *et al.*, 2005; Cárdenas *et al.*, 2012).

Aunque esto ha permitido aumentar el inventario de la biodiversidad del grupo en las últimas décadas, se cree que el número de especies válidas descritas corresponde, como mucho, a la mitad de las especies existentes (Van Soest *et al.*, 2012). Es importante entonces continuar realizando esfuerzos para consolidar el inventario de la biodiversidad global de poríferos, especialmente en regiones menos exploradas como el Pacífico Oriental y, en particular, en la costa Pacífica de Colombia.

## INTRODUCTION

On the north coast of the Chocó department (Colombian Pacific), there are rock formations known as riscales and morros, which are submerged rocky reefs and small islets or cays, respectively (Guzmán *et al.*, 2004). These formations are composed of mafic and ultramafic basaltic igneous rocks having different levels of topographic complexity, shaped by centuries of exposure to marine erosion factors that have created rock faces and large rock clusters with cracks and caves of varying size. The cliffs and hills provide hard substratum for the settlement of benthic biotas such as soft corals, algae, and sponges, as well as shelter for a wide variety of mobile invertebrates and fish (Velandia and Díaz, 2016).

Among the characteristic biota of these rock formations, sponges (Porifera) are among the most conspicuous and important sessile benthic organisms. They are filter feeders that incorporate particulate and dissolved organic matter from the water column to the bottom, which then, through a process of cellular regeneration, return in the form of inorganic nutrients and particulate detritus to the environment (Goeij *et al.*, 2008, 2013). In the Caribbean and the seas of the Western Indian Ocean and Indonesia, sponges are the most conspicuous and diverse organisms in coastal waters, after corals and algae, as they can be found in different habitats such as mangrove roots, coral reefs, and soft bottoms, among others (Zea, 1987, 1998; Van Soest, 1994; Hooper *et al.*, 2002). In comparison with other taxonomic groups of invertebrates, the systematic study of sponges is underdeveloped due to the scarcity of specialized taxonomists, the difficulty of identifying the species, the ambiguity of the characters, and the dispersion of the literature (Hooper *et al.*, 2002). However, the popularization of autonomous diving, the development of underwater photography, and the implementation of histological and molecular techniques have helped in alleviating the problem (Worheide *et al.*, 2005; Cárdenas *et al.*, 2012).

Although this has made it possible to increase the group's biodiversity inventory in recent decades, it is believed that the number of valid species described corresponds, at most, to half of the existing species (Van Soest *et al.*, 2012). It is therefore important to continue making efforts to consolidate the inventory of global Poriferan biodiversity, especially in less explored regions such as the Eastern Pacific and, in particular, on the Pacific coast of Colombia.



Las primeras descripciones de esponjas en la costa Pacífica americana se realizaron a partir de material obtenido desde buques de investigación como la expedición Challenger, donde Ridley y Dendy (1887) describieron 23 especies de esponjas monoaxónicas para el sur de Chile y la Patagonia. Posteriormente, Vosmaer y Vernhout (1902) estudiaron seis especies del género *Placospongia* recolectadas en América Central y del Sur por la expedición Siboga, y von Lendenfeld (1910) describió 46 especies de la familia Geodidae recolectadas por el barco Albatross. En el siglo XX se comenzaron a desarrollar estudios locales más exhaustivos. De Laubenfels (1932) describió 101 especies marinas y de agua dulce de California y De Laubenfels (1935) añadió ocho nuevas especies de aguas someras de Baja California, México. Green y Gómez (1986) registraron 14 especies de esponjas en la bahía de Mazatlán (Sinaloa, México), siendo ese el primer trabajo para la costa rocosa del Pacífico tropical. Desqueyroux-Faúndez y Van Soest (1997) describieron 45 especies de esponjas de aguas poco profundas en las islas Galápagos, Van Soest y Hajdu (2000) describieron seis especies de esponjas de la costa Pacífica de Panamá y Díaz *et al.* (2005) describieron una nueva especie de esponja de aguas someras en el golfo de Chiriquí en Panamá.

Recientemente, los trabajos se han concentrado en la costa Pacífica mexicana. Por ejemplo, Carballo *et al.* (2004) elaboraron un completo estudio de las esponjas excavadoras de coral, y Carballo y Cruz-Barraza (2008) registraron una nueva especie para el Parque Nacional Isla Isabel en el mar de Cortés. Luego, Vega (2012) registró 88 especies de esponjas en el Pacífico mexicano, de las cuales 18 fueron nuevos registros y posiblemente 33 son especies nuevas para la ciencia. El más reciente trabajo es el de Carballo *et al.* (2019), que incluye 87 especies de esponjas asociadas a arrecifes de coral a lo largo del Pacífico mexicano.

Por otra parte, algunos trabajos han abordado la cuestión de la similitud en las especies de esponjas a ambos lados del istmo de Panamá, un tema de gran interés en el contexto evolutivo de la fauna marina del Caribe y del Pacífico Oriental Tropical (POT). Por ejemplo, De Laubenfels (1936b) efectuó una comparación entre esponjas de aguas poco profundas en el lado Pacífico del canal de Panamá con las del lado Caribe y encontró características morfológicas diferenciables, trabajo corroborado posteriormente por Wulff (1996).

Para el Pacífico colombiano solo se conocen tres trabajos no publicados que, en suma, han registrado 33 especies de esponjas (Narváez, 1999; Escobar, 2000; García-

The first descriptions of sponges on the American Pacific coast were made from the material obtained from research vessels such as the Challenger expedition, where Ridley and Dendy (1887) described 23 species of monoaxonic sponges for southern Chile and Patagonia. Subsequently, Vosmaer and Vernhout (1902) studied six species of the genus *Placospongia* collected in Central and South America by the Siboga expedition, and von Lendenfeld (1910) described 46 species of the Geodidae family collected by the ship Albatross. In the 20th century, more exhaustive local studies were developed. De Laubenfels (1932) described 101 freshwater and marine species from California and De Laubenfels (1935) added eight new shallow-water species from Baja California, Mexico. Green and Gómez (1986) recorded 14 species of sponges in the Bay of Mazatlán (Sinaloa, Mexico), this being the first work for the rocky coast of the tropical Pacific. Desqueyroux-Faúndez and Van Soest (1997) described 45 species of sponges from shallow waters in the Galapagos Islands, Van Soest and Hajdu (2000) described six species of sponges from the Pacific coast of Panama, and Díaz *et al.* (2005) described a new species of shallow-water sponge in the Gulf of Chiriquí in Panama.

Recently, work has focused on the Mexican Pacific coast. For example, Carballo *et al.* (2004) carried out a complete study of coral burrowing sponges, and Carballo and Cruz-Barraza (2008) recorded a new species for Isla Isabel National Park in the Sea of Cortez. Later, Vega (2012) recorded 88 species of sponges in the Mexican Pacific, of which 18 were new records and possibly 33 are species new to science. The most recent work is that of Carballo *et al.* (2019), which includes 87 species of sponges associated with coral reefs throughout the Mexican Pacific.

On the other hand, some studies have addressed the question of the similarity in the sponge species on both sides of the Isthmus of Panama, a topic of great interest in the evolutionary context of the marine fauna of the Caribbean and the Eastern Tropical Pacific (ETP). For example, De Laubenfels (1936b) made a comparison between shallow-water sponges on the Pacific side of the Panama Canal with those on the Caribbean side and found differentiable morphological characteristics, a work subsequently corroborated by Wulff (1996).

For the Colombian Pacific, only three unpublished works are known that, in sum, have recorded 33 species of sponges (Narváez, 1999; Escobar, 2000; García-Suárez *et al.*, 2012). These studies have focused on the southern

Suárez *et al.*, 2012). Esos trabajos se han enfocado en la porción sur del Pacífico colombiano y, principalmente, en esponjas asociadas a ecosistemas coralinos. Considerando estos antecedentes, el presente estudio busca contribuir al conocimiento de la biodiversidad de esponjas del Pacífico colombiano y del POT en general, con énfasis en las esponjas asociadas a los arrecifes rocosos de la porción norte del Chocó.

## ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el Pacífico norte colombiano, entre cabo Corrientes (5° 29' N, 77° 32' W) y cabo Marzo (6° 49' N, 77° 41' W). En esta área, el fondo marino se caracteriza por una plataforma continental de extensión variable, estrecha y empinada frente a los cabos y ancha y tendida en los golfos. Esta topografía submarina es el resultado de la interacción entre una abundante escorrentía terrestre y las fuerzas erosivas marinas que han actuado por siglos en antiguas costas rocosas de origen ígneo, asociadas a la formación de la serranía del Baudó (Posada *et al.*, 2009).

En ese fondo marino más bien quebrado hay docenas de arrecifes rocosos, conocidos localmente como “morros” y “riscales”, los cuales surgen de profundidades variables y a diferentes distancias de la costa. En esas formaciones rocosas, compuestas de rocas ígneas basálticas máficas y ultramáficas, se observan diferentes niveles de complejidad topográfica; pero, en su mayoría, consisten en paredes rocosas y grupos de grandes rocas con cuevas y agujeros de tamaño variable. Estas estructuras sumergidas ofrecen un sustrato duro ideal para el asentamiento de fauna y flora bentónicas (*v. g.* corales blandos, esponjas, algas erectas e incrustantes, tunicados y briozoos, entre otros), así como refugio para centenares de invertebrados vágiles y peces, lo que hace de estos sitios importantes caladeros de pesca artesanal (Velandia y Díaz, 2016). El esfuerzo de muestreo se concentró en los arrecifes rocosos someros de los sectores de cabo Corrientes, golfo de Tribugá, bahía Solano, bahía Cupica, Punta Cruces y cabo Marzo (Figura 1).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante una expedición realizada en 2015 se evaluaron 14 estaciones de muestreo entre 11-19 m de profundidad, donde se fotografiaron todas las esponjas presentes y se recolectaron especímenes completos o fragmentos que se fijaron en etanol al 96 %. En el laboratorio se realizaron montajes permanentes de espículas limpias

portion of the Colombian Pacific and, mainly, on sponges associated with coral ecosystems. Considering these antecedents, this study seeks to contribute to the knowledge of the biodiversity of sponges of the Colombian Pacific and the ETP in general, with emphasis on the sponges associated with the rocky reefs of the northern portion of the Chocó.

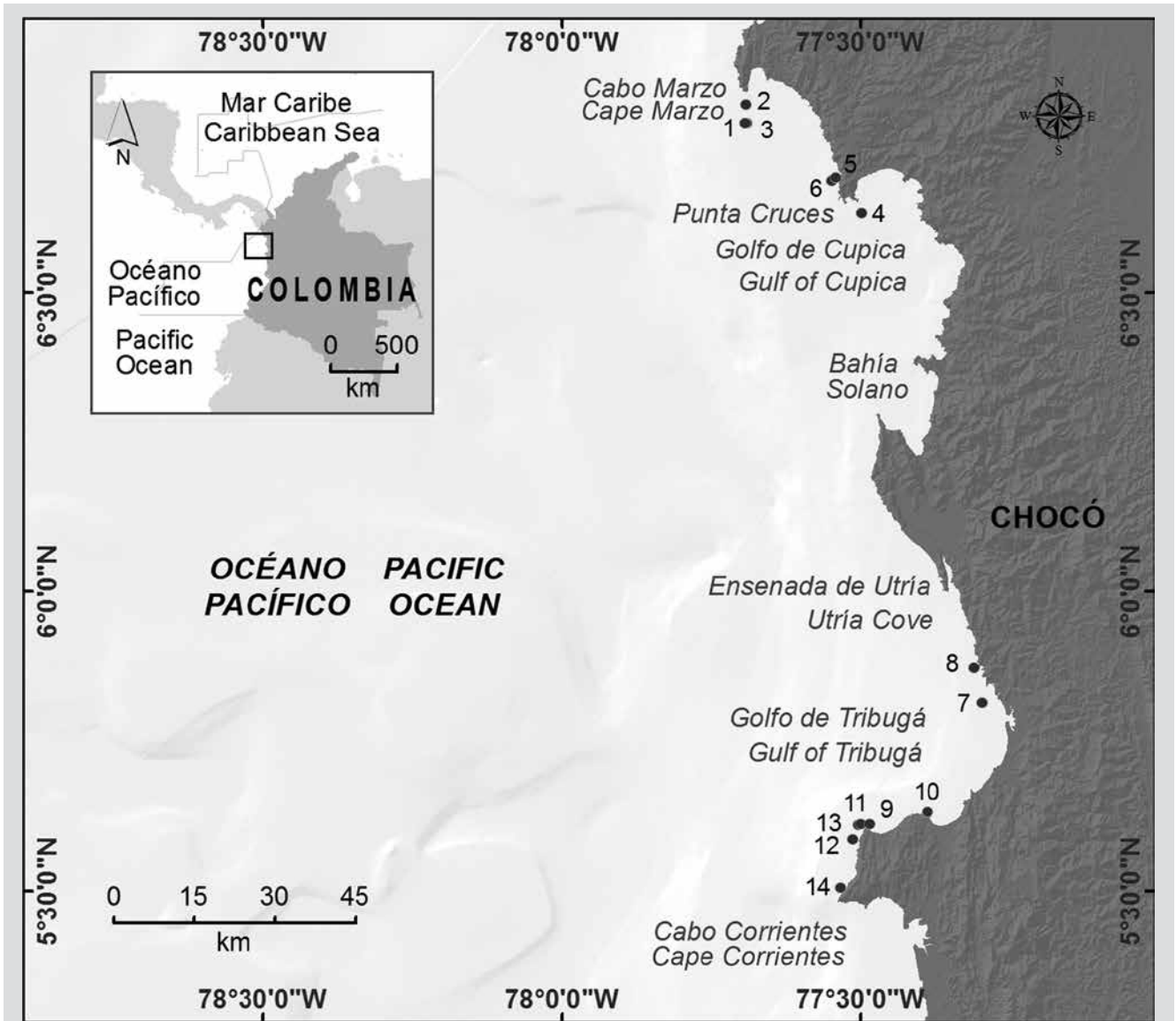
## STUDY AREA

The study was carried out in Colombian North Pacific, between Cape Corrientes (5°29' N, 77°32' W) and Cape Marzo (6° 49' N, 77°41' W). In this area, the seabed is characterized by a continental shelf of variable extension, narrow and steep in front of the headlands and wide and lying in the gulfs. This underwater topography is the result of the interaction between an abundant land runoff and marine erosive forces that have acted for centuries on ancient rocky coasts of igneous origin, associated with the formation of the Baudo mountain range (Posada *et al.*, 2009).

In this rather broken seabed there are dozens of rocky reefs, known locally as “morros” and “riscales”, which arise from variable depths and at different distances from the coast. In these rock formations, composed of mafic and ultramafic igneous basalt rocks, different levels of topographic complexity are observed; but, for the most part, they consist of rocky walls and groups of large rocks with caves and holes of varying size. These submerged structures offer an ideal hard substratum for the settlement of benthic fauna and flora (*e.g.* soft corals, sponges, erect and encrusting algae, tunicates and bryozoans, among others), as well as shelter for hundreds of fragile invertebrates and fish, which makes these important artisanal fishing grounds (Velandia and Díaz, 2016). The sampling effort was concentrated on the shallow rocky reefs in the sectors of Cape Corrientes, Gulf of Tribugá, Solano Bay, Cupica Bay, Punta Cruces and Cape Marzo (Figure 1).

## MATERIALS AND METHODS

During an expedition carried out in 2015, 14 sampling stations between 11-19 m depth were evaluated, where all the sponges present were photographed and complete specimens or fragments were collected that were fixed in 96 % ethanol. Permanent mounts of clean spicules and skeletons were made in the laboratory, as described in Zea (1987), which were observed and photographed using an optical microscope (Zeiss, Axio Lab. A1). Up to



**Figura 1.** Área de estudio en el sector norte del departamento del Chocó (Pacífico colombiano). Las localidades de muestreo están numeradas: **1)** Piedra de Rodrigo (6° 47' 2,07" N, 77° 41' 36,6" W). **2)** Piedra de Eroito (6° 48' 52,84" N, 77° 41' 32,99" W). **3)** La Foca (6° 40' 42,7044" N, 77° 41' 42,71" W). **4)** La Viuda (6° 37' 58,872" N, 77° 29' 58,92" W). **5)** La Mina (6° 41' 11,76" N, 77° 32' 57,48" W). **6)** La Parguera-Piñas (6° 41' 30,084" N, 77° 32' 29,76" W). **7)** Morros de Jurubidá (5° 48' 47,16" N, 77° 17' 49,56" W). **8)** Morromico Norte (5° 48' 47,16" N, 77° 17' 49,56" W). **9)** Punta Arusí (5° 36' 39,996" N, 77° 29' 6,36" W). **10)** Punta Orión (5° 37' 50,664" N, 77° 23' 18,59" W). **11)** Piedra de Jairo (5° 36' 36,04" N, 77° 30' 2,52" W). **12)** Roñosa (5° 35' 6,22" N, 77° 30' 50,76" W). **13)** Parguera-Corrientes (5° 36' 35,60" N, 77° 30' 14,76" W). **14)** Piedra de Colo (5° 30' 43,87" N, 77° 32' 1,32" W).

**Figure 1.** Study area in the northern sector of the department of Chocó (Colombian Pacific). The sampling locations are numbered: **1)** Piedra de Rodrigo (6° 47' 2.07" N, 77° 41' 36.6" W). **2)** Piedra de Eroito (6° 48' 52.84" N, 77° 41' 32.99" W). **3)** La Foca (6° 40' 42.7044" N, 77° 41' 42.71" W). **4)** La Viuda (6° 37' 58.872" N, 77° 29' 58.92" W). **5)** La Mina (6° 41' 11.76" N, 77° 32' 57.48" W). **6)** La Parguera-Piñas (6° 41' 30.084" N, 77° 32' 29.76" W). **7)** Morros de Jurubidá (5° 48' 47.16" N, 77° 17' 49.56" W). **8)** Morromico Norte (5° 48' 47.16" N, 77° 17' 49.56" W). **9)** Punta Arusí (5° 36' 39.996" N, 77° 29' 6.36" W). **10)** Punta Orión (5° 37' 50.664" N, 77° 23' 18.59" W). **11)** Piedra de Jairo (5° 36' 36.04" N, 77° 30' 2.52" W). **12)** Roñosa (5° 35' 6.22" N, 77° 30' 50.76" W). **13)** Parguera-Corrientes (5° 36' 35.60" N, 77° 30' 14.76" W). **14)** Piedra de Colo (5° 30' 43.87" N, 77° 32' 1.32" W).

y esqueletos, como se describe en Zea (1987), los cuales se observaron y fotografiaron empleando un microscopio óptico (Zeiss, Axio Lab. A1). Se midieron hasta 25 espículas de cada clase y las estructuras del esqueleto más relevantes. Las medidas de las espículas se presentan como mínimo-promedio-máximo de largo por ancho en  $\mu\text{m}$ . Las

25 spicules of each class and the most relevant skeletal structures were measured. Spicule measurements are presented as minimum-average-maximum length x width in  $\mu\text{m}$ . The identifications were carried out by consulting the keys of the Systema Porifera (Hooper *et al.*, 2002) and the descriptions of materials from the Pacific, especially

identificaciones se llevaron a cabo consultando las claves del Systema Porifera (Hooper *et al.*, 2002) y las descripciones de material del Pacífico, especialmente del Pacífico Oriental, con la ayuda de las listas de especies del World Porifera Database (<http://www.marinespecies.org/porifera>; Van Soest *et al.*, 2018). El material estudiado se depositó en la colección de esponjas (siglas INV POR) del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) del Invemar mientras que la información se ingresó en las bases de datos del Sistema de Información en Biodiversidad Marina de Colombia (SIBM).

## RESULTADOS

Se identificaron 24 especies de 13 órdenes, 17 familias y 21 géneros, de las cuales 21 son nuevos registros para el Pacífico colombiano (\*). Doce (12) especies/morfotipos quedaron identificados a nivel de género o con una asignación tentativa a nivel de especie. En la Tabla 1 se presenta la lista de especies y, a continuación, se adelanta la descripción de cada una.

**Tabla 1.** Lista de especies de esponjas en el Pacífico norte colombiano, agrupadas por orden. En negrita se indican las especies que tienen una contraparte morfológicamente similar en el Caribe.

the Eastern Pacific, with the help of the species lists from the World Porifera Database (<http://www.marinespecies.org/porifera>; Van Soest *et al.*, 2018). The material studied was deposited in the sponge collection (acronym INV POR) of the Museum of Marine Natural History of Colombia (MHNMC) of Invemar while the information was entered in the databases of the Information System on Marine Biodiversity of Colombia (SIBM).

## RESULTS

24 species of 13 orders, 17 families, and 21 genera were identified, of which 21 are new records for the Colombian Pacific (\*). Twelve (12) species/morphotypes were identified at the genus level or with a tentative assignment at the species level. In Table 1 the list of species is presented and the description of each one is given below.

**Table 1.** List of sponge species in the Colombian North Pacific, grouped by order. Species that have a morphologically similar counterpart in the Caribbean are indicated in bold.

Orden/Order	Especie/Species
AGELASIDA	1. <b><i>Prosuberites aff. laughlini</i></b> (Díaz, Álvarez y Van Soest, 1987)
AXINELLIDA	2. <i>Axinella nayaritensis</i> * Carballo, Bautista-Guerrero, Cruz-Barraza, 2018
	3. <i>Dragmacidon</i> sp.*
BUBARIDA	4. <b><i>Desmanthus levii</i></b> * Van Soest y Hajdu, 2000
	5. <i>Acanthella</i> sp.*
CLIONAIDA	6. <b><i>Placospongia aff. intermedia</i></b> * Bowerbank, 1862
HAPLOSCLERIDA	7. <i>Chalinula nematifera</i> * De Laubenfels, 1954
POECILOSCLERIDA	8. <i>Crambe panamensis</i> * Maldonado, Carmona, Van Soest y Pomponi, 2001
	9. <i>Discorhabdella littoralis</i> * Maldonado, Carmona, Van Soest y Pomponi, 2001
	10. <i>Clathria (Microciona)</i> sp.*
SCOPALINIDA	11. <b><i>Scopalina aff. ruetzleri</i></b> * (Wiedenmayer, 1977)
	12. <i>Scopalina</i> sp. 2*
SUBERITIDA	13. <i>Axinyssa isabela</i> * Carballo y Cruz-Barraza, 2008
	14. <i>Epipolasis</i> sp.*
	15. <i>Terpios</i> sp.*
TETRACTINELLIDA	16. <i>Geodia media</i> * Bowerbank, 1873
DENDROCERATIDA	17. <i>Aplysilla</i> sp.*
	18. <b><i>Chelonaplysilla violacea</i></b> * (Lendenfeld, 1883) <i>sensu</i> Gómez, Carballo, Vázquez y Cruz, 2002
DICTYOCERATIDA	19. <i>Scalarispongia similis</i> (Thiele, 1905)
CHONDROSIIDA	20. <i>Chondrosia tenochca</i> * Carballo, Gómez, Cruz-Barraza y Flores-Sánchez, 2003
VERONGIIDA	21. <i>Aplysina chiriquiensis</i> * Díaz, Van Soest, Rützler y Guzmán, 2005
	22. <i>Aplysina gerardogreeni</i> Gómez y Bakus, 1992
	23. <i>Aplysina</i> cf. <i>revillagigedi</i> * Cruz-Barraza, Carballo, Rocha-Olivares, Ehrlich y Hog, 2012
	24. <b><i>Vansoestia</i></b> sp.*





Clase Demospongiae Sollas, 1885

Subclase Heteroscleromorpha Cárdenas, Pérez y Boury-Esnault, 2012

Orden Agelasida Hartman, 1980

Familia Hymerhabdiidae Morrow, Picton, Erpenbeck, Boury-Esnault, Maggs y Allcock, 2012

**Especie 1. *Prosuberites* aff. *laughlini* (Díaz, Álvarez y Van Soest, 1987)**

Figura 2; Lám. 1, figs. 1, 4.

?*Eurypon laughlini* Díaz, Álvarez y Van Soest, 1987: 33, Lám. I-A, fig. 2.

*Eurypon* aff. *laughlini*; Escobar, 2000: 62, figs. 22-23.

*Prosuberites laughlini*; Nichols, 2005: 91, Apéndice A (Especímenes: UCMPWC952 y UCMPWC875).

*Prosuberites* aff. *laughlini*; García-Suárez *et al.* 2012: 21.

**Material estudiado:** INV POR1361, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 13 m, col. L. Chasqui, 16-08-2015. INV POR1375, golfo de Tribugá, Morromico, 11,9 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015. INV POR1389, Punta Cruces, La Viuda, 13-15 m, col. L. Chasqui, 14-08-2015. INV POR1395, Punta Cruces, La Mina, 15 m, col. L. Chasqui, 16-08-2015. INV POR1407, cabo Marzo, Piedra de Rodrigo, 18,5 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015.

**Forma:** revestimiento grueso, ampliamente extendido sobre el sustrato rocoso; superficie corrugada, con espículas erectas que atraviesan la piel; ósculos dispersos con un collar elevado transparente. **Color:** naranja brillante; marrón claro, a veces amarillo pálido en alcohol. **Consistencia:** suave, frágil; hispida al tacto. **Ectosoma:** pinacodermo delgado, atravesado por espículas grandes. **Coanosoma:** tractos erectos o espículas individuales saliendo de la base de fijación, 38-115 µm de grosor, separados 46-230 µm (Figura 2C, 2D). **Espículas:** tiloestilos, 184-568-1221 µm por 5,0-11,0-18,3 µm (Figura 2A, 2B).

**Hábitat:** sustratos rocosos verticales expuestos y en paredes de cuevas.

**Distribución en el Pacífico:** Pacífico de Panamá (Nichols, 2005); isla de Malpelo (García-Suárez *et al.*, 2012); isla Palma en bahía Málaga (Escobar, 2000); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** al revisar las descripciones de Díaz *et al.* (1987) para especímenes del Caribe y de Escobar (2000) para especímenes del Pacífico, se puede hipotetizar que se trata

Class Demospongiae Sollas, 1885

Subclass Heteroscleromorpha Cárdenas, Pérez and Boury-Esnault, 2012

Order Agelasida Hartman, 1980

Family Hymerhabdiidae Morrow, Picton, Erpenbeck, Boury-Esnault, Maggs and Allcock, 2012

**Species 1. *Prosuberites* aff. *laughlini* (Díaz, Álvarez and Van Soest, 1987)**

Figure 2; Plate 1, figs. 1, 4.

?*Eurypon laughlini* Díaz, Álvarez and Van Soest, 1987: 33, Plate I-A, fig. 2.

*Eurypon* aff. *laughlini*; Escobar, 2000: 62, figs. 22-23.

*Prosuberites laughlini*; Nichols, 2005: 91, Appendix A (Specimens: UCMPWC952 and UCMPWC875).

*Prosuberites* aff. *laughlini*; García-Suárez *et al.* 2012: 21.

**Studied material:** INV POR1361, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 13 m, col. L. Chasqui, 08-16-2015. INV POR1375, Gulf of Tribugá, Morromico, 11.9 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015. INV POR1389, Punta Cruces, La Viuda, 13-15 m, col. L. Chasqui, 08-14-2015. INV POR1395, Punta Cruces, La Mina, 15 m, col. L. Chasqui, 08-16-2015. INV POR1407, Cape Marzo, Piedra de Rodrigo, 18.5 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015.

**Shape:** thick encrustation, widely spread on the rocky substratum; corrugated surface, with erect spicules traversing the skin; scattered oscules with a transparent raised collar. **Color:** bright orange; light brown, sometimes pale yellow in alcohol. **Consistency:** soft, fragile; hispid to the touch. **Ectosome:** thin pinacoderm, pierced by large spicules. **Choanosome:** erect tracts or individual spicules emerging from the base of fixation, 38-115 µm thick, separated 46-230 µm (Figure 2C, 2D). **Spicules:** tylostyles, 184-568-1221 µm by 5.0-11.0-18.3 µm (Figure 2A, 2B).

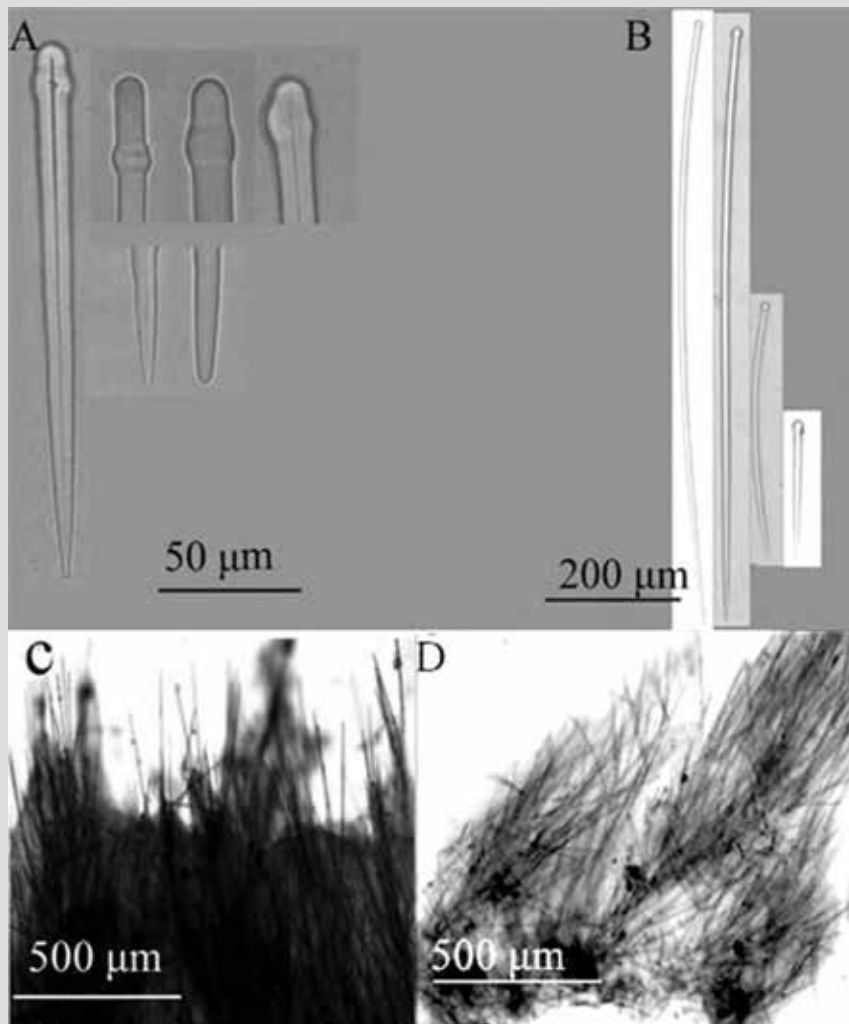
**Habitat:** exposed vertical rock substrata and in cave walls.

**Distribution in the Pacific:** Pacific of Panama (Nichols, 2005); Malpelo Island (García-Suárez *et al.*, 2012); Palma Island in Malaga Bay (Escobar, 2000); Colombian North Pacific.

**Comments:** when reviewing the descriptions by Díaz *et al.* (1987) for specimens from the Caribbean and Escobar (2000) for specimens from the Pacific, it can be hypothesized that these are populations of the same species

de poblaciones de la misma especie que fueron separadas por el levantamiento del istmo de Panamá hace unos tres millones de años. O, alternatively, podría tratarse de una dispersión reciente a través del canal de Panamá. Aunque existen trabajos moleculares con la especie (Nichols, 2005), estos no permiten hacer comparaciones de las poblaciones a ambos lados del istmo (ver también Holmes y Blanch, 2007; Schuster *et al.*, 2015). Deben realizarse estudios más detallados para determinar si hay diferencias morfológicas entre las poblaciones del Pacífico y el Caribe, y de ser diferentes, darle un nombre a la especie del Pacífico. García-Suárez *et al.* (2012) registran *Prosuberites* aff. *laughlini* para la isla Malpelo con base en una fotografía submarina, por lo cual se incluye esa localidad aquí en la distribución de la especie; sin embargo, ese registro debe confirmarse con material biológico.

that were separated by the uplift of the Isthmus of Panama about three million years ago. Alternatively, it could be a recent dispersal through the Panama Canal. Although there are molecular studies with the species (Nichols, 2005), these do not allow comparisons of the populations on both sides of the isthmus (see also Holmes and Blanch, 2007; Schuster *et al.*, 2015). More detailed studies should be carried out to determine if there are morphological differences between the Pacific and Caribbean populations and if different, give the Pacific species a new name. García-Suárez *et al.* (2012) record *Prosuberites* aff. *laughlini* for Malpelo Island based on an underwater photograph, for which that locality is included here in the distribution of the species; however, that record must be confirmed with biological material.



**Figura 2.** *Prosuberites* aff. *laughlini*. A) Tiloestilos con diferentes terminaciones en cabeza y punta. B) Tiloestilos. C) y D) Corte perpendicular mostrando ectosoma y coanosoma.

**Figure 2.** *Prosuberites* aff. *laughlini*. A) Tylostyles with different endings in head and tip. B) Tylostyles. C) and D) Perpendicular section showing ectosome and choanosome.

Orden Axinellida Lévi, 1953

Familia Axinellidae Carter, 1875

**Especie 2. *Axinella nayaritensis* Carballo,  
Bautista-Guerrero y Cruz-Barraza, 2018**

Figura 3; Lám. 1, fig. 2.

*Axinella nayaritensis* Carballo, Bautista-Guerrero y Cruz-Barraza, 2018: 114, figs. 2-3.

**Material estudiado:** INV POR1372, golfo de Tribugá, Punta Orión, 7,8 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015. INV POR1404, cabo Corrientes, La Roñosa, 14,4 m, col. L. Chasqui, 21-08-2015.

**Forma:** erecta, arborescente, 15-30 cm de altura; ramas como dedos, se van estrechando apicalmente; superficie muy irregular y corrugada. **Color:** naranja brillante; amarillo pálido en alcohol. **Consistencia:** firme, poco compresible. **Ectosoma:** pinacodermo sostenido por mechones de espículas del final de los tractos ascendentes. **Coanosoma:** tractos difusos de espículas, 32-139  $\mu\text{m}$  de grosor, separados 46-223  $\mu\text{m}$ , interconectados irregularmente por espículas de forma dispersa. Los tractos ascienden desde la parte central de la rama y divergen hacia la superficie, llegando perpendicularmente a ella (Figura 3D, 3E). **Espículas:** oxeas, 241-362-632  $\mu\text{m}$  por 6,9-11,5-17,5  $\mu\text{m}$  (Figura 3A); estilos I: delgados y rectos, la punta se agudiza gradualmente, 223-307-388  $\mu\text{m}$  por 7,8-12,4-17,8  $\mu\text{m}$  (Figura 3B); estilos II: gruesos y ligeramente doblados a manera de rabdoestilo, 407-518-642  $\mu\text{m}$  por 4,6-9,0-12,3  $\mu\text{m}$  (Figura 3C).

**Hábitat:** en zonas poco expuestas del arrecife rocoso.

**Distribución:** Pacífico tropical mexicano (Carballo *et al.*, 2018), Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** las espículas y la estructura del esqueleto son característicos de las especies arbustivas o ramosas del género *Axinella* Schmidt, 1862. Carballo *et al.* (2018) la describieron como nueva especie para el Pacífico tropical mexicano. Se enviaron fotografías *in vivo* y de material procesado en el laboratorio de los especímenes recolectados en este estudio al profesor J. L. Carballo, quien confirmó la similitud con *A. nayaritensis*.

Order Axinellida Lévi, 1953

Family Axinellidae Carter, 1875

**Species 2. *Axinella nayaritensis* Carballo,  
Bautista-Guerrero and Cruz-Barraza, 2018**

Figure 3; Plate 1, fig. 2.

*Axinella nayaritensis* Carballo, Bautista-Guerrero and Cruz-Barraza, 2018: 114, figs. 2-3.

**Material studied:** INV POR1372, Gulf of Tribugá, Punta Orión, 7.8 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015. INV POR1404, Cape Corrientes, La Roñosa, 14.4 m, col. L. Chasqui, 08-21-2015.

**Shape:** erect, arborescent, 15-30 cm tall; branches like fingers, tapering apically; very uneven and corrugated surface. **Color:** bright orange; pale yellow in alcohol. **Consistency:** firm, not very compressible. **Ectosome:** pinacoderm supported by tufts of spicules from the end of the ascending tracts. **Choanosome:** diffuse tracts of spicules, 32-139  $\mu\text{m}$  thick, separated 46-223  $\mu\text{m}$ , irregularly interconnected by interspersed spicules. The tracts rise from the central part of the branch and diverge towards the surface, arriving perpendicular to it (Figure 3D, 3E). **Spicules:** oxeas, 241-362-632  $\mu\text{m}$  by 6.9-11.5-17.5  $\mu\text{m}$  (Figure 3A); styles I: thin and straight, the tip gradually tapers, 223-307-388  $\mu\text{m}$  by 7.8-12.4-17.8  $\mu\text{m}$  (Figure 3B); styles II: thick and slightly bent like a rhabdostyle, 407-518-642  $\mu\text{m}$  by 4.6-9.0-12.3  $\mu\text{m}$  (Figure 3C).

**Habitat:** in non-exposed areas of the rocky reef.

**Distribution:** Mexican tropical Pacific (Carballo *et al.*, 2018), Colombian North Pacific.

**Comments:** the spicules and the structure of the skeleton are characteristic of bushy or branchy species of the genus *Axinella* Schmidt, 1862. Carballo *et al.* (2018) described it as a new species for the Mexican tropical Pacific. *In vivo* photographs and laboratory-processed material of the specimens collected in this study were sent to Professor J. L. Carballo, who confirmed the similarity to *A. nayaritensis*.

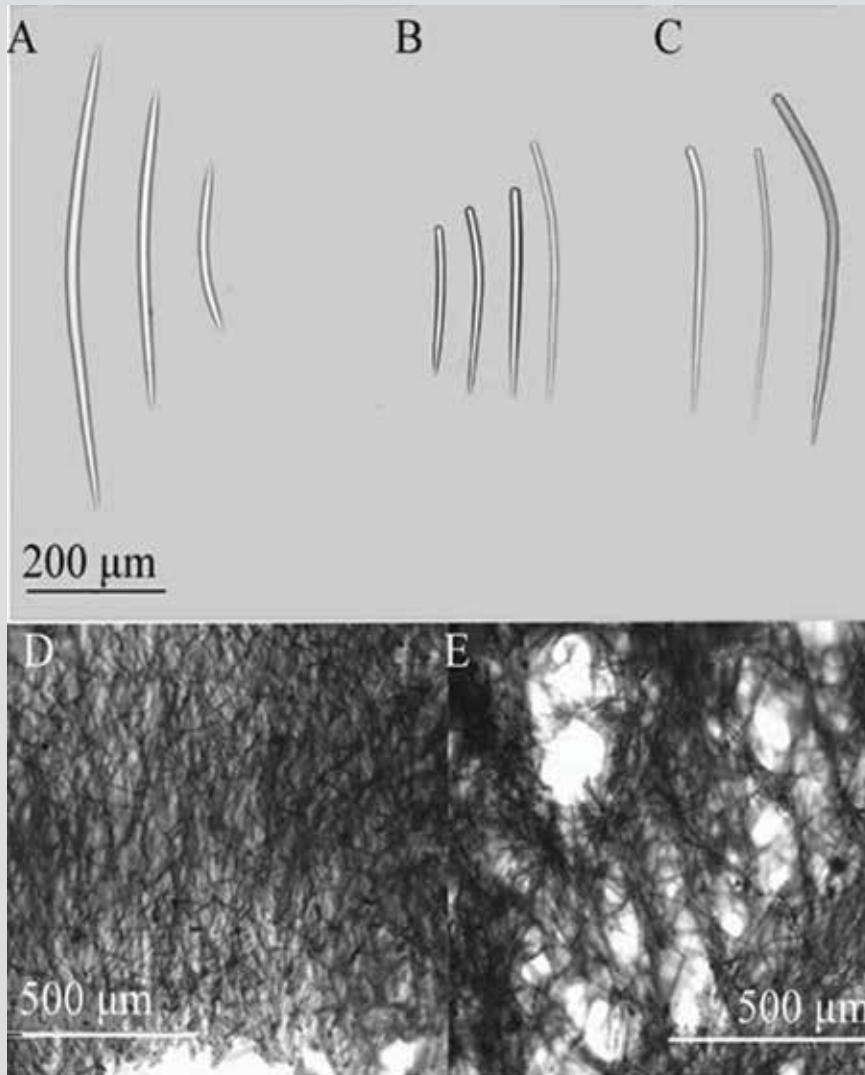


Figura 3. *Axinella nayaritensis*. A) Oxeas. B) Estilos I. C) Estilos II. D) y E) Tractos del coanosoma.

Figure 3. *Axinella nayaritensis*. A) Oxeas. B) Styles I. C) Styles II. D) and E) Choanosome tracts.

**Especie 3. *Dragmacidon* sp.**

Figura 4; Lám. 1, fig. 3.

**Material estudiado:** INV POR1362, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 6 m, col. L. Chasqui, 16-08-2015.

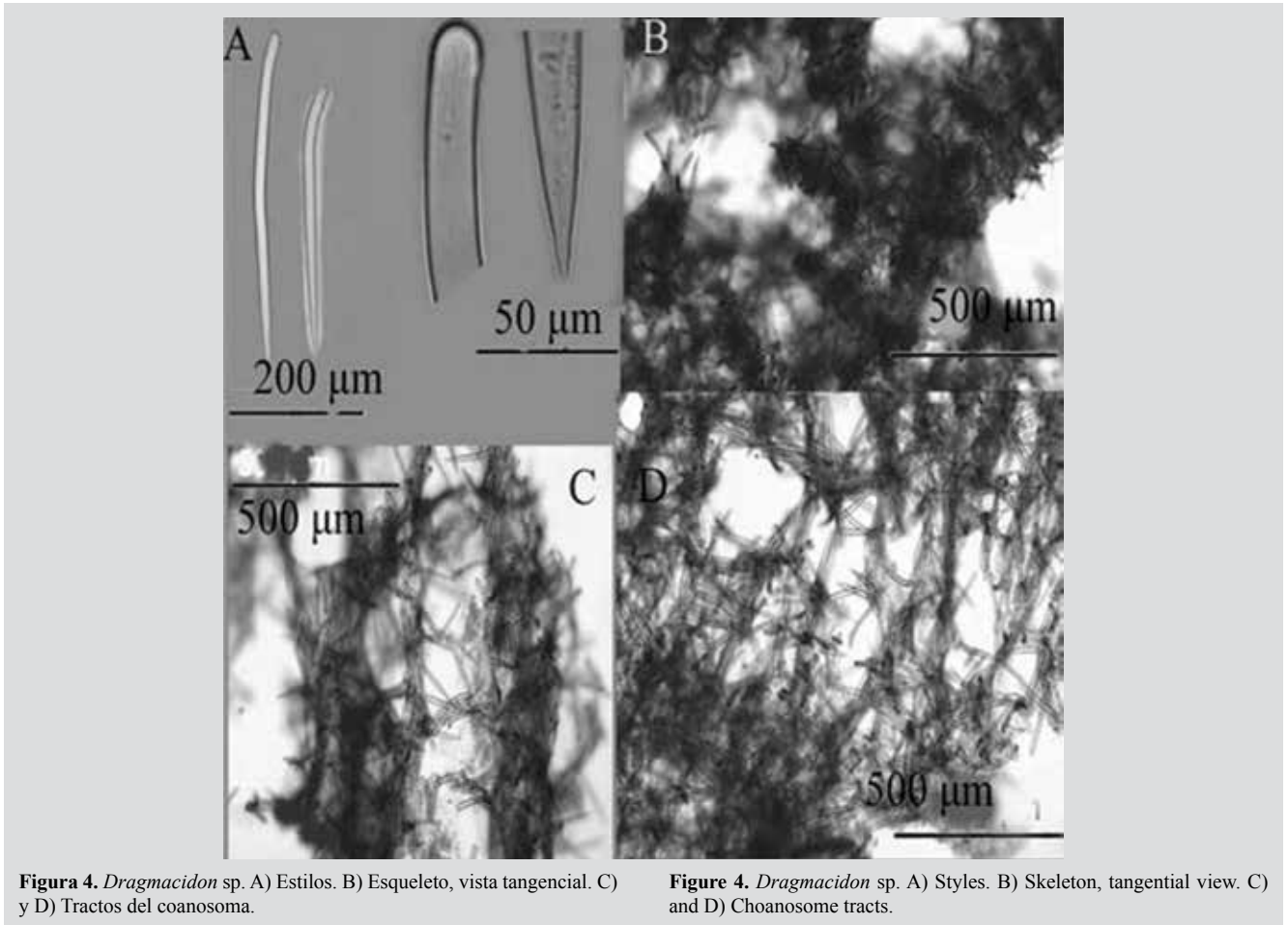
**Forma:** revestimiento grueso (varios mm), 10 × 5 cm; superficie lisa, ósculos dispersos. **Color:** rojo escarlata; amarillo pálido en alcohol. **Consistencia:** firme, poco compresible. **Ectosoma:** pinacodermo orgánico sostenido por mechones de espículas de los tractos ascendentes. **Coanosoma:** red prismática de tractos espiculares plumosos ascendentes y divergentes, 181-549 µm de grosor, separados 74-155 µm, interconectados por tractos transversales, 79-133 µm de grosor (Figura 4C, 4D); ojo de malla 119-255 µm (Figura 4B). **Espículas:** estilos curvos y

**Species 3. *Dragmacidon* sp.**

Figure 4; Plate 1, fig. 3.

**Material studied:** INV POR1362, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 6 m, col. L. Chasqui, 08-16-2015.

**Shape:** thick encrustation (several mm), 10 × 5 cm; smooth surface, scattered oscules. **Color:** scarlet red; pale yellow in alcohol. **Consistency:** firm, not very compressible. **Ectosome:** organic pinacoderm supported by tufts of spicules from the ascending tracts. **Choanosome:** a prismatic network of ascending and divergent plumose spicular tracts, 181-549 µm thick, separated 74-155 µm, interconnected by transverse tracts, 79-133 µm thick (Figure 4C, 4D); mesh size 119-255 µm (Figure 4B). **Spicules:** curved and thick styles, folded in a rhabdostyle fashion, with the head



gruesos, doblados a manera de rabdoestilo, con la cabeza ligeramente pronunciada, 152-302-374  $\mu\text{m}$  por 8,7-18,8-26,1  $\mu\text{m}$  (Figura 4A).

**Hábitat:** arrecife rocoso somero.

**Distribución:** Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** el espécimen se ubicó en este género por la forma de crecimiento, el color y la organización del coanosoma (Álvarez y Hooper, 2002), a pesar de no presentar oxeas. Austin *et al.* (2013) describieron una nueva especie de Columbia Británica y aguas adyacentes en Canadá y la llamaron *Dragmacidon kishinensis*, pero sus características no concuerdan con el material de Colombia. Por esta razón, se debe hacer un estudio más detallado (incluyendo marcadores moleculares) para confirmarla como nueva especie.

slightly pronounced, 152-302-374  $\mu\text{m}$  by 8.7-18.8-26.1  $\mu\text{m}$  (Figure 4A).

**Habitat:** shallow rocky reef.

**Distribution:** Colombian North Pacific.

**Comments:** the specimen was placed in this genus due to its growth form, the color, and the organization of the choanosome (Álvarez and Hooper, 2002), despite not presenting oxeas. Austin *et al.* (2013) described a new species from British Columbia and adjacent waters in Canada and named it *Dragmacidon kishinensis*, but its characteristics do not match material from Colombia. For this reason, a more detailed study (including molecular markers) must be done to confirm it as a new species.



Orden Bubarida Morrow y Cárdenas, 2015

Familia Desmanthidae Topsent, 1893

**Especie 4. *Desmanthus levii* Van Soest y Hajdu, 2000**

Figura 5; Lám. 1, fig. 4.

*Desmanthus levii* Van Soest y Hajdu, 2000: 22, figs. 1F-I.

**Material estudiado:** INV POR1376, golfo de Tribugá, Morromico, 12 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015.

**Forma:** revestimiento delgado recubriendo ampliamente el sustrato; superficie lisa, finamente granulada.

**Color:** naranja rojizo, púrpura opaco en alcohol.

**Consistencia:** indefinida por lo delgada. **Ectosoma:** pinacodermo perforado por estilos largos, erectos, dispuestos entre desmas II. **Coanosoma:** capa basal de desmas I, seguida por una o varias capas de desmas II, con el cladoma predominantemente orientado hacia arriba y el rabdoma hacia abajo; estilos erectos dispersos (Figura 5E).

**Espículas:** estilos lisos, 177-434-846  $\mu\text{m}$  por 4,5-8,5-16,5  $\mu\text{m}$ , rectos o curvados a manera de rabdoestilos (Figura 5A, 5B); desmas I: múltiples ramificaciones delgadas, 56-100-141  $\mu\text{m}$  por 5,2-10,8-18,8  $\mu\text{m}$  (Figura 5D); desmas II (tetracrépidas): rabdomas cónicos, robustos, en forma de zanahoria, 43-72-112  $\mu\text{m}$  por 10,5-20,6-36,7  $\mu\text{m}$ , cladoma 60-93-166  $\mu\text{m}$  por 21-15-10  $\mu\text{m}$  (Figura 5C).

**Hábitat:** paredes de arrecife rocoso en aguas poco profundas.

**Distribución:** costa Pacífica de Panamá (Van Soest y Hajdu, 2000); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** la identificación se realizó con base en el trabajo previo de Van Soest y Hajdu (2000) de la costa Pacífica de Panamá. Es posible que *Desmanthus incrustans* (Topsent, 1889) del Caribe sea una especie hermana de *D. levii* por su similitud en la morfología y estructura espicular; sin embargo, se requieren trabajos comparativos con marcadores moleculares para establecer esa afinidad.

Order Bubarida Morrow and Cárdenas, 2015

Family Desmanthidae Topsent, 1893

**Species 4. *Desmanthus levii* Van Soest and Hajdu, 2000**

Figure 5; Plate 1, fig. 4.

*Desmanthus levii* Van Soest and Hajdu, 2000: 22, figs. 1F-I.

**Studied material:** INV POR1376, Gulf of Tribugá, Morromico, 12 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015.

**Shape:** thin encrustation broadly covering the substratum; smooth, finely grained surface.

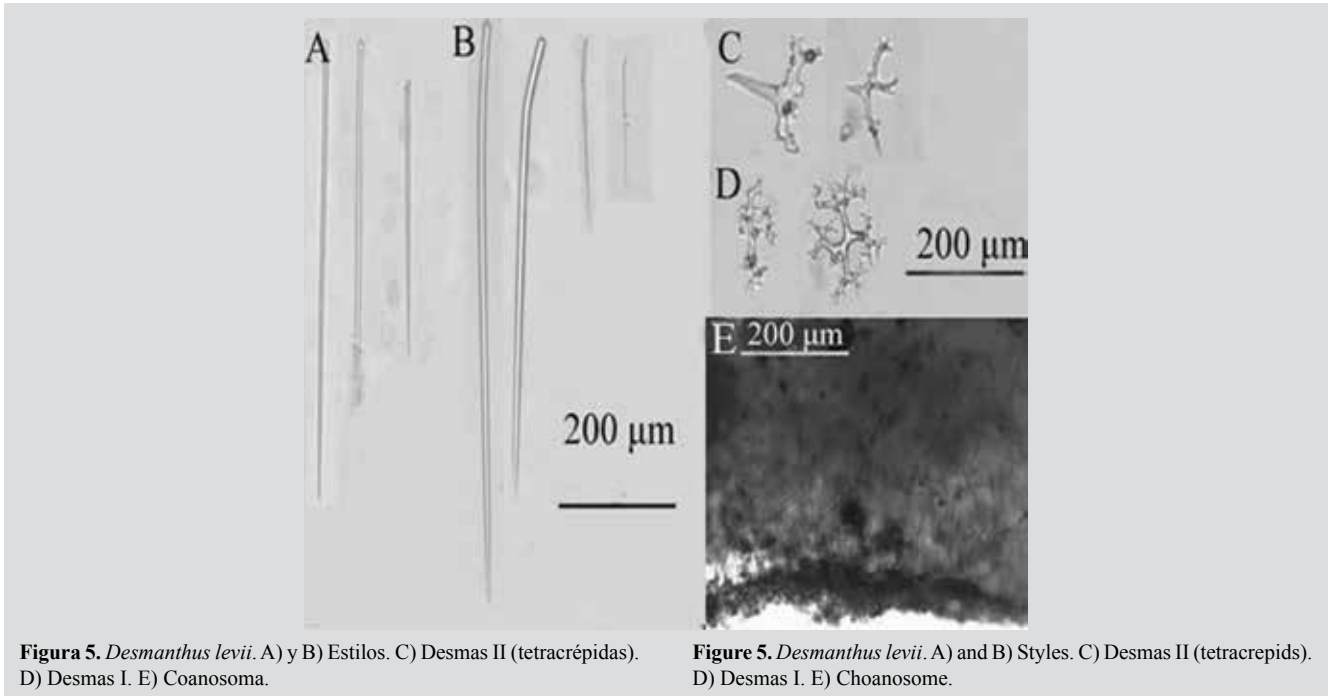
**Color:** reddish-orange, dull purple in alcohol. **Consistency:** undefined from being thin. **Ectosome:** pinacoderm pierced by long, erect styles, arranged between desmas II.

**Choanosome:** a basal layer of desmas I, followed by one or more layers of desmas II, with the cladome predominantly facing upward and the rhabdom downward; scattered erect styles (Figure 5E). **Spicules:** smooth styles, 177-434-846  $\mu\text{m}$  by 4.5-8.5-16.5  $\mu\text{m}$ , straight or curved in a rhabdostyle fashion (Figure 5A, 5B); Desmas I: multiple thin branches, 56-100-141  $\mu\text{m}$  by 5.2-10.8-18.8  $\mu\text{m}$  (Figure 5D); Desmas II (tetracrepids): conical rhabdomes, robust, carrot-shaped, 43-72-112  $\mu\text{m}$  by 10.5-20.6-36.7  $\mu\text{m}$ , cladome 60-93-166  $\mu\text{m}$  by 21-15-10  $\mu\text{m}$  (Figure 5C).

**Habitat:** rocky reef walls in shallow water.

**Distribution:** Pacific coast of Panama (Van Soest and Hajdu, 2000); Colombian North Pacific

**Comments:** the identification was made based on the previous work of Van Soest and Hajdu (2000) of the Pacific coast of Panama. It is possible that *Desmanthus incrustans* (Topsent, 1889) from the Caribbean is a sister species to *D. levii* due to its similarity in morphology and spicular structure; however, comparative work with molecular markers is required to establish this affinity.



**Figura 5.** *Desmanthus levii*. A) y B) Estilos. C) Desmas II (tetracépidas). D) Desmas I. E) Coanosoma.

**Figure 5.** *Desmanthus levii*. A) and B) Styles. C) Desmas II (tetracrepids). D) Desmas I. E) Choanosome.

Familia Dictyonellidae Van Soest, Díaz y Pomponi, 1990

Family Dictyonellidae Van Soest, Díaz and Pomponi, 1990

**Especie 5. *Acanthella* sp.**

**Species 5. *Acanthella* sp.**

Figura 6; Lám. 1, fig. 5.

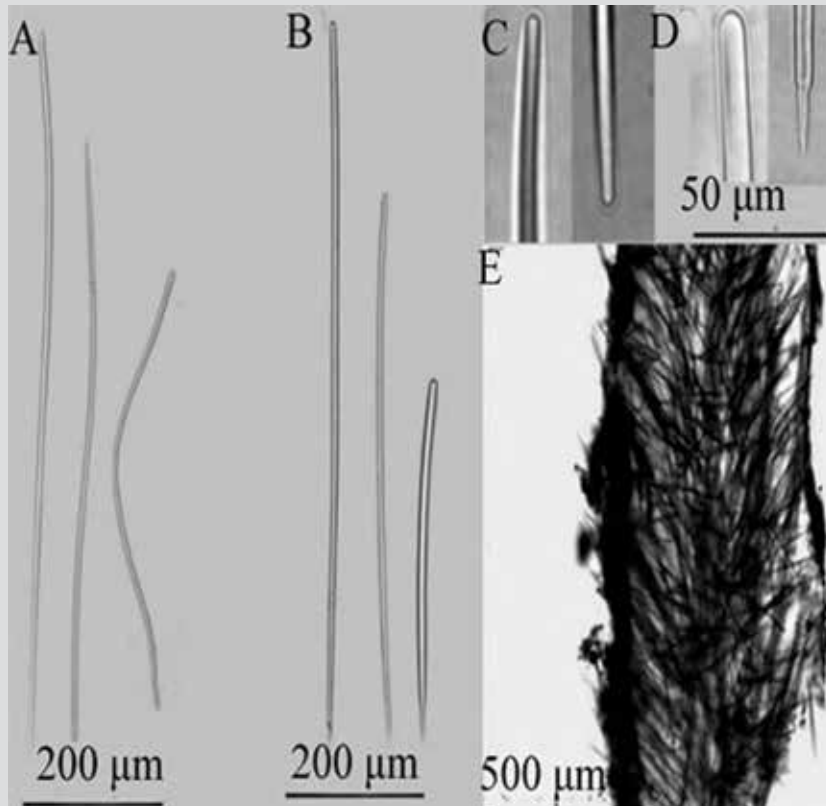
Figure 6; Plate 1, fig. 5.

**Material estudiado:** INV POR1381, golfo de Tribugá, Morros de Jurubidá, 12 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015. INV POR1383, Morros de Jurubidá, 13,3 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015. INV POR1386, Morros de Jurubidá, 10 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015. INV POR1373, golfo de Tribugá, Punta Orión, 7,1 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015.

**Material studied:** INV POR1381, Gulf of Tribugá, Morros de Jurubidá, 12 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015. INV POR1383, Morros de Jurubidá, 13.3 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015. INV POR1386, Morros de Jurubidá, 10 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015. INV POR1373, Gulf of Tribugá, Punta Orión, 7.1 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015.

**Forma:** masa incrustante con lóbulos a arbustos bajos de hasta unos 5 cm de altura; ramitas de 1-5 mm de diámetro, poco divididas, saliendo casi desde la base; superficie aterciopelada o corrugada, microhispida, frecuentemente con sedimento atrapado, especialmente hacia las bases. **Color:** naranja brillante; amarillo pálido en alcohol. **Consistencia:** suave, compresible. **Ectosoma:** pinacodermo sostenido por tractos erectos y espículas tangenciales. **Coanosoma:** tractos plumosos de espículas, 42-138 µm de grueso (Figura 6E), dendríticos, que divergen desde el centro de las ramitas hacia la superficie, llegando a esta diagonalmente, interconectados muy irregularmente por espículas sencillas en todas las direcciones. **Espículas:** estilos lisos y rectos, los más pequeños ligeramente curvados, 348-590-813 µm por 4,4-9,0-15,1 µm (Figura 6B, 6C, 6D); estrongilos sinuosos, 36 -651-910 µm por 3,6-6,0-9,6 µm (Figura 6A).

**Shape:** encrusting mass with lobes to low bushes up to about 5 cm in height; branches 1-5 mm in diameter, little divided, coming out almost from the base; velvety or corrugated surface, microhispid, often with trapped sediment, especially towards the base. **Color:** bright orange; pale yellow in alcohol. **Consistency:** soft, compressible. **Ectosome:** pinacoderm supported by erect tracts and tangential spicules. **Choanosome:** plumose spicule tracts, 42-138 µm thick (Figure 6E), dendritic, diverging from the center of the branches towards the surface, reaching it diagonally, interconnected very irregularly by simple spicules in all directions. **Spicules:** smooth and straight styles, the smallest slightly curved, 348-590-813 µm by 4.4-9.0-15.1 µm (Figure 6B, 6C, 6D); sinuous strongyles, 36-651-910 µm by 3.6-6.0-9.6 µm (Figure 6A).



**Figura 6.** *Acanthella* sp. A) Estrongilos sinuosos. B) Estilos. C) Extremos de estrongilos sinuosos. D) Extremos de estilos. E) Sección transversal del esqueleto.

**Figure 6.** *Acanthella* sp. A) Sinuous strongyles. B) Styles. C) Winding strongyle ends. D) Extremes of styles. E) Cross-section of the skeleton.

**Hábitat:** arrecifes rocosos someros en aguas turbias.

**Distribución:** Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** la ubicación genérica de esta esponja es tentativa, con base en la presencia de tractos dendríticos y espículas de estilos curvos y estrongilos sinuosos (Van Soest *et al.*, 2002), aunque hay otros géneros con ese mismo tipo de espiculación (v. g. *Auleta* Schmidt, 1870, *Phakellia* Bowerbank, 1862, *Phycopsis* Carter, 1883), pero del orden Axinellida (Van Soest *et al.*, 2018). *Acanthella danerii* Costa, Barvastrello, Pansini y Bertolino, 2020 se describió de los fiordos chilenos en el Pacífico suroriental. Difiere de *Acanthella* sp. en tener oxeadas sinuosas, curvas o dobladas, en adición a los estilos y los estrongilos sinuosos (Costa *et al.*, 2020). La estructura del esqueleto en tractos plumosos y las espículas que presenta son características muy similares a *Acanthella cubensis* (Alcolado, 1984) del Caribe, pero difiere de ella en la forma de crecimiento. Debe ser sometida a una revisión más exhaustiva para considerarla como una nueva especie, ya que hay varias especies del género descritas para el Pacífico Occidental y el océano Índico (Van Soest *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2020).

**Habitat:** shallow rocky reefs in murky waters.

**Distribution:** Colombian North Pacific.

**Comments:** the generic location of this sponge is tentative, based on the presence of dendritic tracts and spicules with curved styles and sinuous strongyles (Van Soest *et al.*, 2002), although there are other genera with the same type of spiculation (e.g. *Auleta* Schmidt, 1870, *Phakellia* Bowerbank, 1862, *Phycopsis* Carter, 1883), but of the order Axinellida (Van Soest *et al.*, 2018). *Acanthella danerii* Costa, Barvastrello, Pansini, and Bertolino, 2020 was described from the Chilean fjords in the southeastern Pacific. It differs from *Acanthella* sp. in having sinuous, curved, or bent oxeads, in addition to sinuous styles and strongyles (Costa *et al.*, 2020). The structure of the skeleton in plumose tracts and the spicules it presents are very similar characteristics to *Acanthella cubensis* (Alcolado, 1984) from the Caribbean, but it differs from it in the shape of growth. It should be subjected to a more exhaustive review to consider it as a new species since there are several species of the genus described for the Western Pacific and the Indian Ocean (Van Soest *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2020).

Orden Clionaida Morrow y Cárdenas, 2015

Familia Placospongiidae Gray, 1867

**Especie 6. *Placospongia* aff. *intermedia*  
Sollas, 1888**

Figura 7.

?*Placospongia intermedia* Sollas, 1888: 273 (especie válida del Caribe).

*Placospongia intermedia*; De Laubenfels, 1936b: 454.

**Material estudiado:** INV POR1364, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 6 m, col. L. Chasqui, 16-08-2015.

**Forma:** incrustante, superficie dividida en placas poligonales por elevaciones irregulares o surcos. **Color:** rosa preservada en alcohol. **Consistencia:** dura, tenaz. **Ectosoma:** placas formadas por selenásteres densamente agrupados, de hasta 2 mm de grosor. **Coanosoma:** capa basal de selenásteres, 202-341  $\mu\text{m}$  de grosor, de la que se elevan tractos multiespiculados de tiloestilos, 137-290  $\mu\text{m}$  de grosor, separados 163-711  $\mu\text{m}$ , a manera de columnas, que sostienen las placas ectosómicas. Numerosos selenásteres dispersos entre las columnas (Figura 7D, 7E). **Espículas:** megascleras: tiloestilos, 180-657-874  $\mu\text{m}$  por 5,2-10,6-17,6  $\mu\text{m}$  (Figura 7B). Microscleras: esferásteres, 9,2-10,9-13,6  $\mu\text{m}$  de diámetro (estadios de desarrollo 16,1-18,3-19,5  $\mu\text{m}$ ) (Figura 7A); selenásteres en varios estadios de desarrollo, pequeños, 20,3-26,5-32,8  $\mu\text{m}$  por 7,3-10-13,1  $\mu\text{m}$  (Figura 7C-i); medianos, 43-36-55  $\mu\text{m}$  por 16,9-25,0-33,4  $\mu\text{m}$  (Figura 7C-ii); y desarrollados, 55-66-76  $\mu\text{m}$  por 42-52-62  $\mu\text{m}$  (Figura 7C-iii).

**Hábitat:** sobre sustratos rocosos someros.

**Distribución:** Pacífico de Panamá (De Laubenfels, 1936b); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** Sollas (1888) describió *Placospongia intermedia* de Punta Arenas, que luego fue confundida con una localidad con ese nombre en el Pacífico de Costa Rica. Sin embargo, en la sección “Species of the faunistic provinces”, p. 383, Sollas (1888) localiza a *P. intermedia* en la provincia Caribe. En el World Porifera Database (<http://www.marinespecies.org/porifera/porifera.php?p=distribution&id=651010>) se ubica la localidad tipo de *P. intermedia* en Punta Arenas, isla de Margarita. De Laubenfels (1936b) describió el material de *P. intermedia* tanto del lado Pacífico como del Caribe del istmo de Panamá, considerándolos la misma especie. Van Soest (2009) argumentó que el material de De Laubenfels del Caribe era diferente al del Pacífico, pero Rützler *et al.*

Order Clionaida Morrow and Cárdenas, 2015

Family Placospongiidae Gray, 1867

**Species 6. *Placospongia* aff. *intermedia*  
Sollas, 1888**

Figure 7.

?*Placospongia intermedia* Sollas, 1888: 273 (valid species from the Caribbean).

*Placospongia intermedia*; De Laubenfels, 1936b: 454.

**Material studied:** INV POR1364, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 6 m, col. L. Chasqui, 08-16-2015.

**Shape:** encrusting, surface divided into polygonal plates by irregular elevations or grooves. **Color:** rose preserved in alcohol. **Consistency:** tough, tenacious. **Ectosome:** plates formed by densely packed selenasters, up to 2 mm thick. **Choanosome:** basal layer of selenasters, 202-341  $\mu\text{m}$  thick, from which multispicular tylostyle tracts arise, 137-290  $\mu\text{m}$  thick, separated 163-711  $\mu\text{m}$ , like columns, supporting the ectosomal plates. Numerous selenasters are scattered among the columns (Figure 7D, 7E). **Spicules:** megascleres: tylostyles, 180-657-874  $\mu\text{m}$  by 5.2-10.6-17.6  $\mu\text{m}$  (Figure 7B). **Microscleres:** spherasters, 9.2-10.9-13.6  $\mu\text{m}$  in diameter (developmental stages 16.1-18.3-19.5  $\mu\text{m}$ ) (Figure 7A); selenasters in various stages of development, small, 20.3-26.5-32.8  $\mu\text{m}$  by 7.3-10-13.1  $\mu\text{m}$  (Figure 7C-i); medium, 43-36-55  $\mu\text{m}$  by 16.9-25.0-33.4  $\mu\text{m}$  (Figure 7C-ii); and developed, 55-66-76  $\mu\text{m}$  by 42-52-62  $\mu\text{m}$  (Figure 7C-iii).

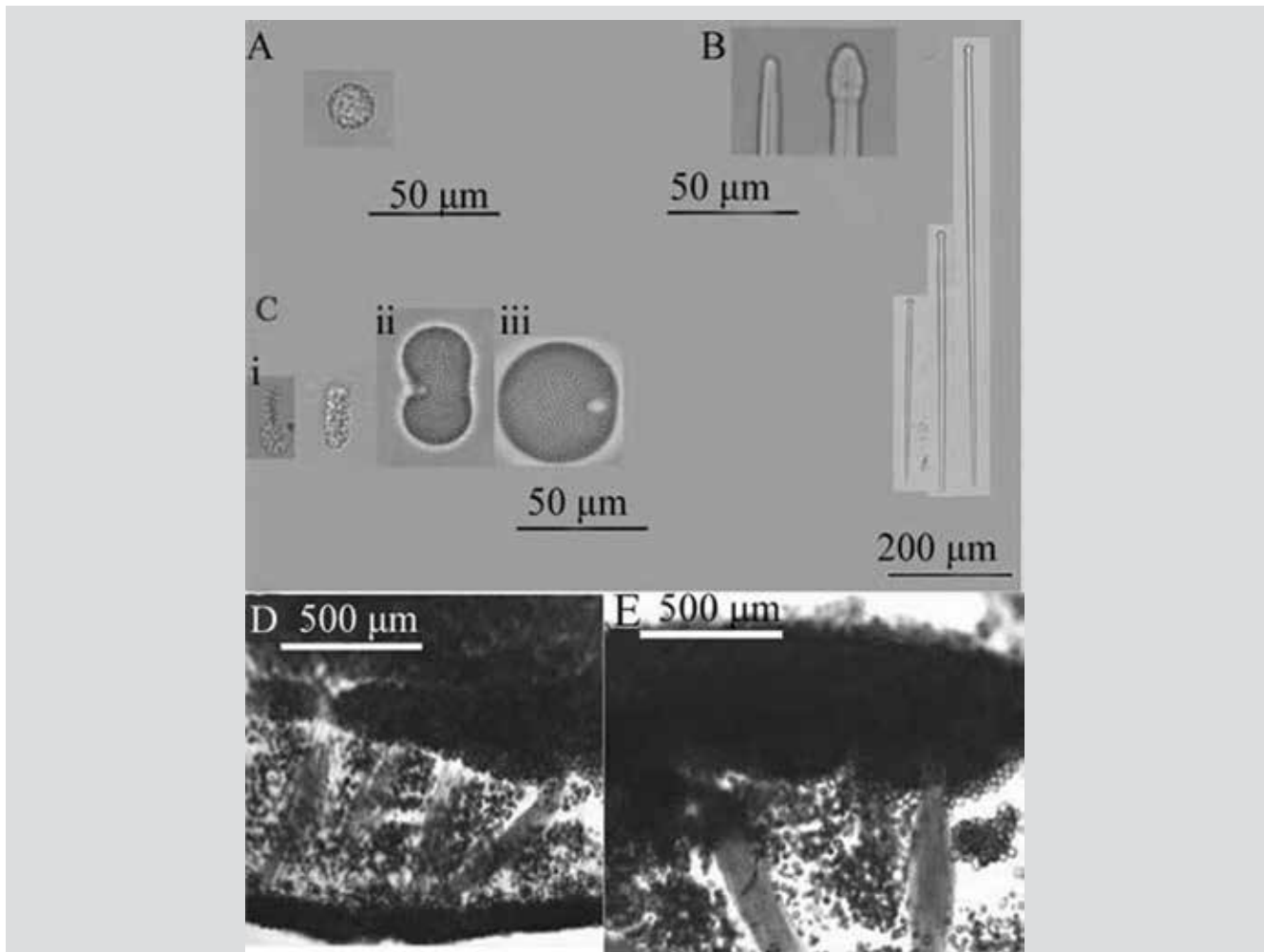
**Habitat:** on shallow rocky substrata.

**Distribution:** Pacific of Panama (De Laubenfels, 1936b); Colombian North Pacific.

**Comments:** Sollas (1888) described *Placospongia intermedia* from Punta Arenas, which was later confused with a locality of that name in the Pacific of Costa Rica. However, in the section “Species of the faunistic provinces”, p. 383, Sollas (1888) located *P. intermedia* in the Caribbean province. In the World Porifera Database (<http://www.marinespecies.org/porifera/porifera.php?p=distribution&id=651010>) the type locality of *P. intermedia* is located in Punta Arenas, Margarita Island. De Laubenfels (1936b) described the material of *P. intermedia* from both the Pacific and Caribbean sides of the isthmus of Panama, considering them the same species. Van Soest (2009) argued that the De Laubenfels material from the Caribbean was different from that from the Pacific, but Rützler *et al.*

(2014: 35) revisaron sus láminas originales sin encontrar diferencias. Es posible que el material del Pacífico sea una especie diferente que requiera de un nombre nuevo, aunque Nichols y Barnes (2005) no encontraron, a partir de análisis molecular de la región ITS que codifica en el ARN ribosomal, diferencias importantes entre varios especímenes del Caribe y del Pacífico de Panamá (Clado C8, sin identificar). Esto podría indicar que las dos poblaciones no han divergido lo suficiente desde que fueron separadas por el istmo, pero será necesario examinar morfológicamente ese material para llegar a una conclusión más precisa. En el Pacífico colombiano, Escobar (2000) describió *P. carinata* (Bowerbank, 1858), la cual es indudablemente otra especie, pues carece de esferásteres y su coloración es café oscuro. El registro de una fotografía submarina de *Placospongia carinata* de García-Suárez *et al.* (2012) de bahía Málaga no puede confirmarse por no haber material para examinar.

(2014: 35) reviewed the original slides without finding differences. The Pacific material may be a different species that requires a new name, although Nichols and Barnes (2005) did not find, from molecular analysis of the ITS region that encodes ribosomal RNA, important differences between various specimens of the Caribbean and Pacific of Panama (Clade C8, unidentified). This could indicate that the two populations have not diverged enough since they were separated by the isthmus, but it will be necessary to examine this material morphologically to reach a more precise conclusion. In the Colombian Pacific, Escobar (2000) described *P. carinata* (Bowerbank, 1858), which is undoubtedly another species, since it lacks spherasters and its color is dark brown. The record of an underwater photograph of *Placospongia carinata* from García-Suárez *et al.* (2012) from Bahía Málaga cannot be confirmed as there is no material to examine.



**Figura 7.** *Placospongia* aff. *intermedia*. A) Esferáster. B) Extremos de tiloestilos y tylostyles. C) Selenásteres (i, ii, iii estadios). D) y E) Coanosoma.

**Figure 7.** *Placospongia* aff. *intermediate*. A) Spheraster. B) Ends of tylostyles and tylostyles. C) Selenasters (i, ii, iii stages). D) and E) Choanosome.



Orden Haplosclerida Topsent, 1928

Familia Chalinidae Gray, 1867

**Especie 7. *Chalinula nematifera*  
(De Laubenfels, 1954)**

Figura 8.

*Nara nematifera* De Laubenfels, 1954: 76, fig. 46.

*Chalinula nematifera*; De Weerdt, 2002: 853; Cruz-Barraza y Carballo, 2008: 748, figs. 5, 7C; Vega, 2012: 105, figs. 7.2.57. A, B, C (transferencia de género).

**Material estudiado:** INV POR1380, golfo de Tribugá, Morromico, 12 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015.

**Forma:** revestimiento a manera de cojín delgado, de aprox. 1 cm de diámetro. Superficie finamente hispida. **Color:** púrpura claro en alcohol. **Consistencia:** suave y compresible. **Ectosoma:** sin red ectosomal tangencial; formado por extremos de fibras ascendentes uniespiculares. **Coanosoma:** red cuadrada a poligonal de fibras de esponjina rellenas por una o dos espículas, 6-22 µm de grosor, con mallas de 65-326 µm de diámetro (Figura 8B, 8C). **Espículas:** oxeas, 63-80-94 µm por 2,6-3,7-5,1 µm (Figura 8A).

**Hábitat:** arrecifes rocosos someros.

**Distribución:** Pacífico central y occidental tropical (De Laubenfels, 1954); mar de Cortez (México) (Cruz-Barraza y Carballo, 2008); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** fue descrita por primera vez por De Laubenfels (1954:76) como *Nara nematifera* con material del Pacífico centro-occidental. Luego, De Weerdt (2002) la transfirió al género *Chalinula*, que se define por tener un crecimiento finamente incrustante, en forma de almohadilla, y presentar oxeas cortas, que van desde vestigios a cigarros. La identificación de esta especie se realizó comparando las características que describen Cruz-Barraza y Carballo (2008) del Pacífico mexicano. Según Ávila y Carballo (2009), *C. nematifera* es una especie invasora nativa del Pacífico central y occidental que se registró desde 2003 en el Pacífico mexicano, donde se considera una amenaza potencial para los arrecifes coralinos por crecer sobre colonias vivas de *Pocillopora* spp.

Order Haplosclerida Topsent, 1928

Family Chalinidae Gray, 1867

**Species 7. *Chalinula nematifera*  
(De Laubenfels, 1954)**

Figure 8.

*Nara nematifera* De Laubenfels, 1954: 76, fig. 46.

*Chalinula nematifera*; De Weerdt, 2002: 853; Cruz-Barraza and Carballo, 2008: 748, figs. 5.7. C; Vega, 2012: 105, figs. 7.2.57. A, B, C (genus transfer).

**Material studied:** INV POR1380, Gulf of Tribugá, Morromico, 12 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015.

**Shape:** encrusting thin cushion, approx. 1 cm in diameter. Finely hispid surface. **Color:** light purple in alcohol. **Consistency:** soft and compressible. **Ectosome:** lacking an ectosomal tangential network; formed by unispicular ascending fiber ends. **Choanosome:** square to a polygonal network of spongin fibers cored with one or two spicules, 6-22 µm thick, with meshes 65-326 µm in diameter (Figure 8B, 8C). **Spicules:** oxeas, 63-80-94 µm by 2.6-3.7-5.1 µm (Figure 8A).

**Habitat:** shallow rocky reefs.

**Distribution:** Tropical central and western Pacific (De Laubenfels, 1954); Sea of Cortez (Mexico) (Cruz-Barraza and Carballo, 2008); Colombian North Pacific.

**Comments:** it was first described by De Laubenfels (1954: 76) as *Nara nematifera* with material from the central-western Pacific. Later, De Weerdt (2002) transferred it to the genus *Chalinula*, which is defined as having a finely encrusting growth form, in pillow-shape, and presenting short oxeas, ranging from vestiges to cigars. The identification of this species was carried out by comparing the characteristics described by Cruz-Barraza and Carballo (2008) of the Mexican Pacific. According to Ávila and Carballo (2009), *C. nematifera* is an invasive species native to the central and western Pacific that has been recorded since 2003 in the Mexican Pacific, where it is considered a potential threat to coral reefs because it grows on live *Pocillopora* spp. colonies.

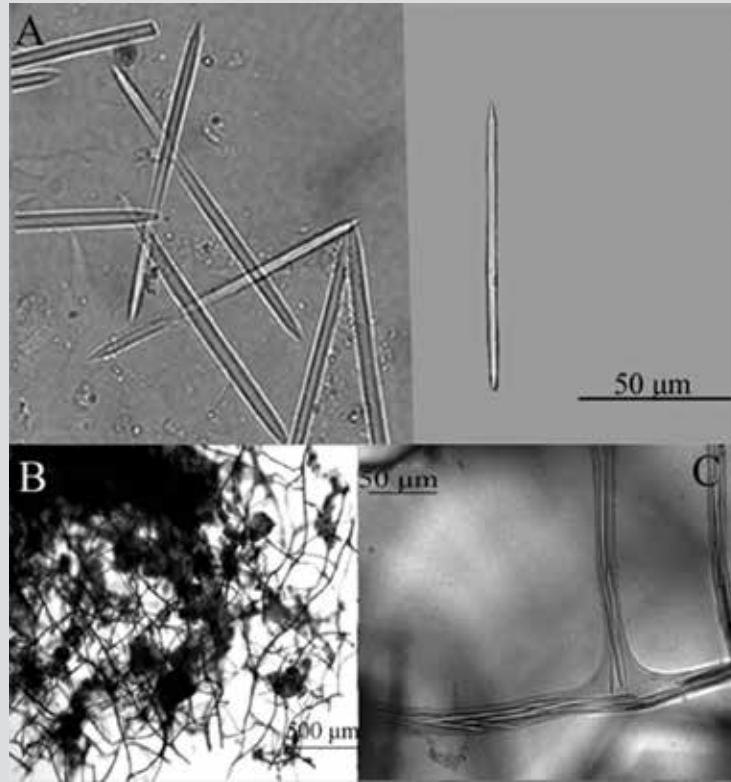


Figura 8. *Chalinula nematifera*. A) Oxeas. B) y C) Coanosoma.

Figure 8. *Chalinula nematifera*. A) Oxeas. B) and C) Choanosome.

Orden Poecilosclerida Topsent, 1928

Familia Crambeidae Lévi, 1963

**Especie 8. *Crambe panamensis* Maldonado, Cardona, Van Soest y Pomponi, 2001**

Figura 9; Lám. 1, fig. 6

*Crambe panamensis* Maldonado, Carmona, Van Soest y Pomponi, 2001:1264, fig. 1.

**Material estudiado:** INV POR1365, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 6 m, col. L. Chasqui, 16-08-2015.

**Forma:** revestimiento delgado de 15-20 cm de diámetro. **Color:** naranja-roja; blanco en alcohol.

**Consistencia:** dura, poco compresible. **Ectosoma:** tiloestilos y subtiloestilos erectos, a veces en mechones, sostienen el pinacodermo. **Coanosoma:** estrato basal de astroclonas, del que ascienden subtiloestilos y tiloestilos principales, convirtiéndose en mechones hispídos al llegar a la superficie (Figura 9H). **Espículas:** megascleras: tiloestilos ligeramente curvados con la cabeza bien definida, a veces irregular, 217-308-427 µm por 8,8-17,8-29,7 µm, diámetro del tilo 10,1-16,5-27,6 µm (Figura 9C, 9F); subtiloestilos rectos y delgados con la cabeza ligeramente ovalada, 77-

Orden Poecilosclerida Topsent, 1928

Family Crambeidae Lévi, 1963

**Species 8. *Crambe panamensis* Maldonado, Cardona, Van Soest and Pomponi, 2001**

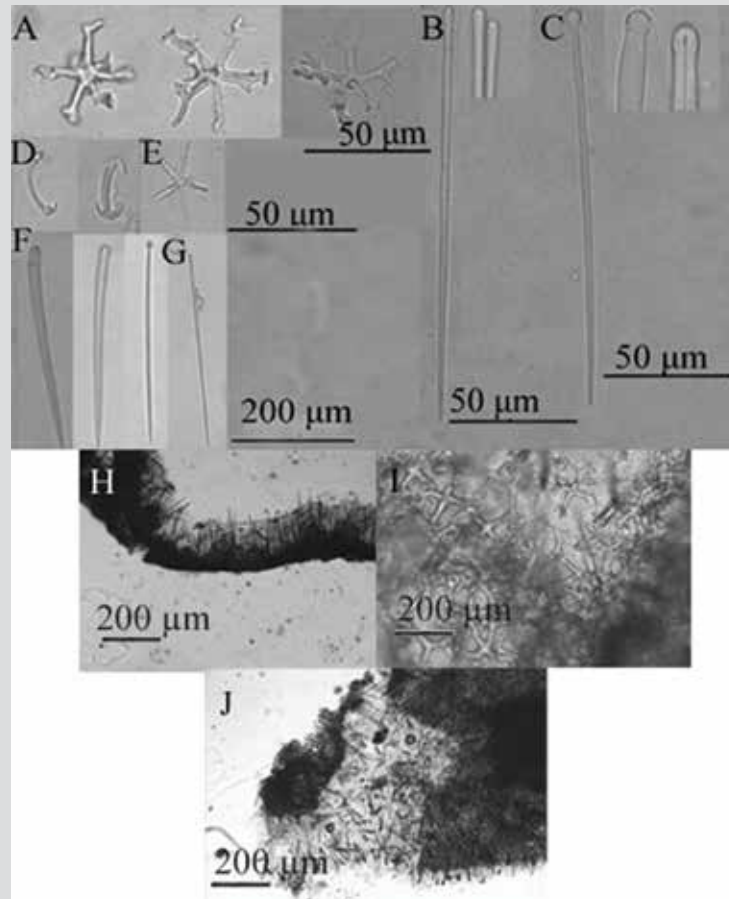
Figure 9; Plate 1, fig. 6

*Crambe panamensis* Maldonado, Carmona, Van Soest and Pomponi, 2001: 1264, fig. 1.

**Material studied:** INV POR1365, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 6 m, col. L. Chasqui, 08-16-2015.

**Shape:** 15-20 cm diameter thin encrustation. **Color:** Red-orange; white in alcohol.

**Consistency:** hard, not very compressible. **Ectosome:** tylostyles and subtylostyles, erect, sometimes tufted, support the pinacoderm. **Choanosome:** basal stratum of astroclones, from which subtylostyles and tylostyles ascend, turning into hispid tufts upon reaching the surface (Figure 9H). **Spicules:** megascleras: slightly curved tylostyles with well-defined head, sometimes irregular, 217-308-427 µm by 8.8-17.8-29.7 µm, tyle diameter 10.1-16.5-27.6 µm (Figure 9C, 9F); slender, straight subtylostyles with slightly oval heads, 77-185-232 µm by 2.4-4.0-5.8 µm (Figure 9B,



**Figura 9.** *Crambe panamensis*. A) Desmas astroclonas. B) Subtiloestilos delgados. C) Tiloestilos. D) Isochelas. E) Oxyáster. F) Tiloestilos. G) Subtiloestilo delgado. H) e I) Corte perpendicular a la superficie (arriba izq.) y vista de la costra basal de astroclonas (arriba der.). J) Corte parcialmente macerado que muestra parte del ectosoma (espículas verticales y mechones) y del coanosoma.

**Figure 9.** *Crambe panamensis*. A) Desmas astroclones. B) Thin subtylostyles. C) Tylostyles. D) Isochelae. E) Oxyaster. F) Tylostyles. G) Thin subtylostyle. H) and I) Section perpendicular to the surface (top left) and view of the basal astroclone crust (top right). J) Partially macerated section showing part of the ectosome (vertical spicules and tufts) and the choanosome.

185-232  $\mu\text{m}$  por 2,4-4,0-5,8  $\mu\text{m}$  (Figura 9B, 9G); desmas astroclonas, con un centro bien desarrollado, del cual irradian cuatro a seis actinas, 50-84-117  $\mu\text{m}$  (diámetro total) (Figura 9A). Microscleras: oxiásteres, 4-5 radios, 9,9-21,1-29,8  $\mu\text{m}$  de diámetro (Figura 9E); isoquelas con tres dientes, 19,7-23,9-29,9  $\mu\text{m}$  (Figura 9D).

**Hábitat:** sobre paredes verticales del arrecife rocoso.

**Distribución:** Pacífico de Panamá (Maldonado *et al.*, 2001); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** se confirmó el registro de *Crambe panamensis* por la presencia de desmas astroclonas junto con una categoría de tiloestilos coanosomales, subtiloestilos ectosomales pequeños y una categoría de isochelas (Maldonado *et al.*, 2001). La localidad tipo es cercana al Pacífico norte colombiano.

9G); Desmas astroclones, with a well-developed center, from which four to six actins radiate, 50-84-117  $\mu\text{m}$  (total diameter) (Figure 9A). Microsclera: oxyasters, 4-5 radii, 9.9-21.1-29.8  $\mu\text{m}$  in diameter (Figure 9E); isochelae with three teeth, 19.7-23.9-29.9  $\mu\text{m}$  (Figure 9D).

**Habitat:** on vertical walls of the rocky reef.

**Distribution:** Pacific of Panama (Maldonado *et al.*, 2001); Colombian North Pacific.

**Comments:** the record of *Crambe panamensis* was confirmed by the presence of astroclone desmas together with a category of choanosome tylostyles, small ectosomal subtylostyles, and a category of isochelae (Maldonado *et al.*, 2001). The type locality is close to the Colombian North Pacific.

**Especie 9. *Discorhabdella littoralis***  
**Maldonado, Carmona, Van Soest y Pomponi,**  
**2001**

Figura 10.

*Discorhabdella littoralis* Maldonado, Carmona, Van Soest y Pomponi, 2001: 1270, fig. 3.

**Material estudiado:** INV POR1401, cabo Marzo, La Foca, prof. 17 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015.

**Forma:** revestimiento delgado. **Color:** blanco en alcohol. **Consistencia:** muy delgada para notarlo; textura hispida al tacto. **Ectosoma:** espículas perforando el pinacodermo. Las sigmas se encuentran principalmente debajo de la superficie. **Coanosoma:** acantoestilos agrupados densamente en la base sobre una capa de esponjina, de la que se proyectan hacia arriba los tiloestilos principales, que luego atraviesan la superficie de la esponja. Los subtiloestilos secundarios están dispuestos en forma de ramas o mechones alrededor de los tiloestilos (Figura 10E). **Espículas:** megascleras: tiloestilos principales levemente curvados con la cabeza oval, 128-178-247  $\mu\text{m}$  por 2,9-5,9-9,2  $\mu\text{m}$  (Figura 10A); subtiloestilos secundarios, 118-144-171  $\mu\text{m}$  por 3,2-5,3-7,2  $\mu\text{m}$  (Figura 10B); acantoestilos, 20-30-42  $\mu\text{m}$  por 4,1-6,1-8,7  $\mu\text{m}$  y con la cabeza grande, 9,2-12,3-18,1  $\mu\text{m}$  de diámetro (Figura 10C). **Microscleras:** sigmas, 11,2-22,5-32,1  $\mu\text{m}$  (Figura 10D).

**Hábitat:** arrecifes rocosos someros.

**Distribución:** Pacífico de Panamá (Maldonado *et al.*, 2001); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** se comparó con las especies de *Discorhabdella* descritas por Maldonado *et al.* (2001) para la costa Pacífica de Panamá. Se definió como *D. littoralis* por la presencia de tiloestilos, subtiloestilos y sigmas.

**Species 9. *Discorhabdella littoralis***  
**Maldonado, Carmona, Van Soest and**  
**Pomponi, 2001**

Figure 10.

*Discorhabdella littoralis* Maldonado, Carmona, Van Soest and Pomponi, 2001: 1270, fig. 3.

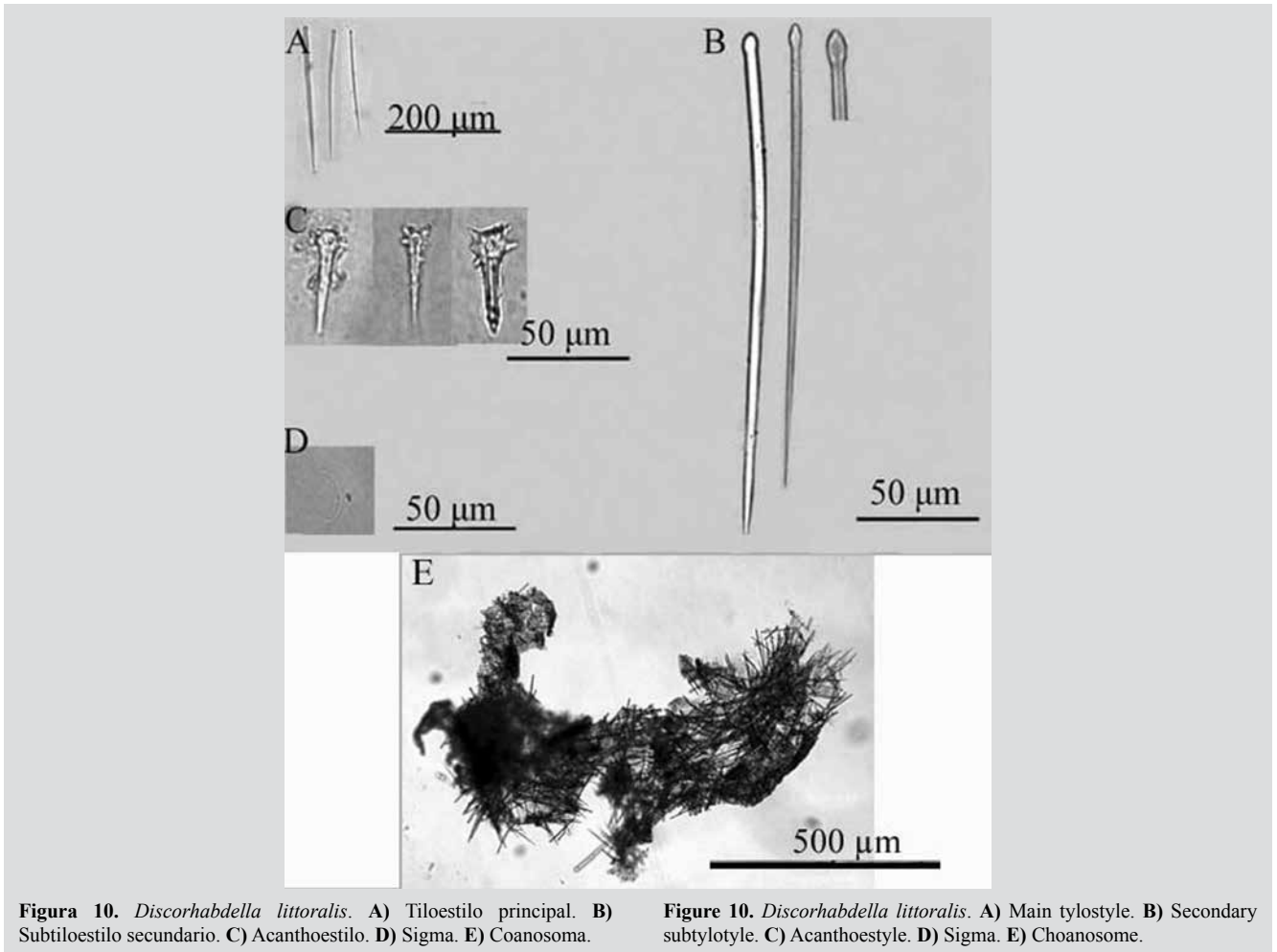
**Material studied:** INV POR1401, Cape Marzo, La Foca, prof. 17 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015.

**Shape:** thin encrustation. **Color:** white in alcohol. **Consistency:** too thin to notice; hispid texture to the touch. **Ectosome:** spicules piercing the pinacoderm. Sigmas are found primarily below the surface. **Choanosome:** acanthostyles clustered densely at the base on a layer of spongin, from which the main tylostyles project upward, then traverse the surface of the sponge. The secondary subtylostyles are arranged in the shape of branches or tufts around the tylostyles (Figure 10E). **Spicules:** megascleras: slightly curved main tylostyles with oval head, 128-178-247  $\mu\text{m}$  by 2.9-5.9-9.2  $\mu\text{m}$  (Figure 10A); secondary subtylostyles, 118-144-171  $\mu\text{m}$  by 3.2-5.3-7.2  $\mu\text{m}$  (Figure 10B); acanthostyles, 20-30-42  $\mu\text{m}$  by 4.1-6.1-8.7  $\mu\text{m}$  and with a large head, 9.2-12.3-18.1  $\mu\text{m}$  in diameter (Figure 10C). **Microscleres:** sigmas, 11.2-22.5-32.1  $\mu\text{m}$  (Figure 10D).

**Habitat:** shallow rocky reefs.

**Distribution:** Pacific of Panama (Maldonado *et al.*, 2001); Colombian North Pacific.

**Comments:** it was compared with the *Discorhabdella* species described by Maldonado *et al.* (2001) for the Pacific coast of Panama. It was defined as *D. littoralis* by the presence of tylostyles, subtylostyles, and sigma.



**Figura 10.** *Discorhabdella littoralis*. A) Tiloestilo principal. B) Subtiloestilo secundario. C) Acanthoestilo. D) Sigma. E) Coanosoma.

**Figure 10.** *Discorhabdella littoralis*. A) Main tylostyle. B) Secondary subtylostyle. C) Acanthoestyle. D) Sigma. E) Choanosome.

Familia Microcionidae Carter, 1875

**Especie 10. *Clathria (Microciona) sp.***

Figura 11; Lám. 2, fig. 1

**Material estudiado:** INV POR1400, cabo Marzo, La Foca, 17 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015.

**Forma:** revestimiento delgado, ampliamente distribuido sobre el sustrato rocoso. **Color:** rojo escarlata, blanca en alcohol. **Consistencia:** frágil. **Espículas:** megascleras: estilos principales levemente curvados, ligeramente robustos en la base, cabeza con proyecciones espinosas y terminación en punta roma o afilada, 176-247-354 µm por 4,5-11,2-15,9 µm (Figura 11E); subtiloestilos delgados y rectos, 140-196-248 µm por 3,2-6,2-8,2 µm (Figura 11A); acantoestilos auxiliares rectos, con espinas a lo largo de toda la espícula, y la terminación de la punta gradualmente afilada, 68-93-120 µm por 3,8-5,8-8,0 µm (Figura 11B). **Microscleras:** isoquelas con ejes delgados, 16,5-19,1-30,0 µm (Figura 11D); toxas lisas en forma de V, 49-114-148 por 1,4-2,6-4,1 µm (Figura 11C).

Family Microcionidae Carter, 1875

**Species 10. *Clathria (Microciona) sp.***

Figure 11; Plate 2, fig. 1

**Material studied:** INV POR1400, Cape Marzo, La Foca, 17 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015.

**Shape:** thin encrustation, widely covering the rocky substratum. **Color:** scarlet red, white in alcohol. **Consistency:** fragile. **Spicules:** megascleres: main styles slightly curved, slightly robust at the base, head with spiny projections and ending in blunt or pointed tips, 176-247-354 µm by 4.5-11.2-15.9 µm (Figure 11E); thin and straight subtylostyles, 140-196-248 µm by 3.2-6.2-8.2 µm (Figure 11A); straight auxiliary acanthostyles, with spines along the entire spicule, and gradually tapered towards the tip, 68-93-120 µm by 3.8-5.8-8.0 µm (Figure 11B). **Microscleres:** isochelae with a thin axis, 16.5-19.1-30.0 µm (Figure 11D); V-shaped smooth toxas, 49-114-148 by 1.4-2.6-4.1 µm (Figure 11C).



**Hábitat:** en paredes del arrecife rocoso somero.

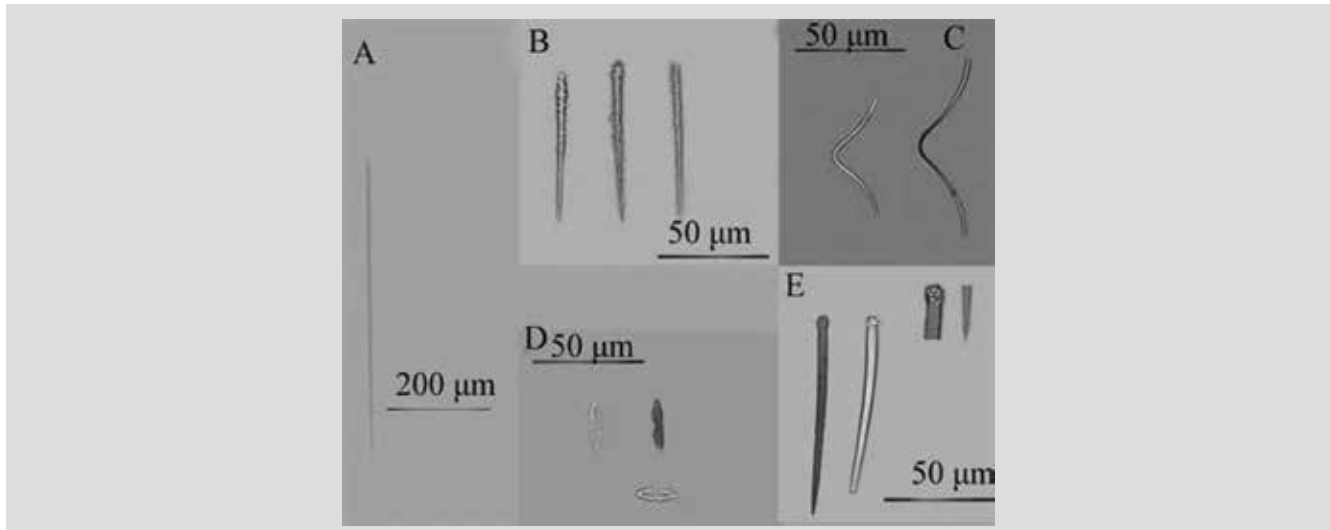
**Distribución:** Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** se tomó de referencia a Aguirre *et al.* (2011), quienes realizaron un cuadro comparativo de las especies del género *Clathria* Schmidt, 1862 del POT. La composición espicular es típica del subgénero *Microciona* Bowerbank, 1862, con estilos principales que en su mayoría tienen espinas solo en la cabeza, subtiloestilos auxiliares lisos, toxas lisas en una o dos categorías de longitud y con frecuencia de más de 100 µm de longitud, e isoquelas en una sola categoría, normalmente menores de 15 µm de largo. Se debe hacer un análisis más detallado y con material adicional para confirmar si se trata de una nueva especie.

**Habitat:** on shallow rocky reef walls.

**Distribution:** Colombian North Pacific.

**Comments:** reference was made to Aguirre *et al.* (2011), who made a comparative table of the species of the genus *Clathria* Schmidt, 1862 from the ETP. The spicular composition is typical of the subgenus *Microciona* Bowerbank, 1862, with main styles, mostly having spines only on the head, smooth auxiliary subtylostyles, smooth toxas in one or two length categories and often more than 100 µm in length, and isochelae in a single category, usually less than 15 µm long. More detailed analysis with additional material should be done to confirm if it is a new species.



**Figura 11.** *Clathria (Microciona)* sp. **A)** Subtiloestilos. **B)** Acanthoestilos auxiliares. **C)** Toxas. **D)** Isochelaw. **E)** Estilos principales.

**Figure 11.** *Clathria (Microciona)* sp. **A)** Subtylostyles. **B)** Auxiliary acanthostyles. **C)** Toxas. **D)** Isochelaw. **E)** Main styles.

Orden Scopalinida Morrow y Cárdenas, 2015

Familia Scopalinidae Morrow, Picton, Erpenbeck, Boury-Esnault, Maggs y Allcock, 2012

**Especie 11. *Scopalina* aff. *ruetzleri* (Wiedenmayer, 1977)**

Figura 12.

?*Ulosa ruetzleri* Wiedenmayer, 1977: 145; Lámina 30, figs. 6-7.

*Scopalina ruetzleri*; Vega, 2012: 103, figs. 7.2.55. A, B.

**Material estudiado:** INV POR1378, golfo de Tribugá, Morromico, 12 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015.

**Forma:** revestimiento delgado; superficie conulosa, con ósculos dispersos membranosos. **Color:** beige en alcohol.

Order Scopalinida Morrow and Cárdenas, 2015

Family Scopalinidae Morrow, Picton, Erpenbeck, Boury-Esnault, Maggs and Allcock, 2012

**Species 11. *Scopalina* aff. *ruetzleri* (Wiedenmayer, 1977)**

Figure 12.

?*Ulosa ruetzleri* Wiedenmayer, 1977: 145; Plate 30, figs. 6-7.

*Scopalina ruetzleri*; Vega, 2012: 103, figs. 7.2.55. A, B.

**Material studied:** INV POR1378, Gulf of Tribugá, Morromico, 12 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015.

**Shape:** thin encrustation; conulose surface, with scattered membranous oscules. **Color:** beige in alcohol. **Consistency:**

**Consistencia:** débil, blandamente compresible. **Ectosoma:** pinacodermo orgánico sostenido por los finales de los tractos ascendentes del coanosoma, que conforman los cónulos. **Coanosoma:** esqueleto de fibras multiespiculadas (4 a 7 espículas) ascendentes de 18-55  $\mu\text{m}$  de grosor, que se ramifican hacia la superficie. Poca espongina recubre los tractos (Figura 12D). **Espículas:** estilos largos, ligeramente curvos de puntas simples, 299-552-761  $\mu\text{m}$  por 4,1-6,9-11,6  $\mu\text{m}$  (Figura 12C); anisoxeas (oxeas con un extremo más grueso y corto), 85-333-618  $\mu\text{m}$  por 3,0-6,5-11,6  $\mu\text{m}$  (Figura 12B, 12C).

**Hábitat:** arrecifes rocosos someros.

**Distribución:** Pacífico mexicano (Vega, 2012); Pacífico norte colombiano.

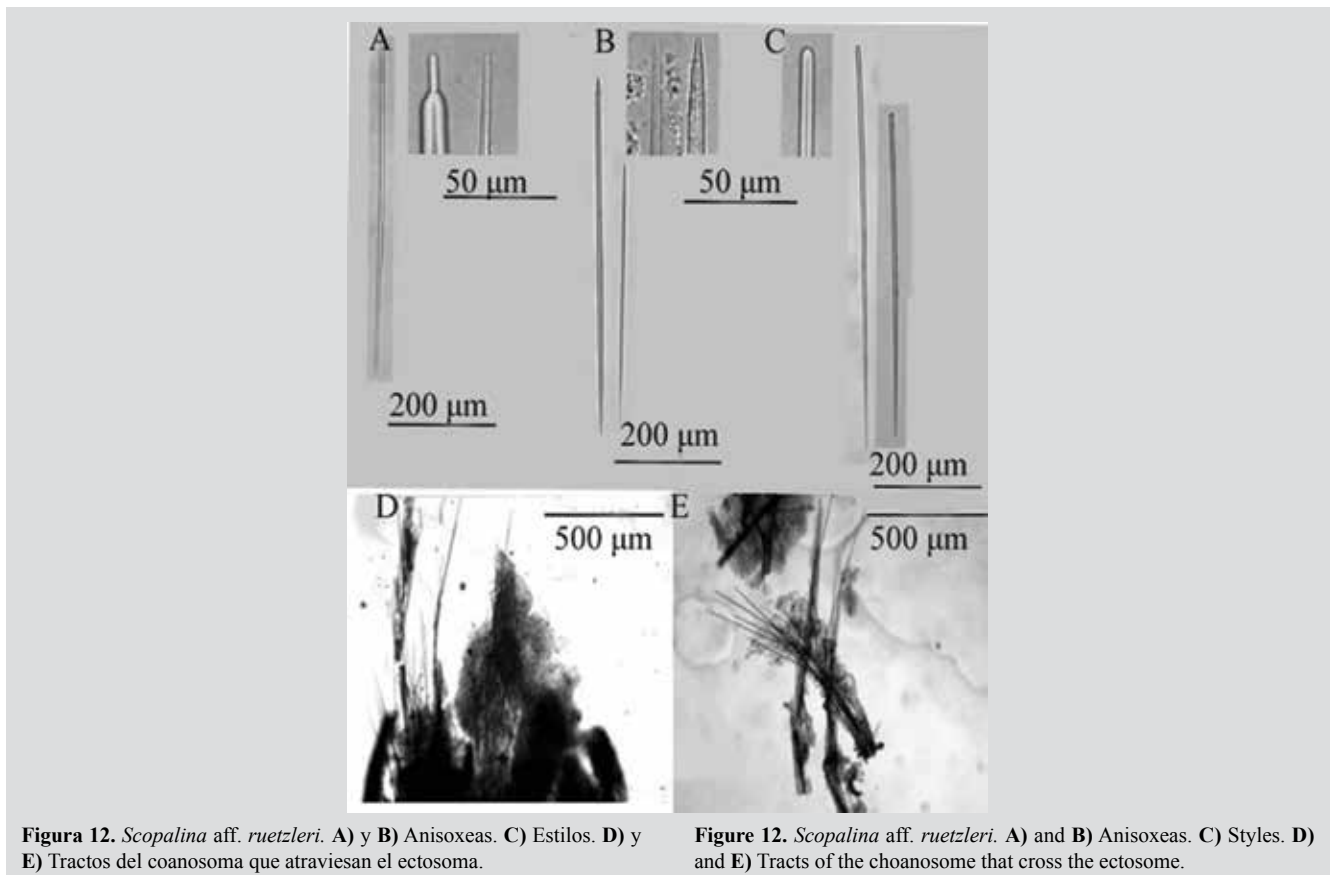
**Comentarios:** las características del esqueleto y de las espículas son similares a *Scopalina ruetzleri* (Wiedenmayer, 1977) del Caribe (ver Zea, 1987); sin embargo, debe hacerse un análisis más detallado para determinar si se trata de la misma especie o de especies hermanas que no han divergido fenotípicamente lo suficiente desde que ocurrió aislamiento reproductivo por el levantamiento del istmo de Panamá, o si se trata de una colonización transistmica, para definir el uso de un nombre nuevo en los especímenes del Pacífico.

weak, softly compressible. **Ectosome:** organic pinacoderm supported by the ends of the ascending tracts of the Choanosome, which make up the conules. **Choanosome:** skeleton of ascending multispicular fibers (4 to 7 spicules) 18-55  $\mu\text{m}$  thick, branching towards the surface. Little spongin covers the tracts (Figure 12D). **Spicules:** long, slightly curved styles of simple tips, 299-552-761  $\mu\text{m}$  by 4.1-6.9-11.6  $\mu\text{m}$  (Figure 12C); anisoxeas (oxeas with a thicker and shorter end), 85-333-618  $\mu\text{m}$  by 3.0-6.5-11.6  $\mu\text{m}$  (Figure 12B, 12C).

**Habitat:** shallow rocky reefs.

**Distribution:** Mexican Pacific (Vega, 2012); Colombian North Pacific.

**Comments:** the skeletal and spicule characteristics are similar to *Scopalina ruetzleri* (Wiedenmayer, 1977) from the Caribbean (see Zea, 1987); however, a more detailed analysis should be made to determine if it is the same species or sister species that have not diverged phenotypically enough since reproductive isolation occurred due to the uprising of the isthmus of Panama, or if it is trans-isthmus colonization, to define the use of a new name for Pacific specimens.



**Figura 12.** *Scopalina* aff. *ruetzleri*. A) y B) Anisoxeas. C) Estilos. D) y E) Tractos del coanosoma que atraviesan el ectosoma.

**Figure 12.** *Scopalina* aff. *ruetzleri*. A) and B) Anisoxeas. C) Styles. D) and E) Tracts of the choanosome that cross the ectosome.

**Especie 12. *Scopalina* sp. 2**

Figura 13; Lám. 2, fig. 2.

**Material estudiado:** INV POR1396, Punta Cruces, La Mina, sobre concha de gasterópodo, 15 m, col. L. Chasqui, 16-08-2015. INV POR1408, cabo Marzo, Piedra de Rodrigo, sobre madera, 18.5 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015.

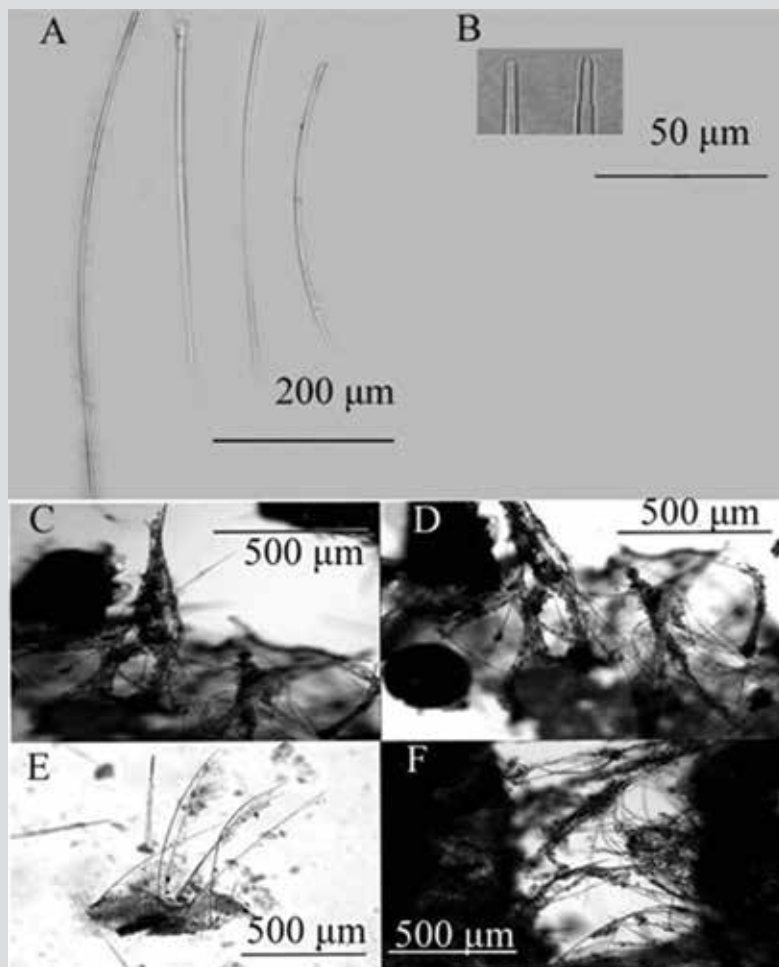
**Forma:** revestimiento delgado extendiéndose aprox. 60 mm de manera irregular sobre el sustrato y sobre concha de gasterópodo, conuloso. **Color:** naranja; amarillo pálido en alcohol. **Consistencia:** suave, hispida al tacto. **Ectosoma:** pinacodermo orgánico; cónulos sostenidos por tractos espiculares erectos. **Coanosoma:** esqueleto de tractos multiespiculados ascendentes con 2 a 7 espículas en sección transversal, 34-91  $\mu\text{m}$  de grosor, que se ramifican en la superficie; alta presencia de material foráneo (Figura 13C). **Espículas:** estilos delgados y largos, levemente curvos, 463-845-1265  $\mu\text{m}$  por 4,3-6,5-8,9  $\mu\text{m}$  (Figura 13A, 13B).

**Species 12. *Scopalina* sp. 2**

Figure 13; Plate 2, fig. 2.

**Material studied:** INV POR1396, Punta Cruces, La Mina, on gastropod shell, 15 m, col. L. Chasqui, 08-16-2015. INV POR1408, Cape Marzo, Piedra de Rodrigo, on wood, 18.5 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015.

**Shape:** thin encrustation extending approx. 60 mm irregularly on the substratum and on a gastropod shell, conulose. **Color:** orange; pale yellow in alcohol. **Consistency:** soft, hispid to the touch. **Ectosome:** organic pinacoderm; conules supported by erect spicular tracts. **Choanosome:** skeleton of ascending multispiculate tracts with 2 to 7 spicules in cross-section, 34-91  $\mu\text{m}$  thick, branching on the surface; high presence of foreign material (Figure 13C). **Spicules:** long, thin styles, slightly curved, 463-845-1265  $\mu\text{m}$  by 4.3-6.5-8.9  $\mu\text{m}$  (Figure 13A, 13B).



**Figura 13. *Scopalina* sp. 2. A) Estilos. B) Cabezas de estilos. C), D), E) y F) Coanosoma.**

**Figure 13. *Scopalina* sp. 2. A) Styles. B) Heads of styles. C), D), E) and F) Choanosome.**

**Hábitat:** sobre gasterópodo y madera en arrecife rocoso.

**Distribución:** Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** la ubicación genérica de este espécimen se realizó usando el Systema Porifera (Hooper *et al.*, 2002). Exceptuando *Scopalina* aff. *ruetzleri* descrita aquí y en Vega (2012), no existen otras especies del género *Scopalina* registradas para el POT. Aunque tienen el mismo color, *Scopalina* sp. 2 es menos porosa y transparente, además de poseer solo estilos más elongados.

Orden Suberitida Chombard y Boury-Esnault, 1999

Familia Halichondriidae Gray, 1867

**Especie 13. *Axinyssa isabela* Carballo y Cruz-Barraza, 2008**

Figura 14; Lám. 2, fig. 3.

*Axinyssa isabela* Carballo y Cruz-Barraza, 2008: 60, figs. 2-5.

**Material estudiado:** INV POR1385, golfo de Tribugá, Morros de Jurubidá, 13,3 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015. INV POR1397, cabo Marzo, Piedra de Eroito, 19 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015.

**Forma:** masiva amorfa, con lóbulos bajos redondeados, extendiéndose irregularmente sobre el sustrato. Superficie lisa, ósculos de forma circular u ovalada de 1-4 mm de diámetro aprox. **Color:** amarillo oscuro, marrón a ocre en alcohol. **Consistencia:** firmemente compresible y carnosa en vida; preservada, se desmorona. **Ectosoma:** pinacodermo parcialmente desprendible, sin esqueleto especializado; tractos y espículas del coanosoma periférico lo atraviesan, pero también organizadas de forma entrecruzada o paratangencial. En la región subectosomal hay una capa de colágeno denso con espículas individuales o tractos. **Coanosoma:** tractos irregulares y plumosos, 48-94  $\mu\text{m}$ , ascienden y divergen hacia la superficie; muchas espículas en confusión (Figura 14C). **Espículas:** oxeas grandes y delgadas, ligeramente curvadas (Figura 14A), de puntas muy variables: afiladas, mucronadas, escalonadas y romas (Figura 14A, 14B), 526-647-765  $\mu\text{m}$  por 5,6-10,6-16,1  $\mu\text{m}$ .

**Hábitat:** en paredes verticales del arrecife rocoso, cuevas y salientes.

**Distribución:** Pacífico mexicano (Carballo y Cruz-Barraza, 2008); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** el profesor J.L. Carballo examinó las fotos tomadas en campo del espécimen *in vivo* y en el laboratorio del esqueleto y espículas y confirmó que se trata de esta especie por la forma de crecimiento y características morfológicas.

**Habitat:** on gastropod shells and on wood on rocky reefs.

**Distribution:** Colombian North Pacific.

**Comments:** the generic location of this specimen was made using the Systema Porifera (Hooper *et al.*, 2002). Except for *Scopalina* aff. *ruetzleri* described here and in Vega (2012), there are no other species of the genus *Scopalina* recorded for the ETP. Although they have the same color, *Scopalina* sp. 2 is less porous and transparent, in addition to only having more elongated styles.

Order Suberitida Chombard and Boury-Esnault, 1999

Family Halichondriidae Gray, 1867

**Species 13. *Axinyssa isabela* Carballo and Cruz-Barraza, 2008**

Figure 14; Plate 2, fig. 3.

*Axinyssa isabela* Carballo and Cruz-Barraza, 2008: 60, figs. 2-5.

**Material studied:** INV POR1385, Gulf of Tribugá, Morros de Jurubidá, 13.3 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015. INV POR1397, Cape Marzo, Piedra de Eroito, 19 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015.

**Shape:** massive amorphous, with rounded low lobes, spreading irregularly on the substratum. Smooth surface, round or oval shaped oscules of approx. 1-4 mm diameter. **Color:** dark yellow, brown to ocher in alcohol. **Consistency:** toughly compressible and fleshy, in life; when preserved, it crumbles. **Ectosome:** partially detachable pinacoderm, without specialized skeleton; tracts and spicules of the peripheral choanosome cross it, but are also organized in cross or paratangential fashion. In the subectosomal region, there is a dense collagen layer with individual spicules or tracts. **Choanosome:** irregular and plumose tracts, 48-94  $\mu\text{m}$ , rise and diverge towards the surface; many spicules in confusion (Figure 14C). **Spicules:** large, thin oxeas, slightly curved (Figure 14A), with highly variable tips: sharp, mucronated, stepped, and blunt (Figure 14A, 14B), 526-647-765  $\mu\text{m}$  by 5.6-10.6-16.1  $\mu\text{m}$ .

**Habitat:** on vertical rocky reef walls, caves, and ledges.

**Distribution:** Mexican Pacific (Carballo and Cruz-Barraza, 2008); Colombian North Pacific.

**Comments:** Professor J.L. Carballo examined the photos of the specimen taken in the field *in vivo* and of the skeleton and spicules in the laboratory and confirmed that it is this species by the shape of growth and morphological characteristics.

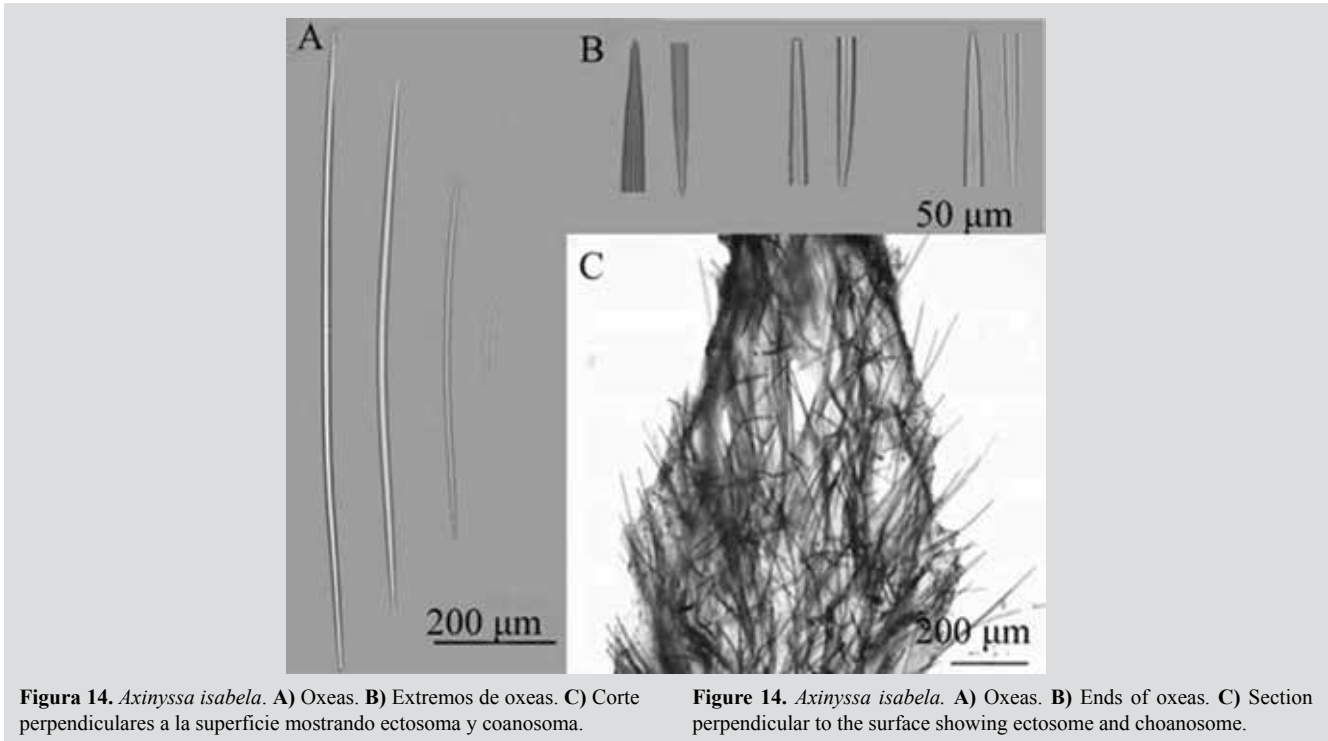


Figura 14. *Axinyssa isabela*. A) Oxeas. B) Extremos de oxeas. C) Corte perpendicular a la superficie mostrando ectosoma y coanosoma.

Figure 14. *Axinyssa isabela*. A) Oxeas. B) Ends of oxeas. C) Section perpendicular to the surface showing ectosome and choanosome.

**Especie 14. *Epipolasis* sp.**

Figura 15.

**Material estudiado:** INV POR1387, golfo de Tribugá, Morros de Jurubidá, 10 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015.

**Forma:** revestimiento delgado con superficie lisa, un poco corrugada de 6 mm de grosor aprox. **Color:** púrpura en alcohol, posiblemente por estar preservada junto a una *Aplysina*. **Consistencia:** compresible a desmoronadiza. **Ectosoma:** corteza de espículas más pequeñas y juntas que en el coanosoma. **Coanosoma:** esqueleto confuso de oxeas de varios tamaños (Figura 15C, 15D). **Espículas:** megascleras: oxeas ligeramente curvadas en el centro y frecuentemente dobladas en tres porciones, robustas, de puntas afiladas o romas, 149-195-290 µm por 6,4-10,4-16,9 µm (Figura 15A). Microscleras: rafidios rectos y delgados, 94-253-386 µm por 1,0-1,7-2,9 µm (Figura 15B).

**Hábitat:** sobre arrecifes rocosos someros.

**Distribución:** Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** la ubicación genérica se basó en el trabajo de Díaz *et al.* (1993), quienes hicieron una revisión de los géneros de Halichondriidae del Atlántico central. La diagnosis del género *Epipolasis* en De Laubenfels (1936a) concuerda con la del espécimen aquí descrito. Este es el primer registro del género en el POT.

**Species 14. *Epipolasis* sp.**

Figure 15.

**Material studied:** INV POR1387, Gulf of Tribugá, Morros de Jurubidá, 10 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015.

**Shape:** thin encrustation with a smooth surface, slightly corrugated, approx 6mm thick. **Color:** purple in alcohol, possibly from being preserved alongside an *Aplysina*. **Consistency:** compressible to crumbly. **Ectosome:** cortex of spicules, smaller and closer together than in the choanosome. **Choanosome:** confused skeleton of oxeas of various sizes (Figure 15C, 15D). **Spicules:** megascleres: oxeas slightly curved in the center and frequently bent in three portions, robust, with pointed or blunt tips, 149-195-290 µm by 6.4-10.4-16.9 µm (Figure 15A). **Microscleres:** straight and thin raphides, 94-253-386 µm by 1.0-1.7-2.9 µm (Figure 15B).

**Habitat:** on shallow rocky reefs.

**Distribution:** Colombian North Pacific.

**Comments:** the generic location was based on the work of Díaz *et al.* (1993), who reviewed the genera of Halichondriidae from the central Atlantic. The diagnosis of the genus *Epipolasis* in De Laubenfels (1936a) agrees with that of the specimen described here. This is the first record of the genus in the ETP.



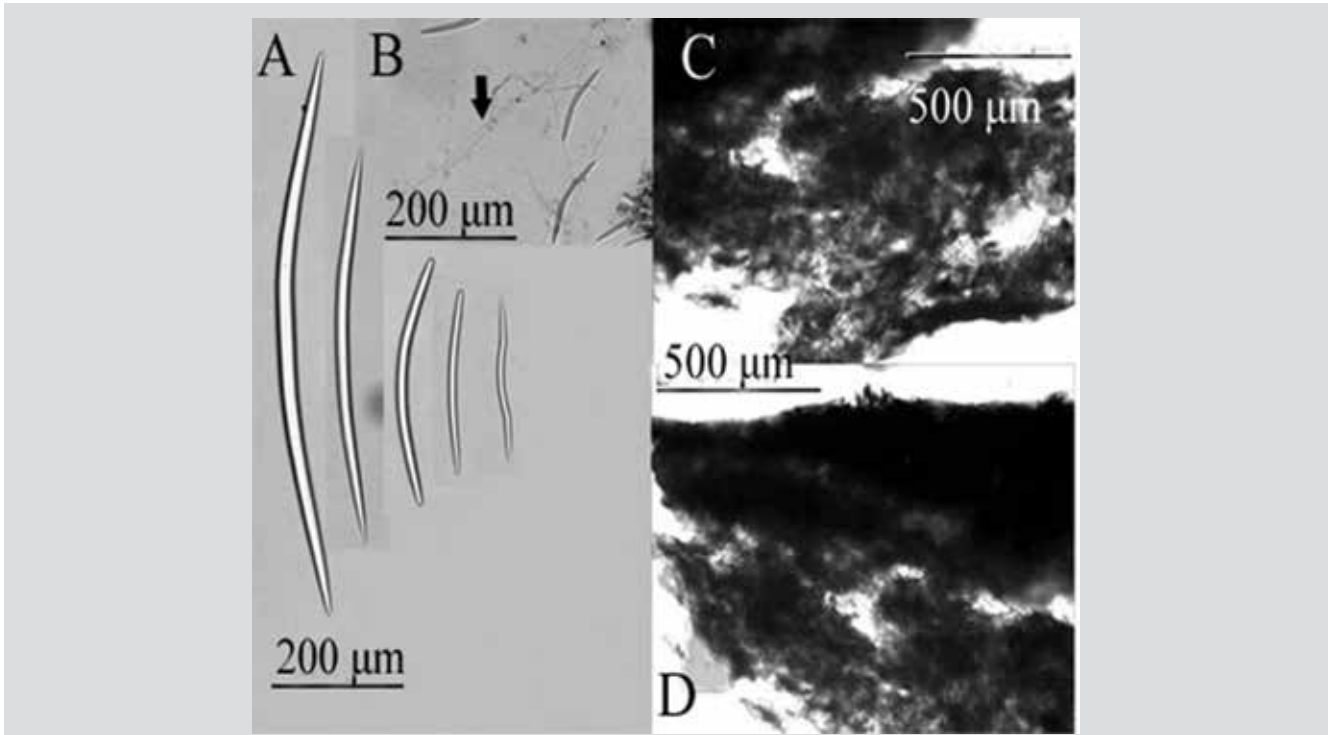


Figura 15. *Epipolasis* sp. A) Oxeas. B) Rafidios (señalados con flecha). C) y D) Esqueleto.

Figure 15. *Epipolasis* sp. A) Oxeas. B) Raphides (indicated with an arrow). C) and D) Skeleton.

Familia Suberitidae Schmidt, 1870

**Especie 15. *Terpios* sp.**

Figura 16; Lám. 2, fig. 4.

**Material estudiado:** INV POR1403, cabo Marzo, La Foca, sobre octocoral, 17 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015.

**Forma:** revestimiento delgado liso. **Color:** amarillo brillante; amarillo pálido en alcohol. **Consistencia:** suave. **Ectosoma:** pinacodermo atravesado por mechones o hileras de espículas coanosomales, perpendiculares a la superficie. **Coanosoma:** esqueleto confuso con tractos o grupos de espículas sin dirección definida (Figura 16B, 16C). **Espículas:** tiloestilos cortos, ligeramente curvos, con cabeza irregular arrugada, abultada, estrecha, aplanada, o lobulada, 137-219-339  $\mu\text{m}$  por 2,1-3,1-4,1  $\mu\text{m}$  (Figura 16A).

**Hábitat:** sobre octocoral *Carijoa riisei* en arrecife rocoso.

**Distribución:** Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** no ha sido descrita ninguna esponja con tiloestilos de cabeza lobulada o irregular para el Pacífico Oriental, por lo que la identificación se realizó con base en Rützler y Smith (1993), quienes describieron nuevas especies del género *Terpios* en el Caribe. Se requiere de más material para definir su estatus taxonómico.

Family Suberitidae Schmidt, 1870

**Species 15. *Terpios* sp.**

Figure 16; Plate 2, fig. 4.

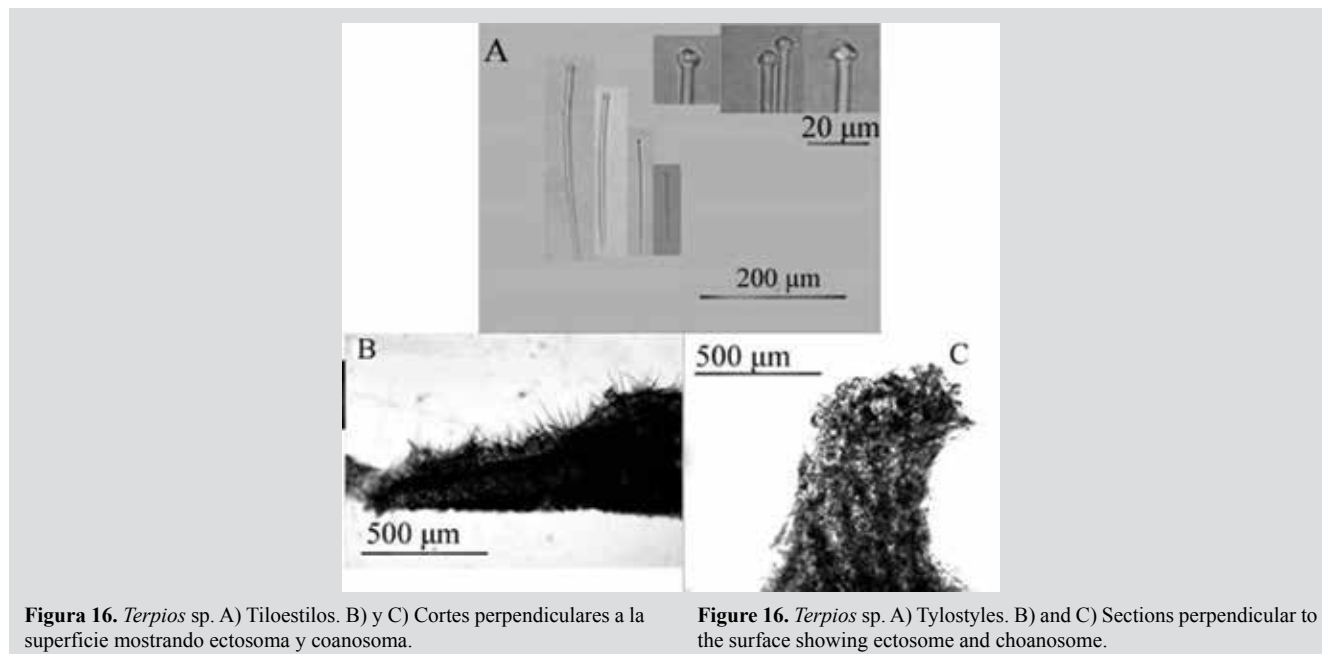
**Material studied:** INV POR1403, Cape Marzo, La Foca, octocoral envelope, 17 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015.

**Shape:** smooth thin coating. **Color:** bright yellow; pale yellow in alcohol. **Consistency:** soft. **Ectosome:** pinacoderm crossed by tufts or rows of choanosomal spicules, perpendicular to the surface. **Choanosome:** confused skeleton with tracts or groups of spicules without definite direction (Figure 16B, 16C). **Spicules:** short tylostyles, slightly curved, with irregular wrinkled, bulging, narrow, flattened, or lobed head, 137-219-339  $\mu\text{m}$  by 2.1-3.1-4.1  $\mu\text{m}$  (Figure 16A).

**Habitat:** on octocoral *Carijoa riisei* on rocky reef.

**Distribution:** Colombian North Pacific.

**Comments:** no sponge with lobed or irregular tylostyle heads has been described for the Eastern Pacific, so the identification was made based on Rützler and Smith (1993), who described new species of the genus *Terpios* in the Caribbean. More material is required to define its taxonomic status.



**Figura 16.** *Terpios* sp. A) Tiloestilos. B) y C) Cortes perpendiculares a la superficie mostrando ectosoma y coanosoma.

**Figure 16.** *Terpios* sp. A) Tylostyles. B) and C) Sections perpendicular to the surface showing ectosome and choanosome.

Orden Tetractinellida Marshall, 1876

Suborden Astrophorina Sollas, 1887

Familia Geodiidae Gray, 1867

Subfamilia Geodiinae Gray, 1867

**Especie 16. *Geodia media* Bowerbank, 1873**

Figura 17.

*Geodia media* Bowerbank, 1873: 13, Lám. II; Lendefeld, 1910, Lám. 16, figs. 1-21, Lám. 17, figs. 1-22; Desqueroux-Faúndes y Van Soest, 1997: 408, figs. 69-76; Vega, 2012: 56, figs. 7.2.8. A, B, C.

**Material estudiado:** INV POR1363, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 6 m, col. L. Chasqui, 16-08-2015.

**Forma:** masiva amorfa, de pequeño tamaño, no más de 1-2 cm de diámetro y 0,9 cm de grosor. Superficie microrrugosa, llana. **Color:** blanca en alcohol. **Consistencia:** corteza dura, coanosoma frágil. **Ectosoma:** corteza de esterrásteres fuertemente agrupados, de 1576-1940 µm de grosor, conteniendo también oxiásteres y strongilásteres. **Coanosoma:** tractos de ortotriaenas y anatriaenas, 123-422 µm de ancho, separados entre sí 60-671 µm, sosteniendo la corteza (Figura 17J). **Espículas:** megascleras: oxeas ligeramente curvas, 288-938-1445 µm por 10,2-21,3-32,7 µm (Figura 17E); strongiloxeas con puntas desiguales, con terminaciones afiladas y romas, ligeramente curvas, 132-182-313 µm por 4,1-6,4-17,4 µm (Figura 17A); estilos robustos, poco frecuentes, 993-1049-1106 µm por 36,5-

Order Tetractinellida Marshall, 1876

Suborder Astrophorina Sollas, 1887

Family Geodiidae Gray, 1867

Subfamily Geodiinae Gray, 1867

**Species 16. *Geodia media* Bowerbank, 1873**

Figure 17.

*Geodia media* Bowerbank, 1873: 13, Plate II; Lendefeld, 1910, Plate 16, figs. 1-21, Plate 17, figs. 1-22; Desqueroux-Faúndes and Van Soest, 1997: 408, figs. 69-76; Vega, 2012: 56, figs. 7.2.8. A, B, C.

**Material studied:** INV POR1363, Punta Cruces, La Parguera-Piñas, 6 m, col. L. Chasqui, 08-16-2015.

**Shape:** massive amorphous, small in size, no more than 1-2 cm in diameter and 0.9 cm thick. Micro-rough, even surface. **Color:** white in alcohol. **Consistency:** hard cortex, fragile choanosome. **Ectosome:** cortex of tightly packed sterrasters, 1576-1940 µm thick, also containing oxyasters and strongylasters. **Choanosome:** orthotriaene and anatriaene tracts, 123-422 µm wide, 60-671 µm apart, supporting the cortex (Figure 17J). **Spicules:** megascleres: slightly curved oxeas, 288-938-1445 µm by 10.2-21.3-32.7 µm (Figure 17E); strongyloxeas with uneven tips, with sharp and blunt ends, slightly curved, 132-182-313 µm by 4.1-6.4-17.4 µm (Figure 17A); robust styles, rare, 993-1049-1106 µm by 36.5-38.9-41.2 µm (Figure 17C); orthotriaenes, rhabdome 512-1012-1497 µm by 35-44-62 µm, cladome

38,9-41,2  $\mu\text{m}$  (Figura 17C); ortotriaenas, rabdoma de 512-1012-1497  $\mu\text{m}$  por 35-44-62  $\mu\text{m}$ , cladoma 140-270-405  $\mu\text{m}$ , clados 73-154-200  $\mu\text{m}$  por 15,6-28,9-40,6  $\mu\text{m}$  (Figura 17B); plagiotraenas, rabdoma 382-956-1301  $\mu\text{m}$  por 16,5-23,9-38,0  $\mu\text{m}$ , cladoma 64-176-314  $\mu\text{m}$ , clados 43-65-85  $\mu\text{m}$  por 10,5-16,8-21,5  $\mu\text{m}$  (Figura 17F); anatriaenas, rabdoma 382-727-879  $\mu\text{m}$  por 16,5-28,6-40,6  $\mu\text{m}$ , cladoma 64-156-246  $\mu\text{m}$ , clados 22,6-26,2-30,0  $\mu\text{m}$  por 10,5-13,4-17,5  $\mu\text{m}$  (Figura 17D). **Microscleras:** esterrásteres, 37-68-91  $\mu\text{m}$  por 40-55-70  $\mu\text{m}$  (Figura 17G); estrongilásteres, 3,2-4,9-7,2  $\mu\text{m}$  (Figura 17I); oxiásteres, 18,6-27,2-37,8  $\mu\text{m}$  (Figura 17H).

**Hábitat:** en paredes de arrecifes rocosos someros.

**Distribución:** Costa Pacífica de México (Bowerbank, 1873; Vega, 2012); Panamá (Lendenfeld, 1910); islas Galápagos (Desqueyroux-Faúndez y Van Soest, 1997); Pacífico norte colombiano.

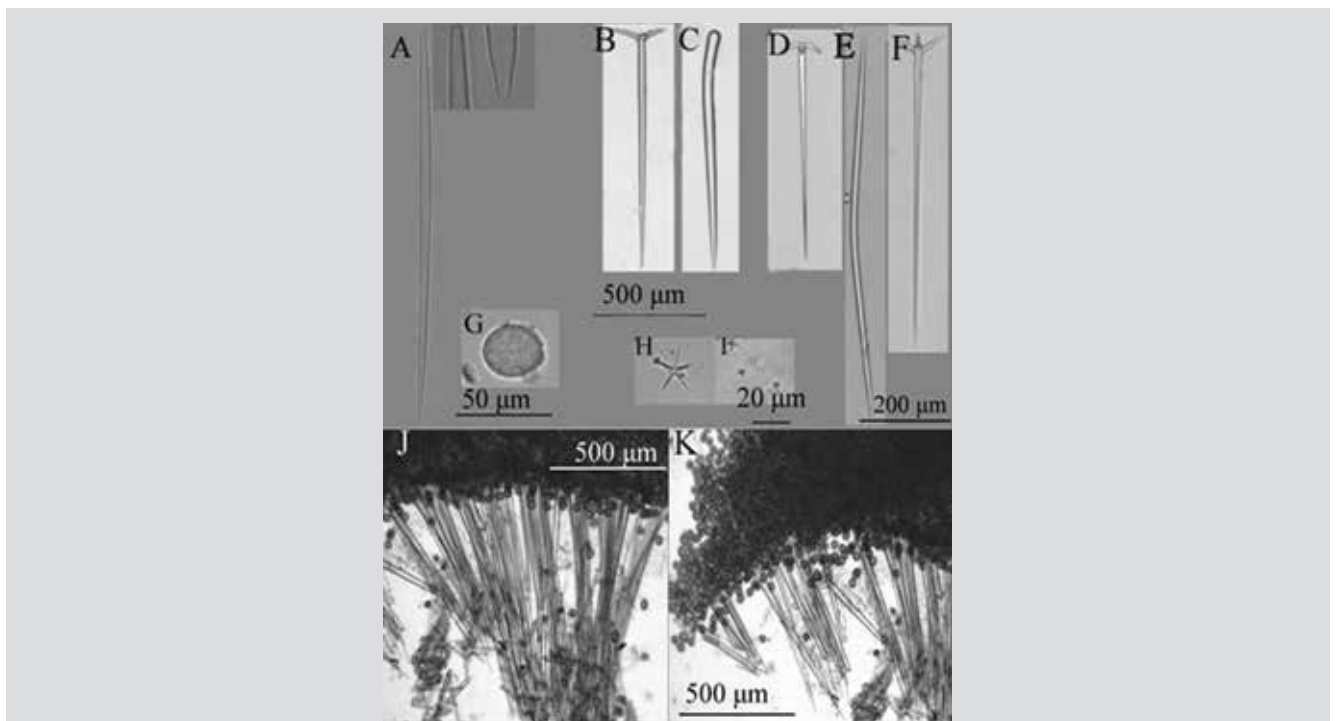
**Comentarios:** la identificación se basó en Lendenfeld (1910) y Desqueyroux-Faúndez y Van Soest (1997). La muestra es más similar a la que describe Lendenfeld (1910) por presentar estilos y orto-plagiotriaenas; sin embargo, las medidas difieren un poco de las de Colombia. La diferenciación entre especies de este género es bastante difícil, ya que se han descrito muchas hasta la actualidad.

140-270-405  $\mu\text{m}$ , clades 73-154-200  $\mu\text{m}$  by 15.6-28.9-40.6  $\mu\text{m}$  (Figure 17B); plagiotraenes, rhabdome 382-956-1301  $\mu\text{m}$  by 16.5-23.9-38.0  $\mu\text{m}$ , cladome 64-176-314  $\mu\text{m}$ , clades 43-65-85  $\mu\text{m}$  by 10.5-16.8-21.5  $\mu\text{m}$  (Figure 17F); anatriaenes, rhabdome 382-727-879  $\mu\text{m}$  by 16.5-28.6-40.6  $\mu\text{m}$ , cladome 64-156-246  $\mu\text{m}$ , clades 22.6-26.2-30.0  $\mu\text{m}$  by 10.5-13.4-17.5  $\mu\text{m}$  (Figure 17D). **Microscleres:** sterrasters, 37-68-91  $\mu\text{m}$  by 40-55-70  $\mu\text{m}$  (Figure 17G); strongylasters, 3.2-4.9-7.2  $\mu\text{m}$  (Figure 17I); oxyasters, 18.6-27.2-37.8  $\mu\text{m}$  (Figure 17H).

**Habitat:** on shallow rocky reef walls.

**Distribution:** Pacific Coast of Mexico (Bowerbank, 1873; Vega, 2012); Panama (Lendenfeld, 1910); Galapagos Islands (Desqueyroux-Faúndez and Van Soest, 1997); Colombian North Pacific.

**Comments:** the identification was based on Lendenfeld (1910) and Desqueyroux-Faúndez and Van Soest (1997). The sample is more similar to that described by Lendenfeld (1910) for presenting styles and ortho-plagiotriaenes; however, the measurements differ somewhat from those of Colombia. The differentiation between species of this genus is quite difficult since many have been described to date.



**Figura 17.** *Geodia media*. A) Estrongiloxea. B) Ortotriaena. C) Estilo. D) Anatriaena. E) Oxea. F) Plagiotriaena. G) Esterráster. H) Oxiáster. I) Estrongiláster. J) y K) Corte perpendicular mostrando la corteza ectosómica y el coanósoma.

**Figure 17.** *Geodia media*. A) Strongyloxea. B) Ortotriaena. C) Style. D) Anatriaena. E) Oxea. F) Plagiotriaena. G) Sterraster. H) Oxyaster. I) Strongylasters. J) and K) Perpendicular section showing the ectosomal cortex and the choanosome.

Subclase Keratosa Grant, 1861

Orden Dendroceratida Minchin, 1900

Familia Darwinellidae Merejkowsky, 1879

**Especie 17. *Aplysilla* sp.**

Figura 18; Lám. 2, fig. 5.

?*Aplysilla sulphurea*; Thiele 1905: 488, figs. 112, 114.

Non *Aplysilla sulfurea* Schulze, 1878 (especie válida del Mediterráneo y el Atlántico Oriental).

Non *Aplysilla "sulfurea"*; Escobar 2000: 101, fig. 39.

Non *Aplysilla sulphurea*; Vega, 2012: 113, figs. 7.2.65. A, B.

**Material estudiado:** INV POR1366, cabo Corrientes, Piedra de Jairo, 18 m, col. L. Chasqui, 18-08-2015. INV POR1367, cabo Corrientes, Piedra de Jairo, 18 m, col. L. Chasqui, 18-08-2015. INV POR1369, cabo Corrientes, Piedra de Colo, 14 m, col. L. Chasqui, 19-08-2015.

**Forma:** revestimiento de unos pocos mm de grosor; superficie conulosa. **Color:** amarillo pálido, beige en alcohol.

**Consistencia:** blanda, fibras elásticas, pero algo templadas.

**Ectosoma:** fibras de espongina sostienen el pinacodermo, pero pueden perforarlo y sobresalir más allá. Los cónulos en el material preservado tienen una altura de 118-342 µm (Figura 18C, 18D). **Coanosoma:** fibras de espongina individuales, erectas, de 35-89 µm de diámetro, que salen de una placa basal; algunas se ramifican y ascienden hacia la superficie (Figura 18A, 18B).

**Hábitat:** sobre arrecife rocoso junto con octocoral *Carijoa riisei*.

**Distribución:** Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** *Aplysilla polyraphis* De Laubenfels, 1930 registrada en California se distingue por ser púrpura oscura en vida y preservada, lo que difiere con las muestras chocóanas. Las fibras de espongina de *Aplysilla lendenfeldi* Thiele, 1905 de Chile son más gruesas, por lo que tampoco correspondería a esa especie. Las características de *A. sulfurea*, descrita para el estrecho de Magallanes (Thiele, 1905), son similares, pero debe hacerse un análisis más detallado para asegurar que se trata de la misma especie, especialmente por la gran distancia respecto al Pacífico colombiano. Ya que originalmente *A. sulfurea* se encuentra en el Atlántico oriental y el Mediterráneo, sería incorrecto llamar así al material del Pacífico Oriental. Escobar (2000) y Vega (2012) describen una *Aplysilla sulphurea* (*sulphurea* en el caso de Vega, 2012 y "*sulfurea*" en el caso de Escobar, 2000), que es amarilla en vida y se oxida a púrpura al ser fijada en alcohol, por lo que se infiere que tampoco se trataría de la misma especie.

Subclass Keratose Grant, 1861

Order Dendroceratida Minchin, 1900

Family Darwinellidae Merejkowsky, 1879

**Species 17. *Aplysilla* sp.**

Figure 18; Plate 2, fig. 5.

?*Aplysilla sulphurea*; Thiele 1905: 488, figs. 112, 114.

Non *Aplysilla sulphurea* Schulze, 1878 (Valid Mediterranean and Eastern Atlantic species).

Non *Aplysilla "sulphurea"*; Escobar 2000: 101, fig. 39.

Non *Aplysilla sulphurea*; Vega, 2012: 113, figs. 7.2.65. A, B.

**Material studied:** INV POR1366, Cape Corrientes, Piedra de Jairo, 18 m, col. L. Chasqui, 08-18-2015. INV POR1367, Cape Corrientes, Piedra de Jairo, 18 m, col. L. Chasqui, 08-18-2015. INV POR1369, Cape Corrientes, Piedra de Colo, 14 m, col. L. Chasqui, 08-19-2015.

**Shape:** encrustation of a few mm thick; conulose surface.

**Color:** pale yellow, beige in alcohol. **Consistency:** soft; elastic but somewhat rigid fibers. **Ectosome:** spongin fibers support the pinacoderm, but can pierce it and protrude beyond it. The conules in the preserved material have a height of 118-342 µm (Figure 18C, 18D). **Choanosome:** single, erect spongin fibers 35-89 µm in diameter emerging from a basal plate; some branch out and rise to the surface (Figure 18A, 18B).

**Habitat:** over rocky reef along with octocoral *Carijoa riisei*.

**Distribution:** Colombian North Pacific.

**Comments:** *Aplysilla polyraphis* De Laubenfels, 1930 recorded in California is distinguished by being dark purple in life and preserved, which differs from the Chocó samples. The spongin fibers of *Aplysilla lendenfeldi* Thiele, 1905 from Chile are thicker, so it would not correspond to that species either. The characteristics of *A. sulphurea*, described for the Strait of Magellan (Thiele, 1905), are similar, but a more detailed analysis must be made to ensure that it is the same species, especially due to the great distance from the Colombian Pacific. Since *A. sulphurea* is originally found in the Eastern Atlantic and the Mediterranean, it would be incorrect to call the Eastern Pacific material that. Escobar (2000) and Vega (2012) describe an *Aplysilla sulphurea* (*sulphurea* in the case of Vega, 2012 and "*sulfurea*" in the case of Escobar, 2000), which is yellow in life and oxidizes to purple when fixed in alcohol, so it follows that it would not be the same species either.

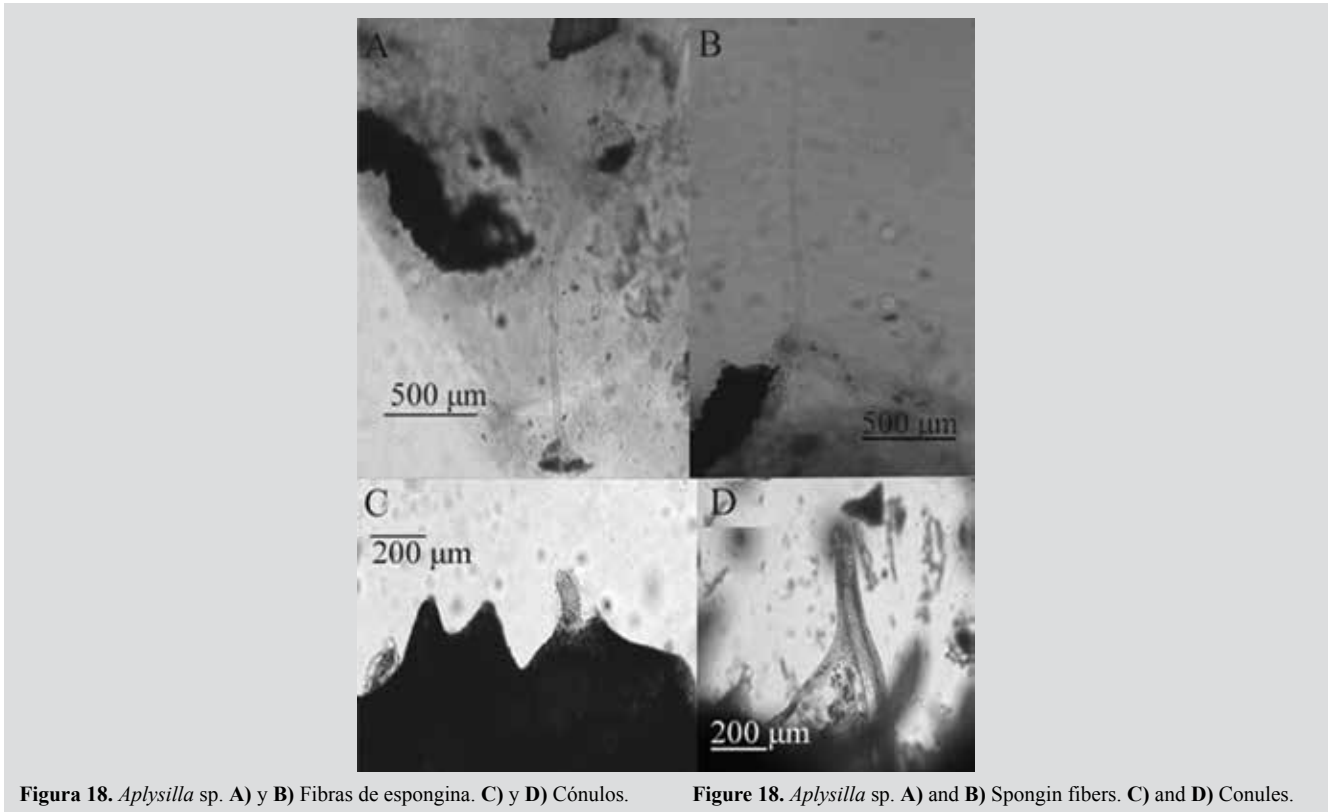


Figura 18. *Aplysilla* sp. A) y B) Fibras de espongina. C) y D) Cónulos.

Figure 18. *Aplysilla* sp. A) and B) Spongin fibers. C) and D) Conules.

**Especie 18. *Chelonaplysilla violacea***  
**(Lendenfeld, 1883) sensu Gómez, Carballo,**  
**Vázquez y Cruz, 2002**

**Species 18. *Chelonaplysilla violacea***  
**(Lendenfeld, 1883) sensu Gómez, Carballo,**  
**Vázquez and Cruz, 2002**

Figura 19; Lám. 2, fig. 6.

Figure 19; Plate 2, fig. 6.

?*Aplysilla violacea* Lendenfeld, 1883: 237, Lám. X, figs. 5, 7.

?*Aplysilla violacea* Lendenfeld, 1883: 237, Plate X, figs. 5, 7.

*Chelonaplysilla violacea*; Gómez, Carballo, Vázquez y Cruz, 2002: 234, fig. 7 (con sinonimia adicional); Vega, 2012: 114, figs. 7.2.66. A, B.

*Chelonaplysilla violacea*; Gómez, Carballo, Vázquez and Cruz, 2002: 234, fig. 7 (with additional synonymy); Vega, 2012: 114, figs. 7.2.66. A, B.

**Material estudiado:** INV POR1368, cabo Corrientes, Piedra de Colo, 19 m, col. L. Chasqui, 19-08-2015. INV POR1379, golfo de Tribugá, Morromico, fragmentos de roca, 11,9 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015.

**Material studied:** INV POR1368, Cape Corrientes, Piedra de Colo, 19 m, col. L. Chasqui, 08-19-2015. INV POR1379, Gulf of Tribugá, Morromico, rock fragments, 11.9 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015.

**Forma:** cojines delgados de algunos centímetros de diámetro, conulosos, con ósculos dispersos, ligeramente elevados con un collar orgánico. **Color:** púrpura grisáceo, con el collar oscular más oscuro; púrpura oscuro en alcohol. **Consistencia:** suave y frágil. **Ectosoma:** superficie conulosa reforzada por una red poligonal de detritus de 33-72 µm de grosor y ojo de malla de 50-164 µm (Figura 19A, 19B). **Coanosoma:** fibras solitarias de espongina de 37-80 µm de grosor (Figura 19C, 19D), que surgen de una placa basal y ascienden hacia la superficie; las fibras son meduladas y la médula ocupa 37-67 % del diámetro.

**Shape:** thin cushions a few centimeters in diameter, conular, with scattered oscules, slightly raised with an organic collar. **Color:** greyish purple, with darker dark collar; dark purple in alcohol. **Consistency:** soft and brittle. **Ectosome:** conulose surface reinforced by a 33-72 µm thick polygonal debris network and 50-164 µm mesh size (Figure 19A, 19B). **Choanosome:** solitary spongin fibers 37-80 µm thick (Figure 19C, 19D), arising from a basal plate and rising to the surface; the fibers are pithed and the pith occupy 37-67 % of the diameter.



**Hábitat:** sobre arrecife rocoso somero.

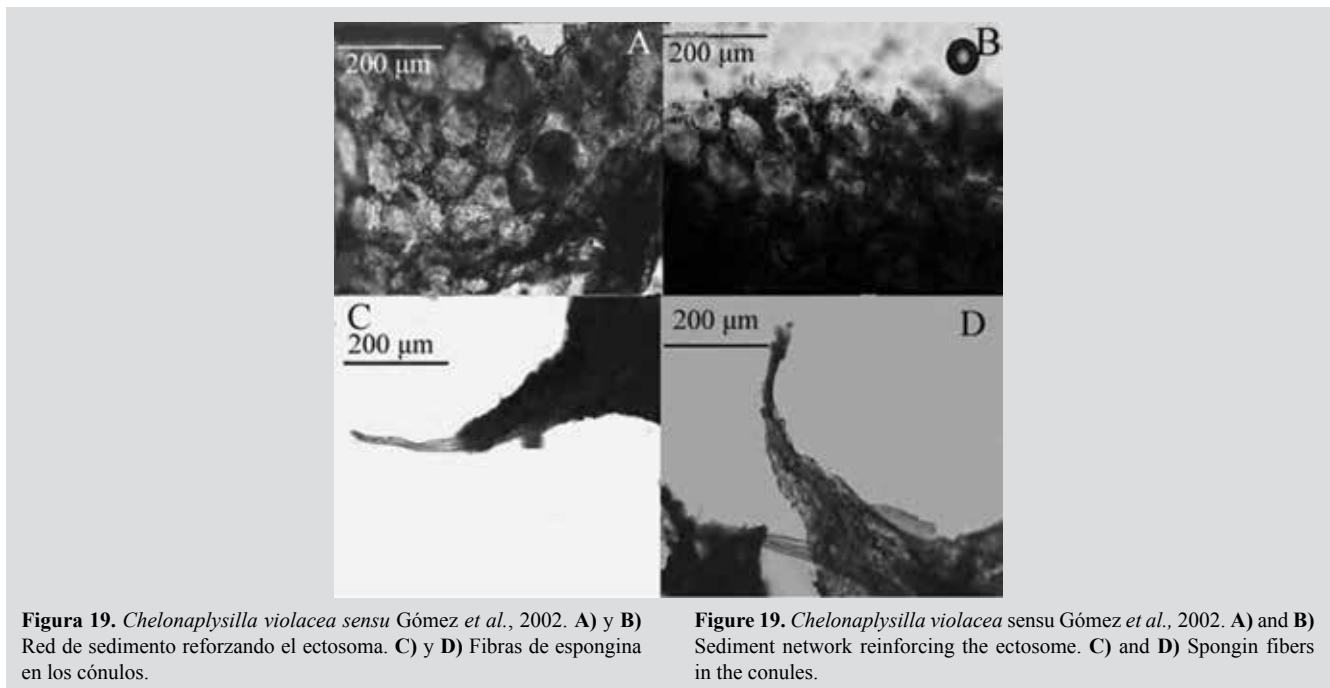
**Distribución:** costa Pacífica de México (Gómez *et al.*, 2002); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** el material se ajusta al que describen Gómez *et al.* (2002) de la costa Pacífica de México. Fue descrita originalmente del Pacífico Occidental, por lo que podría tratarse de un complejo de especies crípticas. De ahí la decisión de adscribirla solo al sentido de dichos autores. Es muy similar a *Chelonaplysilla americana* Van Soest, 2017 del Caribe, descrita para Colombia por Zea (1987) como *C. erecta* Row, 1911, lo que sugiere que serían especies hermanas.

**Habitat:** on a shallow rocky reef.

**Distribution:** Pacific coast of Mexico (Gómez *et al.*, 2002); Colombian North Pacific.

**Comments:** the material conforms to that described by Gómez *et al.* (2002) from the Pacific coast of Mexico. It was originally described from the Western Pacific, so it could be a complex of cryptic species. Hence the decision to ascribe it only to the meaning of these authors. It is very similar to *Chelonaplysilla americana* Van Soest, 2017 from the Caribbean, described for Colombia by Zea (1987) as *C. erecta* Row, 1911, suggesting that they would be sister species.



Orden Dictyoceratida Minchin, 1900

Familia Thorectidae Bergquist, 1978

Subfamilia Thorectinae Bergquist, 1978

**Especie 19. *Scalarispongia similis* (Thiele, 1905)**

Figura 20.

*Cacospongia similis* Thiele, 1905: 481, fig. 108; Desqueyroux-Faúndez y Van Soest, 1997: 455, figs. 200-205.

*Scalarispongia similis*; Cook y Bergquist, 2000: 398 (transferencia de género).

**Material estudiado:** INV POR1392, Punta Cruces, La Viuda, 13-15 m, col. L. Chasqui, 14-08-2015.

Order Dictyoceratida Minchin, 1900

Family Thorectidae Bergquist, 1978

Subfamily Thorectinae Bergquist, 1978

**Species 19. *Scalarispongia similis* (Thiele, 1905)**

Figure 20.

*Cacospongia similis* Thiele, 1905: 481, fig. 108; Desqueyroux-Faúndez and Van Soest, 1997: 455, figs. 200-205.

*Scalarispongia similis*; Cook and Bergquist, 2000: 398 (genus transfer).

**Material studied:** INV POR1392, Punta Cruces, La Viuda, 13-15 m, col. L. Chasqui, 08-14-2015.

**Forma:** revestimiento delgado, con superficie conulosa. **Color:** rosado opaco en alcohol. **Consistencia:** firme, poco compresible. **Ectosoma:** pinacodermo grueso y fibroso; cónulos de 114-281  $\mu\text{m}$  de altura, separados 314-1173  $\mu\text{m}$ , formados por fibras primarias que sobresalen del coanosoma. **Coanosoma:** red regular prismática de espongina con fibras primarias ascendentes, 20-80  $\mu\text{m}$  de grosor, rellenas con espículas foráneas y sedimento, separadas 143-373  $\mu\text{m}$ , interconectadas por fibras secundarias transversales, 25-7  $\mu\text{m}$  de grosor, o una red secundaria con aberturas de 55-521  $\mu\text{m}$  de diámetro (Figura 20).

**Hábitat:** sobre arrecife rocoso somero.

**Distribución:** islas Galápagos (Desqueyroux-Faúndez y Van Soest, 1997); islas Juan Fernández y Desventuradas de Chile (Thiele, 1905); hay un registro de la costa argentina (Burton, 1940) que requiere confirmación; Pacífico norte colombiano.

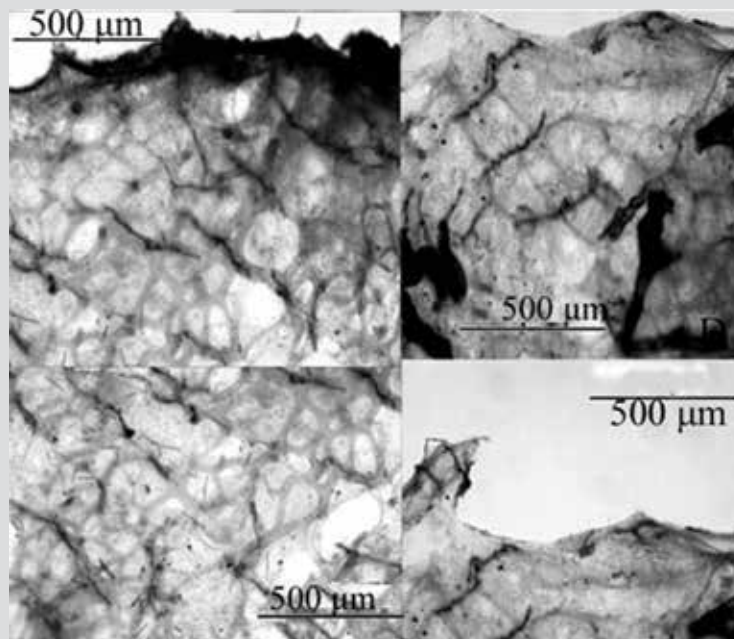
**Comentarios:** la organización en red rectangular y la presencia de espículas u otras partículas foráneas dentro de las fibras es diagnóstico de esta especie; el diámetro de las fibras es muy parecido al original, aunque las fibras secundarias son más gruesas en la muestra colombiana. Thiele (1905) la describió por primera vez en Chile, lo que puede indicar que esta especie se distribuye por todo el Pacífico Oriental. De confirmarse el registro de Burton (1940), se extendería también al sur del Atlántico americano.

**Shape:** thin encrustation, conulose surface. **Color:** dull pink in alcohol. **Consistency:** firm, little compressible. **Ectosome:** thick and fibrous pinacoderm; conules 114-281  $\mu\text{m}$  high, separated 314-1173  $\mu\text{m}$ , shaped by primary fibers protruding from the choanosome. **Choanosome:** Regular prismatic spongin network with ascending primary fibers, 20-80  $\mu\text{m}$  thick, filled with foreign spicules and sediment, separated 143-373  $\mu\text{m}$ , interconnected by transverse secondary fibers, 25-7  $\mu\text{m}$  thick, or a secondary network with meshes 55-521  $\mu\text{m}$  in diameter (Figure 20).

**Habitat:** on a shallow rocky reef.

**Distribution:** Galapagos Islands (Desqueyroux-Faúndez and Van Soest, 1997); Juan Fernández and Desventuradas Islands of Chile (Thiele, 1905); there is a record from the Argentina coast (Burton, 1940) that requires confirmation; Colombian North Pacific.

**Comments:** the rectangular network organization and the presence of spicules or other foreign particles within the fibers are diagnostic of this species; the diameter of the fibers is very similar to the original, although the secondary fibers are thicker in the Colombian sample. Thiele (1905) described it for the first time in Chile, which may indicate that this species is distributed throughout the Eastern Pacific. If Burton's record (1940) is confirmed, it would also extend to the south of the American Atlantic.



**Figura 20.** *Scalarispongia similis*. Cortes perpendiculares a la superficie mostrando el ectosoma y las redes de espongina del coanosoma.

**Figure 20.** *Scalarispongia similis*. Sections perpendicular to the surface showing the ectosome and the spongin networks of the choanosome.

Subclase Verongimorpha Erpenbeck, Sutcliffe,  
De Cook, Dietzel, Maldonado, Van Soest, Hooper y  
Wörheide, 2012

Orden Chondrosiida Boury-Esnault y Lopes, 1985

Familia Chondrosiidae Schulze, 1877

**Especie 20. *Chondrosia tenochca* Carballo,  
Gómez, Cruz-Barraza y Flores-Sánchez,  
2003**

Figura 21; Lám. 3, fig. 1.

*Chondrosia tenochca* Carballo, Gómez, Cruz-Barraza y  
Flores-Sánchez, 2003: 517; Vega, 2012: 87, figs. 7.2.39. A,  
B, C.

**Material estudiado:** INV POR1371, cabo Corrientes,  
Piedra de Colo, 11 m, col. L. Chasqui, 19-08-2015.

**Forma:** revestimiento de 1-2 mm de grueso, estirado sobre  
el sustrato y parcialmente fragmentado; superficie lisa,  
llana, brillante. **Color:** púrpura oscuro a negro, beige en  
la superficie y púrpura grisáceo en el interior en alcohol.  
**Consistencia:** tenaz, correosa. **Ectosoma:** sin esqueleto.  
En cortes se observa una corteza orgánica de unos 300  
µm de grosor compuesta de dos capas, la más superficial  
más clara y la interna más densa, producto aparente de  
células granuladas. **Coanosoma:** muy denso, fibroso, pero  
menos granuloso que el ectosoma, sin esqueleto de fibras  
de esponjina o espículas; se observan algunos canales que  
desembocan en los ósculos (Figura 21).

**Hábitat:** sobre arrecife rocoso somero.

**Distribución:** costa Pacífica de México (Carballo *et al.*,  
2003; Vega, 2012); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** inicialmente se creía que se trataba de una  
ascidia colonial, pero se descartó al evidenciar una corteza  
densa de células que va disminuyendo hacia la parte basal  
y algunos canales carnosos en el coanosoma. Hasta el  
momento, este es el segundo registro de esta especie para  
el POT.

Subclass Verongimorpha Erpenbeck, Sutcliffe,  
De Cook, Dietzel, Maldonado, Van Soest, Hooper and  
Wörheide, 2012

Order Chondrosiida Boury-Esnault and Lopes, 1985

Family Chondrosiidae Schulze, 1877

**Species 20. *Chondrosia tenochca* Carballo,  
Gómez, Cruz-Barraza and Flores-Sánchez,  
2003**

Figure 21; Plate 3, fig. 1.

*Chondrosia tenochca* Carballo, Gómez, Cruz-Barraza and  
Flores-Sánchez, 2003: 517; Vega, 2012: 87, figs. 7.2.39.A,  
B, C.

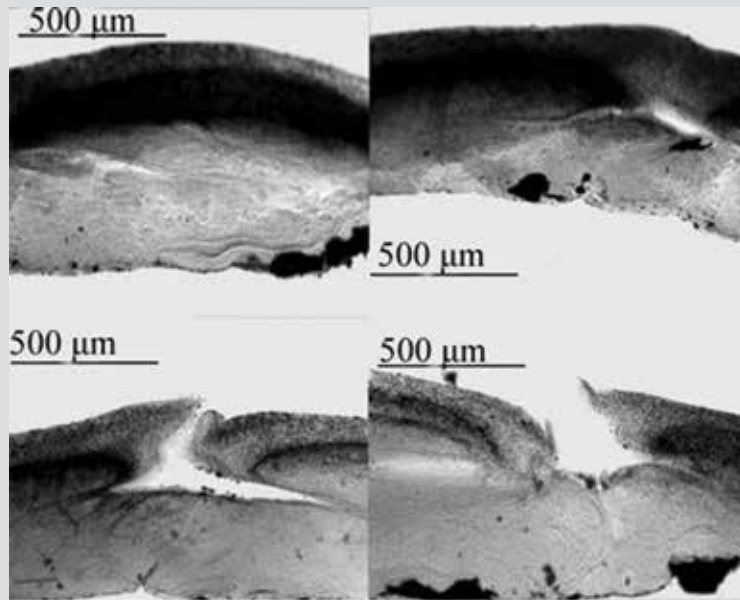
**Material studied:** INV POR1371, Cape Corrientes, Piedra  
de Colo, 11 m, col. L. Chasqui, 08-19-2015.

**Shape:** encrustation 1-2 mm thick, stretched over the  
substratum and partially fragmented; smooth, flat, shiny  
surface. **Color:** dark purple to black, beige on the surface,  
and grayish-purple on the inside in alcohol. **Consistency:**  
tough, leathery. **Ectosome:** without a skeleton. In sections,  
an organic crust of about 300 µm thick is observed,  
composed of two layers, the clearest superficial one and  
the inner denser one, an apparent product of granular  
cells. **Choanosome:** very dense, fibrous, but less granular  
than the ectosome, without skeleton of spongin fibers  
or spicules; some canals that flow into the oscules are  
observed (Figure 21).

**Habitat:** on a shallow rocky reef.

**Distribution:** Pacific coast of Mexico (Carballo *et al.*,  
2003; Vega, 2012); Colombian North Pacific.

**Comments:** initially it was believed that it was a colonial  
ascidian, but it was discarded when a dense cortex of cells  
that decreases towards the basal part was evidenced, with  
some fleshy channels in the choanosome. So far, this is the  
second record of this species for the ETP.



**Figura 21.** *Chondrosia tenochca*. Cortes perpendiculares mostrando el ectosoma y el coanosoma, con canales y ósculos.

**Figure 21.** *Chondrosia tenochca*. Perpendicular sections showing the ectosome and choanosome, with canals and oscules.

Orden Verongiida Bergquist, 1978

Familia Aplysinidae Carter, 1875

**Especie 21.** *Aplysina chiriquiensis* Díaz,  
Van Soest, Rützler y Guzmán, 2005

Figura 22; Lám. 3, fig. 2.

*Aplysina chiriquiensis* Díaz, Van Soest, Rützler y Guzmán, 2005: 3, figs. 1-3.

**Material estudiado:** INV POR1402, cabo Marzo, La Foca, 18,3 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015. INV POR1405, cabo Marzo, Piedra de Rodrigo, 18,5 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015.

**Forma:** erecta, de ramas cilíndricas engrosadas o lateralmente comprimidas con hinchazones anulares, proyecciones en forma de dedos o redondeadas y extremos nudosos que salen del tallo principal. Altura entre 10 y 45 cm; ramas 3-12 mm de grosor y 21-71 mm de largo. Ósculos circulares, distribuidos en una o más filas a lo largo de las ramas, con una membrana tipo collar. **Color:** exterior amarillo ocre, interior amarillo intenso; púrpura oscuro en alcohol. **Consistencia:** ligeramente compresible y elástica. **Ectosoma:** superficie microconulosa; cónulos distribuidos regularmente, formados por los finales en crecimiento de las fibras del coanosoma, que sostienen el pinacodermo. **Coanosoma:** esqueleto como una red poligonal u oval de fibras color ámbar (Figura 22C, 22D), laminadas concéntricamente, 49-117 µm de grosor, formando mallas de 135-535 µm de diámetro. Las fibras tienen una

Orden Verongiida Bergquist, 1978

Family Aplysinidae Carter, 1875

**Species 21.** *Aplysina chiriquiensis* Díaz,  
Van Soest, Rützler and Guzmán, 2005

Figure 22; Plate 3, fig. 2.

*Aplysina chiriquiensis* Díaz, Van Soest, Rützler and Guzmán, 2005: 3, figs. 1-3.

**Material studied:** INV POR1402, Cape Marzo, La Foca, 18.3 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015. INV POR1405, Cape Marzo, Piedra de Rodrigo, 18.5 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015.

**Shape:** erect, thickened, or laterally compressed cylindrical branches with annular swellings, finger-shaped or rounded projections, and knotty ends emerging from the main stem. Height between 10 and 45 cm; branches 3-12 mm thick and 21-71 mm long. Circular oscules, distributed in one or more rows along the branches, with a collar-like membrane. **Color:** ocher yellow exterior, intense yellow interior; dark purple in alcohol. **Consistency:** slightly compressible and elastic. **Ectosome:** microconulous surface; conules regularly distributed, shaped by the growing ends of the fibers of the choanosome, which support the pinacoderm. **Choanosome:** skeleton as a polygonal or oval network of amber fibers (Figure 22C, 22D), concentrically laminated, 49-117 µm thick, forming meshes of 135-535 µm in diameter. The fibers have a dark granular pith that occupies 31-57 % of

médula granular oscura que ocupa 31-57 % del diámetro. Hacia la superficie, las fibras tienden a ser dendríticas, con un largo de 189-584  $\mu\text{m}$  (Figura 22A, 22B), más delgadas que las ubicadas hacia el tallo principal.

**Hábitat:** abundante en los arrecifes rocosos someros.

**Distribución:** Costa Rica, Panamá, islas Galápagos (Díaz *et al.*, 2005); Pacífico norte colombiano.

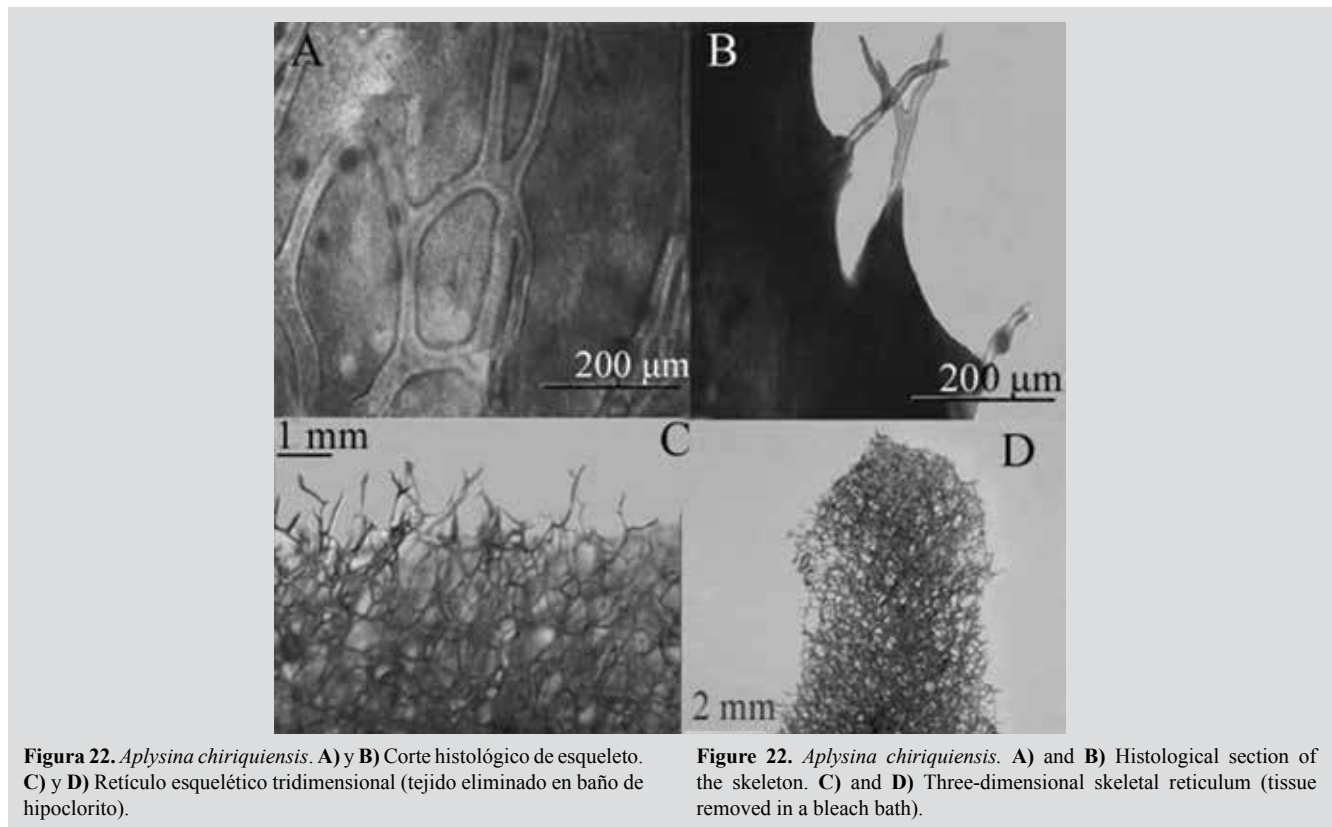
**Comentarios:** se registra por primera vez para el Pacífico norte colombiano y para el Pacífico colombiano en general. Es la única especie del género con forma de ramas verticales en el POT.

the diameter. Towards the surface, the fibers tend to be dendritic, with a length of 189-584  $\mu\text{m}$  (Figure 22A, 22B), thinner than those located towards the main stem.

**Habitat:** abundant on shallow rocky reefs.

**Distribution:** Costa Rica, Panama, Galapagos Islands (Díaz *et al.*, 2005); Colombian North Pacific.

**Comments:** it is recorded for the first time for the Colombian North Pacific and the Colombian Pacific in general. It is the only species of the genus with the shape of vertical branches in the ETP.



**Figura 22.** *Aplysina chiriquiensis*. A) y B) Corte histológico de esqueleto. C) y D) Reticulo esquelético tridimensional (tejido eliminado en baño de hipoclorito).

**Figure 22.** *Aplysina chiriquiensis*. A) and B) Histological section of the skeleton. C) and D) Three-dimensional skeletal reticulum (tissue removed in a bleach bath).

**Especie 22. *Aplysina gerardogreeni***  
Gómez y Bakus, 1992

Figura 23; Lám. 3, fig. 3.

*Aplysina gerardogreeni* Gómez y Bakus, 1992: 176, Lám. 1-2; Cruz-Barraza, Carballo, Rocha-Olivares, Ehrlich y Hog, 2012: 4, figs. 1E, F; 2I, J; Vega, 2012: 116, figs. 7.2.68. A, B.

*Suberea gerardogreeni*; Escobar, 2000: 108, figs. 41-42.

**Material estudiado:** INV POR1374, golfo de Tribugá, Morromico, 11,7 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015. INV

**Species 22. *Aplysina gerardogreeni***  
Gómez and Bakus, 1992

Figure 23; Plate 3, fig. 3.

*Aplysina gerardogreeni* Gómez and Bakus, 1992: 176, Plate 1-2; Cruz-Barraza, Carballo, Rocha-Olivares, Ehrlich and Hog, 2012: 4, figs. 1E, F; 2I, J; Vega, 2012: 116, figs. 7.2.68. A, B.

*Suberea gerardogreeni*; Escobar, 2000: 108, figs. 41-42.

**Material studied:** INV POR1374, Gulf of Tribugá, Morromico, 11.7 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015. INV





POR1377, Morromico, 11,9 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015. INV POR1388, Punta Cruces, La Viuda, 13-15 m, col. L. Chasqui, 14-08-2015. INV POR1393 y 1394, Punta Cruces, La Mina, 15 m, col. L. Chasqui, 16-08-2015. INV POR1398 y 1399, cabo Marzo, Piedra de Eroito, 17,5 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015.

**Forma:** masiva y lobular, de hasta 10-15 cm de diámetro y unos 5-10 cm de altura; superficie conulosa; ósculos en el tope de los lóbulos, usualmente con una membrana a manera de collar. **Color:** externamente amarillo oscuro (ocre) con tonos púrpura en vivo, interior amarillo; púrpura oscuro en alcohol. **Consistencia:** firme y ligeramente compresible. **Ectosoma:** pinacodermo fácilmente desprendible, sostenido por finales de las fibras del coanosoma, que conforman los cónulos. **Coanosoma:** red poligonal tridimensional de fibras de espongina con abertura de malla de 148-1037  $\mu\text{m}$  de diámetro (Figura 23D). Fibras de 53-156  $\mu\text{m}$  de diámetro, con corteza de color ámbar con protuberancias pequeñas y médula de 33-84 % del diámetro (Figura 23C). Cerca de la superficie, las fibras se tornan dendríticas y generalmente se bifurcan y forman la superficie conular, que termina en puntas redondeadas, con un largo de 571-643  $\mu\text{m}$ .

**Hábitat:** abundante en los arrecifes rocosos del Pacífico norte colombiano.

**Distribución:** sur de Baja California a Oaxaca (México) (Gómez y Bakus, 1992; Cruz-Barraza *et al.*, 2012; Vega, 2012); bahía Málaga en el Pacífico colombiano (Escobar, 2000); Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** se revisaron los estudios de Gómez y Bakus (1992) y Cruz-Barraza *et al.* (2012) del Pacífico mexicano. La presencia de una red poligonal tridimensional regular y las medidas del diámetro son similares en ambas descripciones; sin embargo, comparando la abertura de malla, es más pequeña que la que registran Gómez y Bakus (1992), 1,1-1,9 mm vs 0,2-1 mm en nuestro material. También se compararon las especies descritas por Gómez *et al.* (2018) del golfo de California. La forma de crecimiento y el color externo de nuestro material es similar a *A. airapii*, pero el esqueleto, en lugar de una malla uniplanar, cuenta con una red poligonal de donde surgen fibras dendríticas, lo cual también difiere de *A. sinuscaliforniensis*, que tiene un esqueleto totalmente reticulado, sin fibras dendríticas.

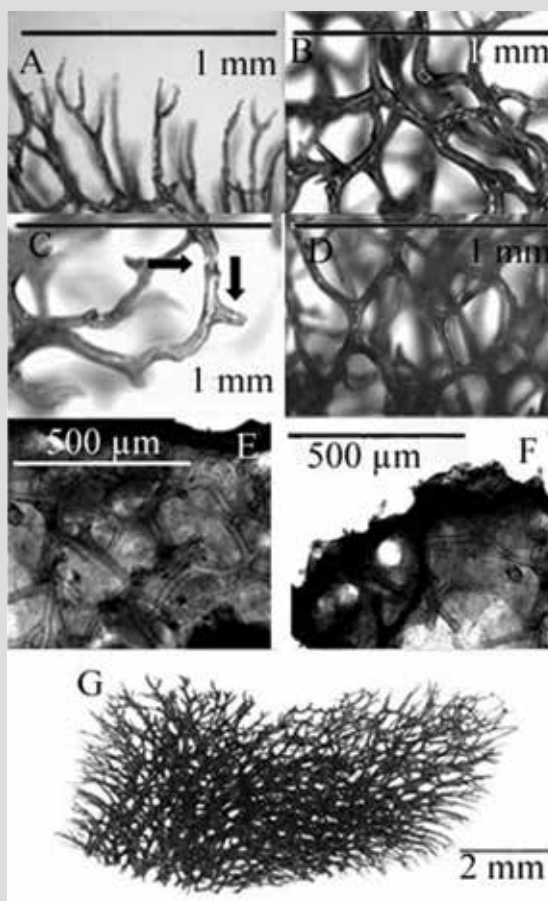
POR1377, Morromico, 11.9 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015. INV POR1388, Punta Cruces, La Viuda, 13-15 m, col. L. Chasqui, 08-14-2015. INV POR1393 and 1394, Punta Cruces, La Mina, 15 m, col. L. Chasqui, 08-16-2015. INV POR1398 and 1399, Cape Marzo, Piedra de Eroito, 17.5 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015.

**Shape:** massive and lobular, up to 10-15 cm in diameter and about 5-10 cm in height; conuloses surface; oscules at the top of the lobes, usually with a membrane as a collar. **Color:** externally dark yellow (ocher) with purple hues in vivid, yellow interior; dark purple in alcohol. **Consistency:** firm and slightly compressible. **Ectosome:** easily detachable pinacoderm, supported by the end of the fibers of the choanosome, which conform the conules. **Choanosome:** three-dimensional polygonal network of spongin fibers with a mesh size of 148-1037  $\mu\text{m}$  in diameter (Figure 23D). Fibers 53-156  $\mu\text{m}$  in diameter, with amber crust with small protrusions and pith 33-84 % of the diameter (Figure 23C). Near the surface, the fibers become dendritic and generally bifurcate and form the conular surface, ending in rounded tips, 571-643  $\mu\text{m}$  long.

**Habitat:** abundant in the rocky reefs of the Colombian North Pacific.

**Distribution:** southern Baja California to Oaxaca (Mexico) (Gómez and Bakus, 1992; Cruz-Barraza *et al.*, 2012; Vega, 2012); Málaga Bay in the Colombian Pacific (Escobar, 2000); Colombian North Pacific.

**Comments:** the studies by Gómez and Bakus (1992) and Cruz-Barraza *et al.* (2012) from the Mexican Pacific were reviewed. The presence of a regular three-dimensional polygonal lattice and the diameter measurements are similar in both descriptions; however, comparing the mesh size, it is smaller than that recorded by Gómez and Bakus (1992), 1.1-1.9 mm vs 0.2-1 mm in our material. The species described by Gómez *et al.* (2018) from the Gulf of California was also compared. The growth form and the external color of our material is similar to *A. airapii*, but the skeleton, instead of a uniplanar mesh, has a polygonal network from which dendritic fibers arise, which also differs from *A. sinuscaliforniensis*, which has a fully cross-linked skeleton, without dendritic fibers.



**Figura 23.** *Aplysina gerardogreeni*. A) Fibras dendríticas bifurcadas en la superficie. B) Médula de la fibra de esponjina. C) Detalle de fibras con corteza y médula nodular y protuberancias cortas (señaladas con flechas). D) Red poligonal tridimensional. E) y F) Corte histológico. G) Retícula esquelética tridimensional (en G y en A-D el tejido fue eliminado en baño de hipoclorito).

**Figure 23.** *Aplysina gerardogreeni*. A) Dendritic fibers bifurcated on the surface. B) Pith of the spongin fiber. C) Detail of fibers with nodular cortex and pith and short protrusions (indicated with arrows). D) Three-dimensional polygonal network. E) and F) Histological section. G) Three-dimensional skeletal reticulation (in G and A-D the tissue was removed in a bleach bath).

**Especie 23. *Aplysina cf. revillagigedi***  
**Cruz-Barraza, Carballo, Rocha-Olivares,**  
**Ehrlich y Hog, 2012**

Figura 24; Lám. 3, fig. 4.

*Aplysina revillagigedi* Cruz-Barraza, Carballo, Rocha-Olivares, Ehrlich y Hog, 2012: 3, figs. 1B, C; 2F-H.

**Material estudiado:** INV POR1382, golfo de Tribugá, Morros de Jurubidá, 14,5 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015. INV POR1390 y 1391, Punta Cruces, La Viuda, 13-15 m, col. L. Chasqui, 14-08-2015. INV POR1406, cabo Marzo, 18,5 m, col. L. Chasqui, 15-08-2015.

**Forma:** masiva amorfa, lobulada, de aproximadamente 5 cm de diámetro y hasta unos 3 cm de alto. Superficie lisa, cónulos evidentes en muestras preservadas, suaves al tacto. Ósculos dispersos o alineados en el tope de los lóbulos, 1,6-6,7 mm de diámetro. **Color:** amarillo brillante; púrpura

**Species 23. *Aplysina cf. revillagigedi***  
**Cruz-Barraza, Carballo, Rocha-Olivares,**  
**Ehrlich and Hog, 2012**

Figure 24; Plate 3, fig. 4.

*Aplysina revillagigedi* Cruz-Barraza, Carballo, Rocha-Olivares, Ehrlich and Hog, 2012: 3, figs. 1B, C; 2F-H.

**Material studied:** INV POR1382, Gulf of Tribugá, Morros de Jurubidá, 14.5 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015. INV POR1390 and 1391, Punta Cruces, La Viuda, 13-15 m, col. L. Chasqui, 08-14-2015. INV POR1406, Cape Marzo, 18.5 m, col. L. Chasqui, 08-15-2015.

**Shape:** massive amorphous, lobulated, about 5 cm in diameter and up to about 3 cm high. Smooth surface, conules evident in preserved specimens, soft to the touch. Scattered or aligned oscules at top of lobes, 1.6-6.7 mm diameter. **Color:** bright yellow; dark purple in alcohol.

oscuro en alcohol. **Consistencia:** flexible, ligeramente compresible. **Ectosoma:** finales de la red coanosómica sostienen el pinacodermo. **Coanosoma:** esqueleto tridimensional reticulado, poligonal a irregular, y muy abierto, con mallas de 153-1037  $\mu\text{m}$  de diámetro. Fibras de color ámbar o marrón oscuro, 119-60  $\mu\text{m}$  de diámetro, con médula de 29-74 % del diámetro (Figura 24A). Hacia la superficie, terminan a manera de fibras dendríticas de 326-1749  $\mu\text{m}$  de largo, con puntas redondeadas (Figura 24B).

**Hábitat:** arrecifes rocosos someros.

**Distribución:** Pacífico mexicano (Cruz-Barraza *et al.*, 2012); Pacífico norte colombiano

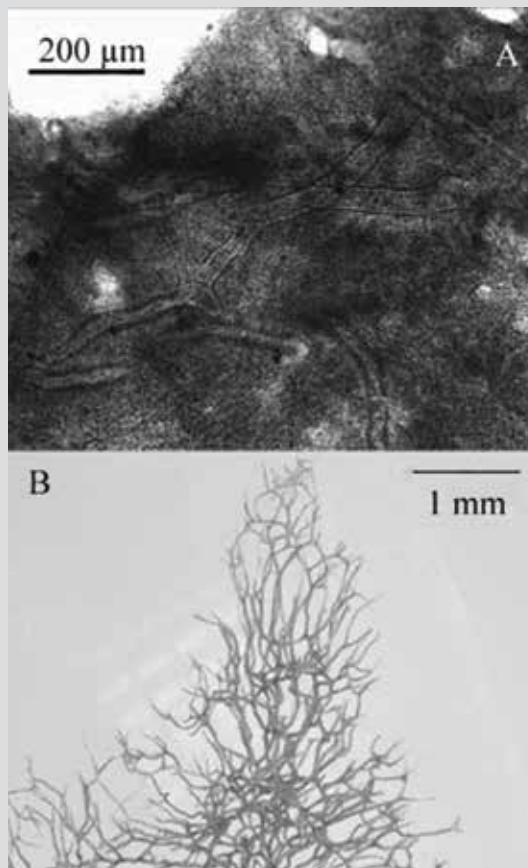
**Comentarios:** la identificación es tentativa, pues es difícil separar las especies masivas de *Aplysina* del POT. La forma de crecimiento y la organización de la red de espongina se confunde con la de *A. gerardogreeni*, ya que algunas muestras son lóbulos tubulares con un ósculo apical, pero, en estas, la organización del esqueleto cerca de la superficie muestra fibras que se ramifican y terminan en puntas redondeadas como las de *A. revillagigedi*.

**Consistency:** flexible, slightly compressible. **Ectosome:** end of the choanosomal network supports the pinacoderm. **Choanosome:** three-dimensional cross-linked, polygonal to irregular, and very open skeleton, with meshes of 153-1037  $\mu\text{m}$  in diameter. Amber or dark brown fibers, 119-60  $\mu\text{m}$  in diameter, with pith 29-74 % of the diameter (Figure 24A). Towards the surface, they terminate as dendritic fibers 326-1749  $\mu\text{m}$  long, with rounded tips (Figure 24B).

**Habitat:** shallow rocky reefs.

**Distribution:** Mexican Pacific (Cruz-Barraza *et al.*, 2012); Colombian North Pacific.

**Comments:** identification is tentative, as it is difficult to separate the massive *Aplysina* species from the ETP. The shape of growth and the organization of the spongin network is confused with that of *A. gerardogreeni*, since some samples are tubular lobes with an apical osculum, but, in these, the organization of the skeleton near the surface shows fibers that branch out and end in rounded tips like those of *A. revillagigedi*.



**Figura 24.** *Aplysina* cf. *revillagigedi*. **A)** Corte histológico. **B)** Reticulación esquelética tridimensional (tejido eliminado en baño de hipoclorito).

**Figure 24.** *Aplysina* cf. *revillagigedi*. **A)** Histological section. **B)** Three-dimensional skeletal reticulation (tissue removed in a bleach bath).

Familia Ianthellidae Hyatt, 1875

**Especie 24. *Vansoestia* sp.**

Figura 25; Lám. 3, fig. 5.

**Material estudiado:** INV POR1370, cabo Corrientes, Piedra de Colo, 14 m, col. L. Chasqui, 19-08-2015. INV POR1384, golfo de Tribugá, Morros de Jurubidá, 10 m, col. L. Chasqui, 20-08-2015.

**Forma:** revestimiento delgado extendiéndose irregular y fraccionadamente sobre el sustrato, por varios centímetros.

**Color:** púrpura claro; púrpura oscuro en alcohol.

**Consistencia:** suave. **Ectosoma:** pinacodermo con una especie de red de cordones de mayor densidad celular, con ojo de malla de 17-57  $\mu\text{m}$  de diámetro (Figura 25C).

**Coanosoma:** cordones granuloso de células, a manera de fibras, 96-182  $\mu\text{m}$  de diámetro (Figura 25A, 25B). En los cortes y macerados se vislumbran fibras verticales cortas con gran acumulación de detritos (Figura 25D), pero son difíciles de discernir por lo pigmentado de las células.

**Hábitat:** sobre arrecife rocoso y otros organismos.

**Distribución:** Pacífico norte colombiano.

**Comentarios:** se incluyó en el género *Vansoestia* por su similitud con *Vansoestia caribensis* Díaz, Thacker, Redmond, Pérez y Collins, 2015 tanto en la morfología

Family Ianthellidae Hyatt, 1875

**Species 24. *Vansoestia* sp.**

Figure 25; Plate 3, fig. 5.

**Material studied:** INV POR1370, Cape Corrientes, Piedra de Colo, 14 m, col. L. Chasqui, 08-19-2015. INV POR1384, Gulf of Tribugá, Morros de Jurubidá, 10 m, col. L. Chasqui, 08-20-2015.

**Shape:** thin encrustation spreading irregularly and fractionally over the substratum, for several centimeters.

**Color:** light purple; dark purple in alcohol. **Consistency:**

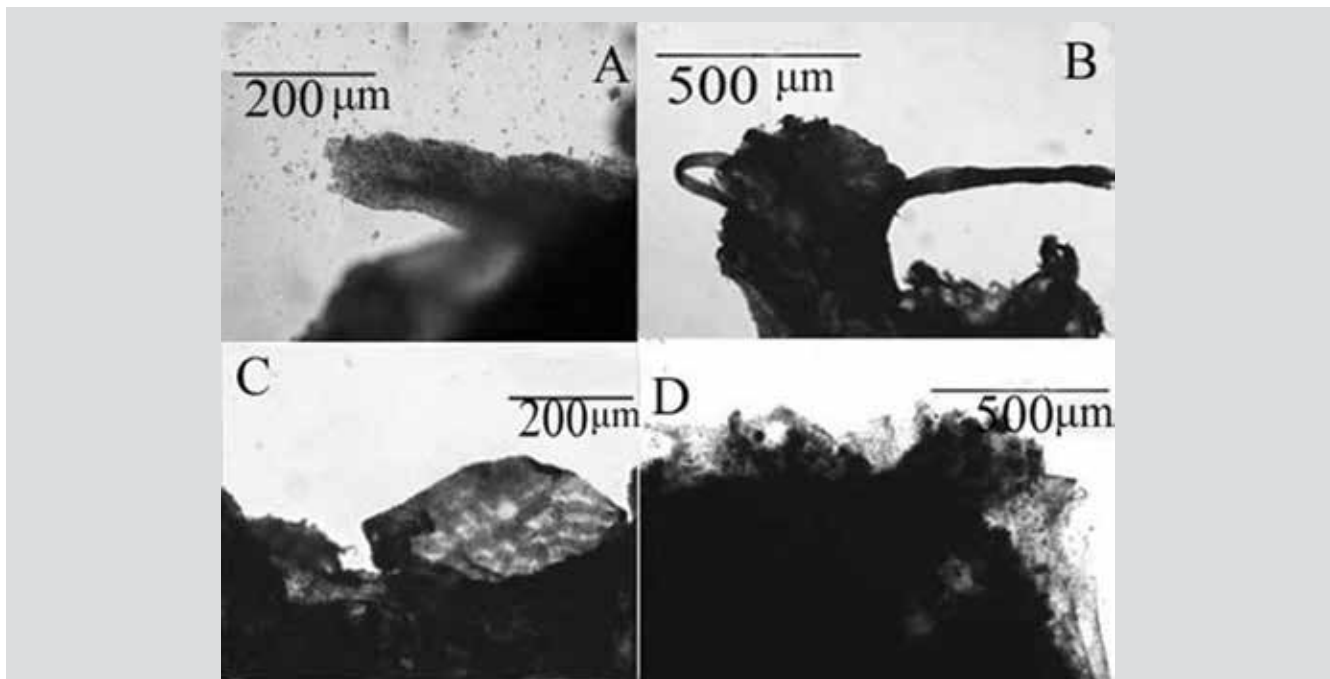
soft. **Ectosome:** pinacoderm with a sort of net of strands of higher cell density, with a mesh size of 17-57  $\mu\text{m}$  in diameter (Figure 25C).

**Choanosome:** grainy fiber-like strands of cells, 96-182  $\mu\text{m}$  in diameter (Figure 25A, 25B). Short vertical fibers with a large accumulation of debris are visible in sections and macerates (Figure 25D), but they are difficult to discern due to the pigmentation of the cells.

**Habitat:** on a rocky reef and other organisms.

**Distribution:** Colombian North Pacific.

**Comments:** this species was included in the genus *Vansoestia* due to its similarity with *Vansoestia caribensis* Díaz, Thacker, Redmond, Pérez, and Collins, 2015 both in external morphology and in the presence of granular strands.



**Figura 25.** *Vansoestia* sp. A) y C) Cordones granuloso. B) Red ectosómica de cordones granuloso. D) Partículas foráneas aparentemente incluidas en una fibra.

**Figure 25.** *Vansoestia* sp. A) and C) Grainy strands. B) Ectosomic network of granular strands. D) Foreign particles included in a fiber.

externa como en la presencia de cordones granulados. No parece haber fibras de espongina tipo *Aplysilla* (limpias), pero podría haber fibras tipo *Pleraplysilla* (rellena de detritos); por ello, Zea *et al.* (2014) llamaron *Pleraplysilla* sp. a sus muestras de *V. caribensis*, por la presencia aparente de fibras verticales cortas no divididas, rellenas de detritos. Confirmarlo requiere de métodos histológicos diferentes como cortes desbastados y pulidos.

## DISCUSIÓN

La diversidad conocida de esponjas en la región del POT, con no más de un centenar de especies (Van Soest *et al.*, 2012), es mucho menor que la del Caribe, con al menos 519 especies (Miloslavich *et al.*, 2010). La primera y más obvia razón es un esfuerzo de muestro desigual entre ambas regiones, lo cual fue notado por Van Soest *et al.* (2012). Mientras en el Caribe se considera que el grupo es bien conocido (> 70 % de las especies descritas, al menos cuatro guías de identificación; Miloslavich *et al.*, 2010), la fauna de esponjas del POT está entre las menos conocidas globalmente, con solo cuatro estudios recientes que incluyen listas de especies (Escobar, 2000; Berman, 2004; Lizarazo, 2018; Carballo *et al.*, 2019).

En Colombia, ese sesgo es aún más marcado, pues mientras para el Caribe existen más de 25 trabajos publicados sobre biodiversidad de esponjas (Zea, 1987; Zea *et al.*, 2014), así como una guía de identificación (Zea, 1987), para el Pacífico colombiano se conocen solamente tres trabajos no publicados (Narváez, 1999; Escobar, 2000; Lizarazo, 2018). En consecuencia, mientras que para el Caribe colombiano se han registrado más de 150 especies de esponjas (Silva y Zea, 2017), para el Pacífico se conocen solo 46 especies. Sin embargo, esa diferencia en la biodiversidad de esponjas entre las dos costas va más allá de un mero sesgo de muestreo, como lo sugieren los resultados de Carballo *et al.* (2019). Ellos compararon la diversidad de esponjas en arrecifes coralinos del POT, el Caribe y el Pacífico Occidental, y muestran grandes diferencias en abundancia y riqueza de especies, así como en formas de crecimiento (masivas y expuestas en el Caribe y Pacífico Occidental *versus* pequeñas, incrustantes y crípticas en el POT). Observaciones realizadas durante el trabajo de campo en este estudio comparadas con observaciones de los autores en hábitats “similares” (*i. e.* arrecifes e islotes rocosos) de la costa Caribe sugieren que las observaciones de Carballo *et al.* (2019) sobre la marcada diferencia entre las comunidades de esponjas de arrecifes coralinos del

There do not appear to be *Aplysilla*-type fibers (clean), but there could be *Pleraplysilla*-type fibers (filled with debris); therefore, Zea *et al.* (2014) called *Pleraplysilla* sp. *V. caribensis* samples, due to the apparent presence of short, undivided vertical fibers, filled with detritus. Confirming this requires different histological methods such as ground and polished sections.

## DISCUSSION

The known diversity of sponges in the ETP region, with no more than a hundred species (Van Soest *et al.*, 2012), is much lower than that of the Caribbean, with at least 519 species (Miloslavich *et al.*, 2010). The first and most obvious reason is an uneven sampling effort between both regions, which was noted by Van Soest *et al.* (2012). While in the Caribbean the group is considered to be well known (> 70% of the described species, at least four identification guides; Miloslavich *et al.*, 2010), the sponge fauna of the ETP is among the least known globally, with only four recent studies that include lists of species (Escobar, 2000; Berman, 2004; Lizarazo, 2018; Carballo *et al.*, 2019).

In Colombia, this bias is even more marked, because while for the Caribbean there are more than 25 published works on sponge biodiversity (Zea, 1987; Zea *et al.*, 2014), as well as an identification guide (Zea, 1987), for the Colombian Pacific, only three unpublished works are known (Narváez, 1999; Escobar, 2000; Lizarazo, 2018). Consequently, while for the Colombian Caribbean more than 150 sponge species have been recorded (Silva and Zea, 2017), for the Pacific only 46 species are known. However, this difference in sponge biodiversity between the two coasts goes beyond mere sampling bias, as suggested by the results of Carballo *et al.* (2019). They compared the diversity of sponges in coral reefs of the ETP, the Caribbean, and the Western Pacific, and showed large differences in abundance and richness of species, as well as in growth forms (massive and exposed in the Caribbean and Western Pacific versus small, encrusting and cryptic in the ETP). Observations made during fieldwork in this study compared with the authors' observations at “similar” habitats (*i. e.* reefs and rocky islets) off the Caribbean coast suggest that the observations of Carballo *et al.* (2019) on the marked difference between the coral reef sponge communities of the Mexican Pacific and the Caribbean also apply to the rocky reef ecosystems in Colombia.



Pacífico mexicano y del Caribe aplican también para los ecosistemas de arrecifes rocosos en Colombia.

Varias explicaciones se han propuesto para esas diferencias en las comunidades de esponjas entre las dos regiones, que involucran factores biológicos (*v. g.* depredación, competencia) y físicos (*v. g.* sedimentación, turbulencia, abrasión) a escala local, así como fenómenos a escala regional y global (*v. g.* surgencia, ENSO) (Wulff, 1997; Carballo *et al.*, 2019). En cuanto a la diferencia en las formas de crecimiento predominantes en ambas costas (*i. e.* incrustantes y masivas pequeñas ocultas entre el arrecife en el POT *versus* grandes colonias erectas en la columna de agua en el Caribe), se cree que una fuerte presión de depredación en el POT, en especial de peces esponjívoros, sobre especies que en su mayoría carecen de defensas químicas restringe la colonización y un mayor desarrollo en ambientes expuestos (Bakus, 1964; Wulff, 1997). Carballo *et al.* (2019) atribuyen esa fuerte diferencia en las comunidades de esponjas entre el Caribe y el POT al efecto de un acentuado régimen de perturbaciones naturales locales y de gran escala que actúan a largo plazo sobre una biota que quizá no fue nunca particularmente exuberante [*i. e.* hablando específicamente de esponjas asociadas a arrecifes coralinos, ver López-Pérez (2017) para un contexto general sobre origen de la biota coralina del POT] y que quedó virtualmente aislada hace alrededor de tres millones de años con el levantamiento del istmo de Panamá. Entonces, perturbaciones naturales de gran impacto como los cambios en temperatura superficial y régimen de nutrientes causados por el ENSO (Wang *et al.*, 2017), así como eventos recurrentes de mareas bajas extremas, entre otros, pudieron generar procesos de extinción local y regional en comunidades de esponjas, lo que sumado a una ausencia de efecto de rescate debido al levantamiento del istmo y a la virtual imposibilidad de colonización natural de nuevas especies de esponjas a través de la barrera del Pacífico (*i. e.* más de 7000 km de aguas abiertas y profundas) podrían ser las fuerzas principales que han sentenciado una empobrecida fauna de Porifera en el POT.

Por otra parte, es bien conocida la marcada diferencia en biodiversidad marina entre el POT y el Caribe, especialmente en lo que se refiere a la biota de los arrecifes coralinos (Veron, 1995). En términos generales, una escasa presencia y desarrollo de formaciones coralinas en el POT afecta enormemente cualquier comparación de biodiversidad con el Caribe, la segunda región en desarrollo coralino del mundo, en cualquier taxón que esté fuertemente asociado a esos ecosistemas, como es el caso de las esponjas.

Several explanations have been proposed for these differences in sponge communities between the two regions, involving biological (*e.g.* predation, competition) and physical (*e.g.* sedimentation, turbulence, abrasion) factors on a local scale, as well as phenomena on a regional and global scale. (*e.g.* upwelling, ENSO) (Wulff, 1997; Carballo *et al.*, 2019). Regarding the difference in the predominant growth forms on both coasts (*i.e.* encrusting and massive small hidden between the reef in the ETP versus large colonies growing upright into the water column in the Caribbean), it is believed that a strong predation pressure in ETP, especially of spongivorous fish, on species that mostly lack chemical defenses, restricts colonization and further development in exposed environments (Bakus, 1964; Wulff, 1997). Carballo *et al.* (2019) attribute this strong difference in sponge communities between the Caribbean and the ETP to the effect of an accentuated regime of local and large-scale natural disturbances that act in the long term on a biota that was perhaps never particularly exuberant [*i.e.* speaking specifically of sponges associated with coral reefs, see López-Pérez (2017) for a general context on the origin of the coral biota of the ETP] and that was virtually isolated around three million years ago with the uprising of the Isthmus of Panama. Then, natural disturbances of great impact such as changes in surface temperature and nutrient regime caused by ENSO (Wang *et al.*, 2017), as well as recurring events of extreme low tides, among others, could generate local and regional extinction processes in sponge communities, which added to an absence of rescue effect due to the uplift of the isthmus and the virtual impossibility of natural colonization of new sponge species through the Pacific barrier (*i.e.* more than 7000 km of open and deep water) could be the main forces that have sentenced an impoverished Porifera fauna in the ETP.

On the other hand, the marked difference in marine biodiversity between the ETP and the Caribbean is well known, especially with regard to the biota of coral reefs (Veron, 1995). In general terms, a scarce presence and development of coral formations in the ETP greatly affect any comparison of biodiversity with the Caribbean, the second region in coral development in the world, in any taxon that is strongly associated with these ecosystems, as in the case of sponges. Even, not only the low presence of coral reefs but of reefs in general (*i.e.* including rocky reefs) in the Colombian Pacific (*e.g.* Posada *et al.*, 2009) affects the diversity indicators of sessile biota that requires hard substratum to settle.

Incluso, no solo la baja presencia de arrecifes coralinos, sino de arrecifes en general (*i. e.* incluyendo arrecifes rocosos) en el Pacífico colombiano (*v. g.* Posada *et al.*, 2009) afecta los indicadores de diversidad de la biota sésil que requiere sustrato duro para asentarse.

De las esponjas identificadas, seis especies son morfológicamente similares (especies geminadas) con especies del Caribe colombiano, lo que podría indicar que: 1. Se trata de especies hermanas con un ancestro común previo al cierre del istmo; 2. Se trata de poblaciones de una misma especie quizá en un lento proceso de divergencia evolutiva vía especiación vicariante; 3. alguna de las dos poblaciones es una invasión biológica mediada por el transporte marítimo (*i. e.* como *biofouling*) vía canal de Panamá. La respuesta necesariamente pasa por el análisis genético molecular de un número de especímenes de esas “especies geminadas”, el cual está fuera del alcance de este trabajo; sin embargo, este asunto deja ver que la historia evolutiva de poblaciones de especies marinas a ambos lados del istmo de Panamá sigue siendo de total relevancia y materia de interés.

En cuanto a la distribución geográfica de las esponjas encontradas en el Pacífico colombiano, se agruparon en cinco sectores biogeográficos (\*especies registradas por Escobar (2000), \*\*especies registradas por Narváez (1999): **Pacífico Oriental Tropical y provincia costera californiana:** *Sphaciospongia* sp. (posiblemente *S. raromisclerosa*)\*; **Pacífico Oriental y provincia costera Chile-Perú:** *Scalarispongia similis*; **Pacífico Oriental Tropical (desde México hasta Ecuador):** *Axinella nayaritensis*, *Desmanthus levii*, *Crambe panamensis*, *Discorhabdella littoralis*, *Axinyssa isabela*, *Geodia media*, *Chondrosia tenochca*, *Aplysina chiriquiensis*, *A. gerardogreeni*, *Spirastrella sabogae*\*, *Niphates perforata*\*, *T. (Tedania) “nigrescens”* (posiblemente *T. (Tedania) tropicalis*)\*, *A. azteca*\* (como *Suberea*), *Aplysina* cf. *revillagigedi*; **Pacífico Oriental y Occidental Tropical:** *Chalinula nematifera*, *Chelonaplysilla violácea*, *Mycale cecilia*\*, *Pseudosuberites “sulcatus”*\*; **Tentativamente solo en Colombia mientras se define su estatus taxonómico (posiblemente nuevas especies, pero se requiere de estudios detallados):** *Prosuberites* aff. *laughlini*, *Dragmacidon* sp., *Acanthella* sp., *Placospongia* aff. *intermedia*, *Clathria (Microcionia)* sp., *Scopalina* aff. *ruetzleri*, *Scopalina* sp. 2., *Epipolasis* sp., *Terpios* sp., *Aplysilla* sp., *Vansoestia* sp., *Xestospongia* sp.\*\*\*, *Anphimedon* sp.\*\*\*, *Aaptos* sp.\*\*\*, *Geodia* sp.\*\*\*, *Desmanthus* aff. *incrustans*\*, *Geodia* sp.\*, *Amorphinopsis* sp.\*, *Topsentia* aff. *ophiraphidites*\*, *Mycale* sp.\*, *Haliclona* sp. 1, *Haliclona* sp.

Of the sponges identified, six species are morphologically similar (geminated species) with species from the Colombian Caribbean, which could indicate that: 1. They are sister species with a common ancestor before the closure of the isthmus; 2. These are populations of the same species, perhaps in a slow process of evolutionary divergence via vicariant speciation; 3. Some of the two populations are a biological invasion mediated by maritime transport (*i.e.* as biofouling) via the Panama Canal. The answer necessarily goes through the molecular genetic analysis of several specimens of these “geminated species”, which is outside the scope of this work; however, this issue shows that the evolutionary history of populations of marine species on both sides of the Isthmus of Panama continues to be of total relevance and matter of interest.

Regarding the geographical distribution of the sponges found in the Colombian Pacific, they were grouped into five biogeographic sectors (\*Species recorded by Escobar (2000), \*\*Species recorded by Narváez (1999): **Eastern Tropical Pacific and Californian coastal province:** *Sphaciospongia* sp. (possibly *S. raromisclerosa*)\*; **Eastern Pacific and Chile-Peru coastal province:** *Scalarispongia similis*; **Tropical Eastern Pacific (from Mexico to Ecuador):** *Axinella nayaritensis*, *Desmanthus levii*, *Crambe panamensis*, *Discorhabdella littoralis*, *Axinyssa isabela*, *Geodia media*, *Chondrosia tenochca*, *Aplysina chiriquiensis*, *A. gerardogreeni*, *Spirastrella sabogae*\*, *Niphates perforata*\*, *T. (Tedania) “nigrescens”* (possibly *T. (Tedania) tropicalis*)\*, *A. azteca*\* (as *Suberea*), *Aplysina* cf. *revillagigedi*; **Tropical Eastern and Western Pacific:** *Chalinula nematifera*, *Chelonaplysilla violácea*, *Mycale cecilia*\*, *Pseudosuberites “sulcatus”*\*; **Tentatively only in Colombia while its taxonomic status is defined (possibly new species, but requires detailed studies):** *Prosuberites* aff. *laughlini*, *Dragmacidon* sp., *Acanthella* sp., *Placospongia* aff. *intermedia*, *Clathria (Microcionia)* sp., *Scopalina* aff. *ruetzleri*, *Scopalina* sp. 2., *Epipolasis* sp., *Terpios* sp., *Aplysilla* sp., *Vansoestia* sp., *Xestospongia* sp.\*\*\*, *Anphimedon* sp.\*\*\*, *Aaptos* sp.\*\*\*, *Geodia* sp.\*\*\*, *Desmanthus* aff. *incrustans*\*, *Geodia* sp.\*, *Amorphinopsis* sp.\*, *Topsentia* aff. *ophiraphidites*\*, *Mycale* sp.\*, *Haliclona* sp. 1, *Haliclona* sp. 2, *Haliclona* sp. 3, *Haliclona* sp. 4\*, *Placospongia carinata* (*P. intermedia* in the Eastern Pacific), *Aplysilla “sulphurea”*\*.

Finally, with the description made in this work of 24 species found in the rocky reefs of the Colombian North Pacific (21 are new records for Colombia), the number of

2, *Haliclona* sp. 3, *Haliclona* sp. 4\*, *Placospongia carinata* (*P. intermedia* en el Pacífico Oriental), *Aplysilla* “*sulfurea*”\*.

Finalmente, con la descripción realizada en este trabajo de 24 especies halladas en los arrecifes rocosos (riscales y morros) del Pacífico norte colombiano (21 son nuevos registros para Colombia), se eleva a 46 el número de especies de esponjas para el Pacífico colombiano. Esta riqueza de especies se considera baja en comparación con la biodiversidad conocida del Caribe colombiano (> 150 especies). Algunas de las esponjas aquí registradas tienen características morfológicas externas y del esqueleto muy similares a especies del Caribe, lo que indica que podrían ser especies geminadas; sin embargo, el análisis realizado con base en caracteres exclusivamente morfológicos no permite concluir si son o no especies diferentes y si requieren de un nuevo nombre; por tanto, la pregunta queda abierta a la espera de análisis más detallados, que incluyan la revisión de un mayor número de muestras de esas especies proveniente de ambas costas, y desde luego, del análisis de caracteres moleculares.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), a través del proyecto “Investigación científica hacia la generación de información y conocimiento de las zonas marinas y costeras de interés de la nación” (código BPIN 2017011000113) y hace parte del estudio “Caracterización biótica de los arrecifes rocosos con desarrollo significativo en el Pacífico norte colombiano”. Agradecemos a José Luis Carballo por la confirmación de la especie *Axinella nayaritensis*; a Mateo López V. y a otro revisor anónimo cuyos comentarios contribuyeron a mejorar el manuscrito; a Eroito Álvarez, Luisa Ruiz, Arnold Llorente, Rodrigo Fajardo, y a Turquí Paradise Hotel and Dive Center por brindar facilidades logísticas y apoyo durante el trabajo de campo. Gracias a Felipe Valencia por elaborar el mapa del área de estudio y a Felipe Gentil por apoyar en la edición de imágenes. La colecta y depósito de muestras siguen las indicaciones del Decreto 309-2003 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Contribución número 1276 del Invemar. El trabajo de S. Zea es la contribución 500 del Instituto de Estudios en Ciencias del Mar (Cecimar), Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe.

sponge species for the Colombian Pacific rises to 46. This richness of species is considered low compared to the known biodiversity of the Colombian Caribbean (> 150 species). Some of the sponges recorded here have skeletal and external morphological characteristics very similar to Caribbean Species, which indicates that they could be geminated species; however, the analysis carried out based on exclusively morphological characters does not allow to conclude whether or not they are different species and whether they require a new name; therefore, the question remains open pending more detailed analyzes, which include the review of a greater number of samples of these species from both coasts, and of course, the analysis of molecular characteristics.

## ACKNOWLEDGEMENT

The work was funded by the Institute for Marine and Coastal Research (Invemar), through the project “Scientific research towards the generation of information and knowledge of the marine and coastal areas of interest to the nation” (code BPIN 2017011000113) and is part of the study “Biotic characterization of rocky reefs with significant development in the Colombian North Pacific”. We thank José Luis Carballo for the confirmation of the species *Axinella nayaritensis*; to Mateo López V. and another anonymous reviewer whose comments contributed to improving the manuscript; Eroito Álvarez, Luisa Ruiz, Arnold Llorente, Rodrigo Fajardo, and Turquí Paradise Hotel and Dive Center for providing logistical facilities and support during fieldwork. Thanks to Felipe Valencia for preparing the map of the study area and to Felipe Gentil for helping with the image editing. The collection and deposit of samples follow the indications of Decree 309-2003 of the Ministry of Environment and Sustainable Development. Contribution number 1276 from Invemar. The work of S. Zea is the contribution 500 of the Institute of Studies in Marine Sciences (Cecimar), National University of Colombia, Caribbean Campus.

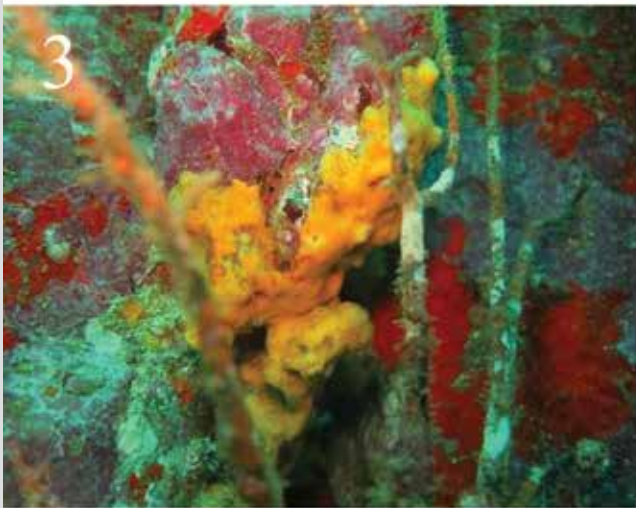
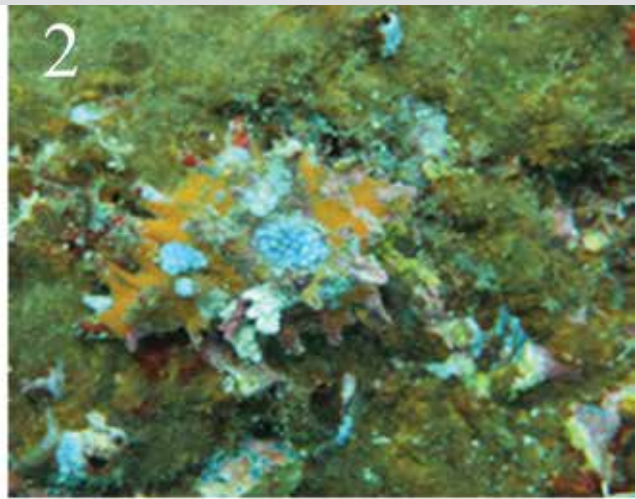




**LÁMINA 1.** **fig. 1.** *Prosuberites* aff. *laughlini* INV POR1361 con octocoral, La Parguera-Piñas, 13 m; **fig. 2.** *Axinella nayaritensis* INV POR1372, golfo de Tribugá, 7.8 m; **fig. 3.** *Dragmacidon* sp. INV POR1362, La Parguera-Piñas, 6 m; **fig. 4.** *Desmanthus levii* (naranja rojizo, izq.), INV POR1376, golfo de Tribugá, 12 m, con *Prosuberites* aff. *laughlini* (naranja pálido, der.); **fig. 5.** *Acanthella* sp., INV POR1373, golfo de Tribugá, 7.1 m; **fig. 6.** *Crambe panamensis*, INV POR1365, La Parguera, 6 m.

**PLATE 1.** **fig. 1.** *Prosuberites* aff. *laughlini* INV POR1361 with octocoral, La Parguera-Piñas, 13 m; **fig. 2.** *Axinella nayaritensis* INV POR1372, Gulf of Tribugá, 7.8 m; **fig. 3.** *Dragmacidon* sp. INV POR1362, La Parguera-Piñas, 6 m; **fig. 4.** *Desmanthus levii* (reddish-orange, left), INV POR1376, Gulf of Tribugá, 12 m, with *Prosuberites* aff. *laughlini* (pale orange, right); **fig. 5.** *Acanthella* sp., INV POR1373, Gulf of Tribugá, 7.1 m; **fig. 6.** *Crambe panamensis*, INV POR1365, La Parguera, 6 m.

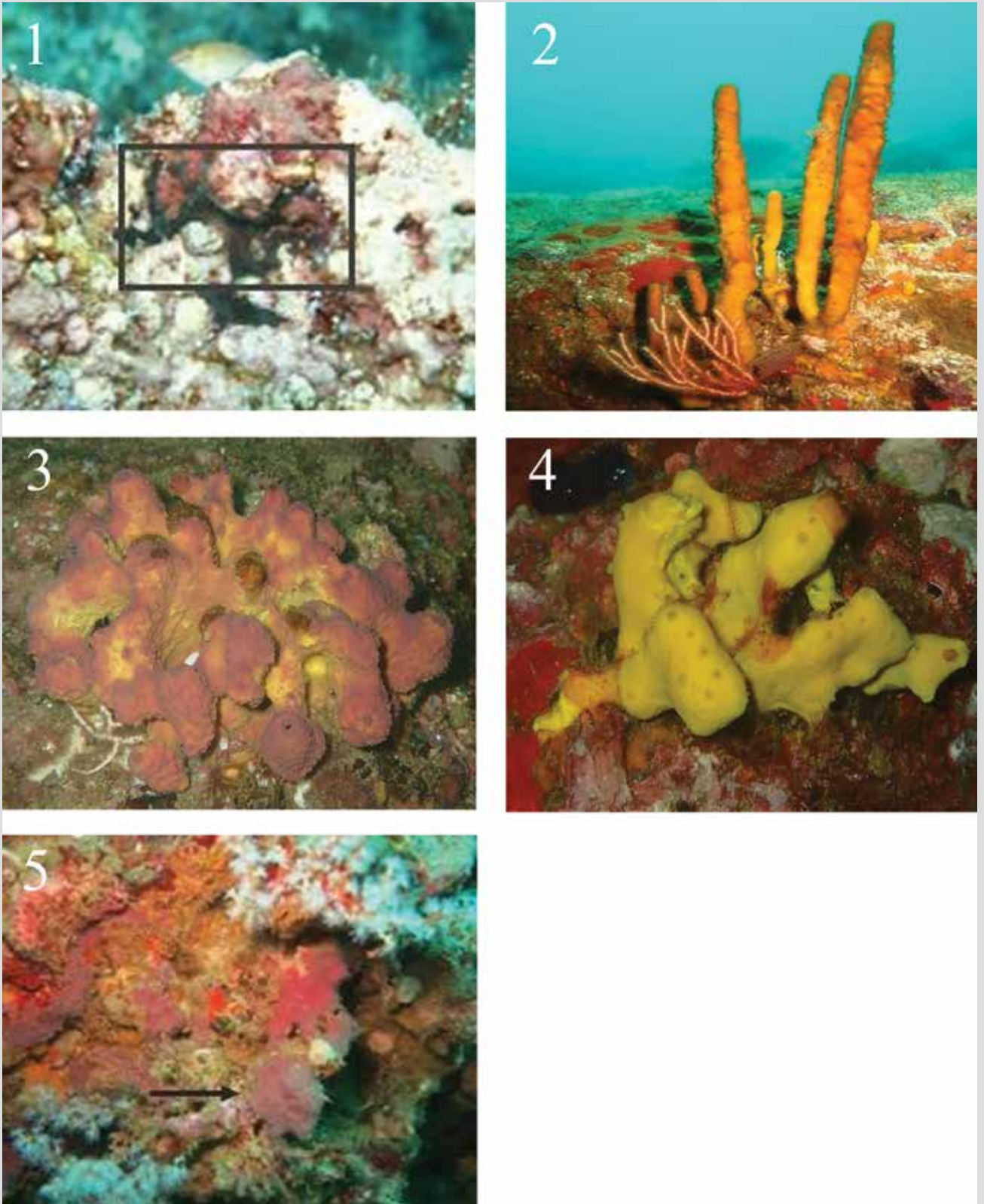




**LÁMINA 2. fig. 1.** *Clathria (Microcionia)* sp., INV POR1400, cabo Marzo, 17 m; **fig. 2.** *Scopalina* sp. 2., INV POR1396, Punta Cruces, 15 m (revestimiento naranja sobre caracol); **fig. 3.** *Axinyssa isabela*, INV POR1397, cabo Marzo, 19 m; **fig. 4.** *Terpios* sp., INV POR1403, cabo Marzo, 17 m (revestimiento amarillo sobre octocoral *Carijoa riisei*); **fig. 5.** *Aplysilla* sp., INV POR1366, cabo Corrientes, 18 m (con octocoral *Carijoa riisei*); **fig. 6.** *Chelonaplysilla violacea* sensu Gómez et al., 2002, INV POR1368, cabo Corrientes, 19 m.

**PLATE 2. fig. 1.** *Clathria (Microcionia)* sp., INV POR1400, Cape Marzo, 17 m; **fig. 2.** *Scopalina* sp. 2., INV POR1396, Punta Cruces, 15 m (orange cladding on snail); **fig. 3.** *Axinyssa isabela*, INV POR1397, Cape Marzo, 19 m; **fig. 4.** *Terpios* sp., INV POR1403, Cape Marzo, 17 m (yellow encrustation on octocoral *Carijoa riisei*); **fig. 5.** *Aplysilla* sp., INV POR1366, Cape Corrientes, 18 m (with octocoral *Carijoa riisei*); **fig. 6.** *Chelonaplysilla violacea* sensu Gómez et al., 2002, INV POR1368, Cape Corrientes, 19 m.





**LÁMINA 3.** **fig. 1.** *Chondrosia tenochca*, INV POR1371, cabo Corrientes, 11 m. (en cuadro); **fig. 2.** *Aplysina chiriquiensis*, INV POR1402, cabo Marzo, 18.3 m; **fig. 3.** *Aplysina gerardogreeni*, INV POR1388, Punta Cruces, 13-15 m; **fig. 4.** *Aplysina cf. revillagigedi*, INV POR1390, Punta Cruces, 13-15 m; **fig. 5.** *Vansoestia* sp., INV POR1370, cabo Corrientes, 14 m (señalada con flecha).

**PLATE 3.** **fig. 1.** *Chondrosia tenochca*, INV POR1371, Cape Corrientes, 11 m. (in box); **fig. 2.** *Aplysina chiriquiensis*, INV POR1402, Cape Marzo, 18.3 m; **fig. 3.** *Aplysina gerardogreeni*, INV POR1388, Punta Cruces, 13-15 m; **fig. 4.** *Aplysina cf. revillagigedi*, INV POR1390, Punta Cruces, 13-15 m; **fig. 5.** *Vansoestia* sp., INV POR1370, Cape Corrientes, 14 m (indicated with arrow).

## BIBLIOGRAFÍA/LITERATURE CITED

- Aguirre, L.K., Y. Hooker, W. Philippe, and E. Hajdu. 2011. A new *Clathria* (Demospongiae, Microcionidae) from Peru occurring on rocky substrates as well as epibiontic on *Euclidaris thoursii* sea urchins. *Zootaxa*, 3085: 41-54. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3085.1.3>
- Alcolado, P.M. 1984. Nuevas especies de esponjas encontradas en Cuba (new species of sponges from Cuba). *Poeyana*, 271: 1-22.
- Álvarez, B. and J.N.A. Hooper. 2002. Family Axinellidae Carter, 1875. 724-747. In: Hooper, J.N.A., R.W.M. Van Soest, and P. Willenz. (Eds.). *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Springer: Boston. 1100 p. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0747-5\\_80](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0747-5_80)
- Austin, W.C., B.S. Ott, H.M. Reiswig, P. Romagosa, and N.G. McDaniel. 2013. Two new species in the family Axinellidae (Porifera, Demospongiae) from British Columbia and adjacent waters. *ZooKeys*, 338: 11-28. <https://doi.org/10.3897/zookeys.803.22543>
- Ávila, E. and J.L. Carballo. 2009. A preliminary assessment of the invasiveness of the Indo-Pacific sponge *Chalinula nematifera* on coral communities from the tropical Eastern Pacific. *Biol. Inv.*, 11: 257-264. <https://doi.org/10.1007/s10530-008-9230-5>
- Bakus, G.J. 1964. The effects of fish-grazing on invertebrate evolution in shallow tropical waters. *Allan Hancock Fund. Publ. Occ.*, 27:1-29.
- Bergquist, P.R. 1978. *Sponges*. Hutchinson, London. 268 p.
- Berman, J. 2004. *Sponge diversity in coral frameworks and coral communities within the Las Perlas archipelago, Panama*. M. Sci. Thesis, Heriot-Watt University, Edinburgh. 83 p.
- Boury-Esnault, N. and M.T. Lopes. 1985. Les Démosponges littorales de l'Archipel des Açores. *Ann. Inst. Oceanogr. Paris*, 61(2): 149-225.
- Boury-Esnault, N., M. Klautau, C. Bézac, J. Wulff, and A.M. Solé-Cava. 1999. Comparative study of putative conspecific sponge populations from both sides of the Isthmus of Panama. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 79: 39-50. <https://doi.org/10.1017/S0025315498000046>
- Bowerbank, J.S. 1858. On the anatomy and physiology of the Spongiadae. Part I. On the Spicula. *Philos. Trans. Royal Soc. A.*, 148(2): 279-332.
- Bowerbank, J.S. 1862. On the anatomy and physiology of the Spongiadae. Part II. *Philos. Trans. Royal Soc.*, 152(2): 747-829.
- Bowerbank, J.S. 1873. Contributions to a general history of the Spongiadae. *Proc. Zool. Soc. Lond.*, 3: 3-25.
- Burton, M. 1940. Las esponjas marinas del Museo Argentino de Ciencias Naturales. Parte 1. *Anales del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia*, 40(6): 95-121.
- Carballo, J.L. and J.A. Cruz-Barraza. 2008. First record of *Axinyssa* Lendenfeld, 1897 (Demospongiae, Halichondrida) from the East Pacific Ocean, with the description of *Axinyssa isabela* sp. nov. *Zootaxa*, 1784: 58-68. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1784.1.4>
- Carballo, J.L., P. Gómez, J.A. Cruz-Barraza, and D.M. Flores-Sánchez. 2003. Sponges of the family Chondrillidae (Porifera: Demospongiae) from the Pacific coast of Mexico, with the description of three new species. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 116(2): 515-527.
- Carballo, J.L., J.A. Cruz-Barraza, and P. Gómez. 2004. Taxonomy and description of clonoid sponges (Hadromerida, Clionidae) from the Pacific Ocean of México. *Zool. J. Linn. Soc.*, 141(3): 353-397. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2004.00126.x>
- Carballo, J.L., E. Bautista-Guerrero and J.A. Cruz-Barraza. 2018. Description and molecular phylogeny of *Axinella nayaritensis* n. sp. (Porifera: Axinellida) from East Pacific and remarks about the polyphyly of the genus *Axinella*. *Zootaxa*, 4482(1): 111-124. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4482.1.4>
- Carballo, J.L., J.A. Cruz-Barraza, C. Vega, H. Nava, and M.C. Chávez-Fuentes. 2019. Sponge diversity in Eastern Tropical Pacific coral reefs: an interoceanic comparison. *Sci. Rep.*, 9: 9409. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45834-4>
- Cárdenas, P., T. Pérez, and N. Esnault. 2012. Sponge systematics facing new challenges. 79-209. In: Becerro, M.A., M.J. Uriz, M. Maldonado, and X. Turon. (Eds.). *Advances in sponge science: phylogeny, systematics, ecology*. Elsevier, 61. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387787-1.00010-6>
- Carter, H.J. 1875. Notes introductory to the study and classification of the Spongida. Part II. Proposed classification of the Spongida. *Ann. Mag. nat. Hist.*, 4(16): 126-145.
- Carter, H.J. 1883. Contributions to our knowledge of the Spongida. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 11(65): 344-369. <https://doi.org/10.1080/00222938309459163>
- Chombard, C. and N. Boury-Esnault. 1999. Good congruence between morphology and molecular phylogeny of Hadromerida, or how to bother sponge taxonomists. *Mem. Qld. Mus.*, 44: 100.
- Cook, S. and P.R. Bergquist. 2000. Two new genera and five new species of the *Cacospongia* group (Porifera, Demospongiae, Dictyoceratida). *Zoosystema*, 22(2): 383-400.
- Costa, G., G. Bavastrello, M. Pansini, and M. Bertolino. 2020. *Acanthella danerii* sp. nov. (Demospongiae, Bubarida, Dictyonellidae) from Chilean fjords (South Pacific Ocean). *Zootaxa*, 4790(2): 393-396. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4790.2.13>
- Cruz-Barraza, J.A. and J.L. Carballo. 2008. Taxonomy of sponges (Porifera) associated with corals from the Mexican Pacific Ocean. *Zool. Stud.*, 47(6): 741-758.



- Cruz-Barraza, J.A., J.L. Carballo, A. Rocha-Olivares, H. Ehrlich, and M. Hog. 2012. Integrative taxonomy and molecular phylogeny of genus *Aplysina* (Demospongiae: Verongida) from Mexican Pacific. PLoS ONE, 7(8): 42-49. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042049>
- De Laubenfels, M.W. 1930. The sponges of California. Abstracts of dissertations for the degree of Doctor of Philosophy. Stanford Univ. Bull., 5(98): 24-29.
- De Laubenfels, M.W. 1932. The marine and fresh water sponges of California. Proc. U.S. Nat. Mus., 81(2927): 1-140. <https://doi.org/10.5479/si.00963801.81-2927.1>
- De Laubenfels, M.W. 1935. Some sponges of lower California (México). Am. Mus. Nov., 779: 1-14.
- De Laubenfels, M.W. 1936a. A discussion of the sponge fauna of the Dry Tortugas in particular and the West Indies in general, with material for a revision of the families and orders of the Porifera. Carnegie Inst. Wash. Publ., 467: 1-225.
- De Laubenfels, M.W. 1936b. A comparison of the shallow-water sponges near the Pacific end of the Panamá canal with those at the Caribbean end. Proc. U.S. Natl. Mus., 83: 441-454.
- De Laubenfels, M.W. 1954. The sponges of the West-Central Pacific. Zool. Stud., 7. Oregon State College, Corvallis. 306 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.6516>
- De Weerd, W.H. 2002. Family Chalinidae Gray, 1867. 852-873. In: Hooper, J.N.A., R.W.M. Van Soest, and P. Willenz (Eds.). Systema Porifera. A guide to the classification of sponges. Springer: Boston. 1100 p. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0747-5\\_91](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0747-5_91)
- Desqueyroux-Faúndez, R. and R.W.M. Van Soest. 1997. Shallow waters Demosponges of the Galápagos Islands. Rev. Suisse Zool., 104(2): 379-467.
- Díaz, J.M., L. Guillot y M.C. Velandia. 2016. La pesca artesanal en la costa norte del Pacífico colombiano: un horizonte ambivalente. Fundación Marviva, Bogotá. 158 p.
- Díaz, M.C., B. Álvarez, and R.W.M. Van Soest. 1987. New species of Demospongiae (Porifera) from the national park Archipiélago de Los Roques, Venezuela Bijdr. Dierkd, 57(1): 31-41. <https://doi.org/10.1163/26660644-05701003>
- Díaz, M.C., S.A. Pomponi, and R.W.M. Van Soest. 1993. A systematic revision of the central West Atlantic Halichondrida (Demospongiae, Porifera). Part III: Description of valid species. Sci. Mar., 57(4): 283-306.
- Díaz, M.C., R.W.M. Van Soest, K. Rützler, and H.M. Guzmán. 2005. *Aplysina chiriquiensis*, a new pedunculate sponge from the Gulf of Chiriquí, Panamá, Eastern Pacific (Aplysinidae, Verongida). Zootaxa, 1012: 1-12. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1012.1.1>
- Díaz, M.C., R.W. Thacker, N.E. Redmond, T. Pérez, and A.G. Collins. 2015. *Vansoestia caribensis* gen. nov., sp. nov.: first report of the family Ianthellidae (Verongida, Demospongiae) in the Caribbean. Zootaxa, 3956(3): 403-412. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3956.3.5>
- Erpenbeck, D., P. Sutcliffe, S. Cook, A. Dietzel, M. Maldonado, R.W.M. Van Soest, J.N.A. Hooper, and G. Wörheide. 2012. Horny sponges and their affairs: On the phylogenetic relationships of keratose sponges. Elsevier, 63(3): 809-816. <https://doi.org/10.1016/j.jympev.2012.02.024>
- Escobar, T. 2000. Inventario y estudio taxonómico de las esponjas (Phylum Porifera) de algunas áreas del Pacífico colombiano. Tesis Biol. Mar. Univ. Valle, Buenaventura. 149 p.
- García-Suárez, S.D., A. Acosta, E. Londoño-Cruz y J.R. Cantera K. 2012. Organismos sésiles y móviles del litoral rocoso: en el Pacífico colombiano: una guía visual para su identificación. Ser. Doc. Esp., (26). Invemar, Santa Marta. 133 p.
- Goeij, J.M., H. van den Berg, M.M. van Oostveen, E.H. Epping, and F.C. Van Duyl. 2008. Major bulk dissolved organic carbon (DOC) removal by encrusting coral reef cavity sponges. Mar. Ecol. Prog. Ser., 357: 139-151. <https://doi.org/10.3354/meps07403>
- Goeij, J.M., D. Oevelen, M.J. Vermeij, R. Osinga, J.J. Middelburg, A.F. de Goeij, and W. Admiraal. 2013. Surviving in a marine desert: the sponge loop retains resources within coral reefs. Science, 342: 108-110. <https://doi.org/10.1126/science.1241981>
- Gómez, P. and G. Bakus. 1992. *Aplysina gerardogreeni* and *Aplysina aztecus* (Porifera: Demospongiae) new species from the Mexican Pacific. An. Inst. Cienc. Mar Limnol., 19(2): 175-180.
- Gómez, P., J.L. Carballo, L.E. Vázquez, and J.A. Cruz. 2002. New records for the sponge fauna (Porifera: Demospongiae) of the Pacific coast of México (eastern Pacific Ocean). Proc. Biol. Soc. Wash., 115(1): 223-237.
- Gómez, P., B. González-Acosta, C. Sánchez-Ortiz, Z. Hoffman, and C. Hernández-Guerrero. 2018. Amended definitios for Aplysinidae and *Aplysina* (Porifera, Demospongiae, Verongiida): on three new species from a remarkable population in the Gulf of California. Zootaxa, 4455(2): 322-342. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4455.2.4>
- Grant, R.E. 1861. Tabular view of the primary divisions of the Animal Kingdom, intended to serve as an outline of an elementary course of recent zoology (caino-zoology); or, the natural history of existing animals. Walton and Maberly, London. 91 p.
- Gray, J.E. 1867. Notes on the arrangement of sponges, with the descriptions of some new genera. Proc. Zool. Soc. Lond., (2): 492-558.



- Green, G. y P. Gómez. 1986. Estudio taxonómico de las esponjas de Mazatlán Sinaloa, México. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 13(3): 273-300.
- Guzmán, H., C.A. Guevara, and O. Breedy. 2004. Distribution, diversity, and conservation of coral reefs and coral communities in the largest marine protected area of Pacific Panamá (Coiba Island). Environ. Conserv., 31: 111-121. <https://doi.org/10.1017/S0376892904001250>
- Hartman, W.D. 1980. Systematics of the Porifera. 24-51. En: Hartman, W.D., J.W. Wendt y F. Wiedenmayer. (Eds.). Living and fossil sponges, notes for a short course. Univ. Miami, Miami. 274 p.
- Holmes, B. and H. Blanch. 2007. Genus-specific associations of marine sponges with group I crenarchaeotes. Mar. Bio., 150: 759-772. <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0361-x>
- Hooper, J.N.A., R.W.M. Van Soest, and P. Willenz. (Eds.). 2002. Systema Porifera. A guide to the classification of sponges. Springer: Boston. 1100 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0747-5>
- Hyatt, A. 1875. Revision of the North American Porifera; with remarks upon foreign species. Part I. Mem. Read. Boston Soc. Nat. Hist., 2: 399-408.
- Lendenfeld, R. von. 1883. Über Coelenteraten der Südsee. II. Mittheilung. Neue Aplysiniidae. Z. wiss. Zool., 38(2): 234-313.
- Lendenfeld, R. von. 1910. The Sponges. 1. Geodiidae. En: Reports of the expeditions to the Eastern Tropical Pacific, in the charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish Commission Steamer Albatross. Mem. Mus. Comp. Zool. Harv. Coll., 41(1): 224-259.
- Lévi, C. 1953. Sur une nouvelle classification des Démosponges. C. r. hebd. séances Acad. sci, 236(8): 853-855.
- Lévi, C. 1963. Spongiaires d'Afrique du Sud. Poecilosclérides. Trans. R. Soc. S. Afr., 37(1): 1-72.
- Lizarazo, N. 2018. Esponjas asociadas al ecosistema rocoso (Riscales y Morros) del Pacífico norte chocono, Colombia. Tesis Biol. Mar. Univ. Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 100 p.
- López-Pérez, A. 2017. Revisiting the Cenozoic history and the origin of the Eastern Pacific coral fauna. 30-57. In: Glynn, P.W., D.P. Manzanillo, and I.C. Enochs. (Eds.). Coral reefs of the Eastern Tropical Pacific. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4_2)
- Maldonado, M., M.C. Carmona, R.W.M. Van Soest, and S.A. Pomponi. 2001. First record of the sponge genera *Crambe* and *Discorhabdella* for the Eastern Pacific, with description of three new species. J. Nat. Hist., 35(9): 1261-1276. <https://doi.org/10.1080/002229301750384293>
- Marshall, W. 1876. Ideen über die Verwandtschaftsverhältnisse der Hexactinelliden. Z. wiss. Zool., 27(1): 113-136.
- Merejkowsky, C. 1879. Études sur les Éponges de la Mer Blanche. Mem. Acad. Sci. St. Petersb., 26(7): 1-51.
- Miloslavich, P., J.M. Díaz, E. Klein, J.J. Alvarado, C. Díaz, J. Gobin, E. Escobar-Briones, J.J. Cruz-Motta, E. Weil, J. Cortés, A.C. Bastidas, R. Robertson, F. Zapata, A. Martín, J. Castillo, A. Kazandjian, and M. Ortiz. 2010. Marine biodiversity in the Caribbean: regional estimates and distribution patterns. PLoS ONE, 5(8): e11916. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011916>
- Minchin, E.A. 1900. Sponges: 1-178. In: Lankester, E. R. (Ed.). A treatise on zoology. The Porifera and Coelenterata. Adam Charles Black, London.
- Morrow, C. and P. Cárdenas. 2015. Proposal for a revised classification of the Demospongiae (Porifera). Front. Zool., 12: 7. <https://doi.org/10.1186/s12983-015-0099-8>
- Morrow, C., B. Picton, D. Erpenbeck, N. Boury-Esnault, C. Maggs and A. Allcock. 2012. Congruence between nuclear and mitochondrial genes in Demospongiae: A new hypothesis for relationships within the G4 clade (Porifera: Demospongiae). Mol. Phylog. Evol., 62(1): 174-190. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.09.016>
- Narváez, K. 1999. Identificación y aspectos ecológicos de las esponjas del arrecife coralino de Playa Blanca, isla Gorgona (Pacífico colombiano). Tesis Biol. Mar., Univ. Valle, Cali. 57 p.
- Nichols, A. 2005. An evaluation of support for order-level monophyly and interrelationships within the class Demospongiae using partial data from the large subunit rDNA and cytochrome oxidase subunit I. Mol. Phylog. Evol., 34: 81-96. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2004.08.019>
- Nichols, A. and A.G. Barnes. 2005. A molecular phylogeny and historical biogeography of the marine sponge genus *Placospongia* (Phylum Porifera) indicate low dispersal capabilities and widespread crypsis. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 323: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.02.012>
- Posada, B.O., W. Henao y G. Guzmán. 2009. Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del Pacífico colombiano. Ser. Publ. Espec., (17). Invemar, Santa Marta. 148 p.
- Ridley, S.O. and A. Dendy. 1887. Report on the Monaxonida collected by H.M.S. 'Challenger' during the years 1873-1876. Report on the scientific results of the voyage of H.M.S. 'Challenger', 1873-1876. Zoology, 20(59): 1-275.
- Row, R.W.H. 1911. Reports on the marine biology of the Sudanese Red Sea, from Collections made by Cyril Crossland, M. A., B.Sc., F.Z.S. XIX. Report on the Sponges collected by Mr. Cyril Crossland in 1904-5. Part II. Non-Calcareous. Zoology, 31(208): 287-400. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1911.tb00461.x>



- Rützler, K. and K.P. Smith. 1993. The genus *Terpios* (Suberitidae) and new species in the “Lobiceps” complex. *Sci. Mar.*, 57(4): 381-393.
- Rützler, K., C. Piantoni, R.W.M. Van Soest, and M.C. Díaz. 2014. Diversity of sponges (Porifera) from cryptic habitats on the Belize barrier reef near Carrie Bow Cay. *Zootaxa*, 3805(1): 1-129. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3805.1.1>
- Schmidt, O. 1862. Die Spongien des adriatischen Meeres. Wilhelm Engelmann, Leipzig. 88 p.
- Schmidt, O. 1870. Grundzüge einer Spongien-Fauna des atlantischen Gebietes. Wilhelm Engelmann, Leipzig. 88 p.
- Schulze, F.E. 1877. Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung der Spongien. Die Gattung *Halisarca*. *Z. wiss. Zool.*, 28: 1-48.
- Schulze, F.E. 1878. Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung der Spongien. Vierte Mittheilung. Die Familie der Aplysinidae. *Z. wiss. Zool.*, 30: 379-420.
- Schuster, A., D. Erpenbeck, A. Pisera, J.N.A. Hooper, M. Bryce, and J. Fromont. 2015. Deceptive desmas: molecular phylogenetics suggests a new classification and uncovers convergent evolution of lithistid demosponges. *PLoS ONE* 10(1): e116038. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116038>
- Silva, J.A. and S. Zea. 2017. New records of sponges of the genera *Petrosia* and *Xestospongia* (Demospongiae: Haplosclerida: Petrosiidae) from the Colombian Caribbean. *Bol. Investig. Mar. Costeras*, 46(1): 114-134.
- Sollas, W.J. 1885. A classification of the sponges. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 16(95): 1-395. <https://doi.org/10.1080/00222938509459901>
- Sollas, W.J. 1887. Sponges: 412-429. In: Black, A. (Ed.), *Encyclopaedia Britannica*. 9<sup>th</sup> edition, 22.
- Sollas, W.J. 1888. Report on the Tetractinellida collected by H.M.S. Challenger, during the years 1873-1876. Report on the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger, 1873-1876. *Zoology*, 25(63): 273-274. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.6513>
- Thiele, J. 1905. Die kiesel-und hornschwämme der Sammlug plate. *Zoologische Jahrbücher, Supplementum* 6 (Fauna Chilensis III): 417-490.
- Topsent, E. 1889. Quelques spongiaires du Banc de Campêche et de la Pointe-à-Pître. *Mém. Soc. Zool. France*, 2: 30-52.
- Topsent, E. 1893. Nouvelle série de diagnoses d'éponges de Roscoff et de Banyuls. *Arch. Zool. Exp. Gén.*, 10: 33-43.
- Topsent, E. 1928. Spongiaires de l'Atlantique et de la Méditerranée provenant des croisières du Prince Albert Ier de Monaco. Résultats des campagnes scientifiques accomplies par le Prince Albert I, Monaco, 74: 1-376.
- Van Soest, R.W.M. 1994. Demospongiae distribution patterns. 213-223. En: Soest, R.W.M. van, T.M.G. Kempenn van, and J.C. Braekman. (Eds.) *Sponges in time and space: biology, chemistry, paleontology*. Balkema, Amsterdam. 515 p.
- Van Soest, R.W.M. 2009. New sciophilous sponges from the Caribbean (Porifera: Demospongiae). *Zootaxa*, 2107: 1-40. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2107.1.1>
- Van Soest, R.W.M. 2017. Sponges of the Guyana shelf. *Zootaxa*, 4217: 1-225. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4217.1.1>
- Van Soest, R.W.M. and E. Hajdu. 2000. New species of *Desmanthus* (Porifera, Demospongiae) with a discussion of its ordinal relationships. *Zoosystema*, 22(2): 299-312.
- Van Soest, R.W.M., M.C. Díaz, and S.A. Pomponi. 1990. Phylogenetic classification of the Halichondrids (Porifera, Demospongiae). *Beaufortia*, 40(2): 15-62.
- Van Soest, R.W.M., D. Erpenbeck, and B. Álvarez. 2002. Family Dictyonellidae Van Soest, Diaz and Pomponi, 1990. 773-786. In: Hooper, J.N.A., R.W.M. Van Soest, and P. Willenz (Eds.). *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers: New York. 1100 p. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0747-5\\_83](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0747-5_83)
- Van Soest, R.W.M., N. Boury-Esnault, J. Vacelet, M. Dohrmann, D. Erpenbeck, N.J. De Voogd, N. Santodomingo, B. Vanhoorne, M. Kelly, and J.N.A. Hooper. 2012. Global diversity of sponges (Porifera). *PLoS ONE*, 7(4): e35105. doi:10.1371/journal.pone.0035105
- Van Soest, R.W.M., N. Boury-Esnault, J.N.A. Hooper, K. Rützler, N.J. de Voogd, B. Álvarez, E. Hajdu, A.B. Pisera, R. Manconi, C. Schönberg, M. Klautau, B. Picton, M. Kelly, J. Vacelet, M. Dohrmann, M.C. Díaz, P. Cárdenas, J.L. Carballo, P. Ríos, and R. Downey. 2018. World Porifera database. <http://www.marinespecies.org/porifera> 14/09/2018.
- Vega, C. 2012. Composición y afinidades biogeográficas de esponjas (Demospongiae) asociadas a comunidades coralinas del Pacífico mexicano. Tesis Ph.D. Ciencias Mar. Inst. Politéc. Nal. La Paz, México. 253 p.
- Velandia, M.C. y J.M Díaz. 2016. Atlas marino-costero del Pacífico norte colombiano. Fundación Marviva, Bogotá. 130 p.
- Veron, J.E.N. 1995. Corals in space and time. The biogeography and evolution of the Scleractinia. xiii +. UNSW press, Sydney. 321 p. <https://doi.org/10.1017/S0016756800008050>
- Vosmaer, G.C.J. and J.H. Vernhout. 1902. The Porifera of the Siboga Expedition I. The Genus *Placospongia*. In: *Siboga Expedites*, 6(a): 1-17.



- Wang, C., C. Deser, J.Y. Yu, P. DiNezio, and A. Clement. 2017. El Niño and Southern Oscillation (ENSO): A review. 84-106. In: Glynn, P.W., D.P. Manzanella, and I.C. Enochs. (Eds.). *Coral reefs of the Eastern Tropical Pacific*. Springer: Dordrecht. <https://hdl.handle.net/10.1007/978-94-017-7499-4>
- Wiedenmayer, F. 1977. Shallow-water sponges of the western Bahamas. *Experientia Suppl.*, 28: 1-287. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-5797-0>
- Worheide, G., A. Cava, and J.N.A. Hooper. 2005. Biodiversity, molecular ecology and phylogeography of marine sponges: patterns, implications and outlooks. *Integr. Comp. Biol.*, 45: 377-385. <https://doi.org/10.1093/icb/45.2.377>
- Wulff, J.L. 1996. Do the same sponge species live on both the Caribbean and Eastern Pacific sides of the Isthmus of Panama? *Bull. Inst. Royal Sci. Nat. Belgique*, 66: 165-173.
- Wulff, J.L. 1997. Causes and consequences of differences in sponges diversity and abundance between the Caribbean and Eastern Pacific at Panamá. 1377-1382. In: H.A. Lessios and I.G. Macintyre. (Eds.). *Proc. 8<sup>th</sup> Internat. Coral Reef Symp. Vol. 2*. Smithsonian Tropical Research Institute, Panama.
- Zea, S. 1987. *Esponjas del Caribe colombiano*. Catalogo Cientifico, Bogotá. 286 p.
- Zea, S. 1998. Estado actual del conocimiento de sistemática de esponjas marinas (Porifera) del Caribe colombiano. *Bol. Ecotrópica*, 33: 45-59.
- Zea, S., T.P. Henkel, and J.R. Pawlik. 2014. *The sponge guide: a picture guide to Caribbean sponges*. 3<sup>rd</sup> edition. [www.spongeguide.org](http://www.spongeguide.org) 08/05/2018.

**RECIBIDO/RECEIVED:** 26/06/2019

**ACEPTADO/ACCEPTED:** 11/09/2020



## Comparación de las surgencias de la Guajira colombiana y del oriente venezolano

### Comparison of the upwellings of the Colombian Guajira and eastern Venezuela

Alfredo Gómez Gaspar<sup>1\*</sup> y Arturo Acero P.<sup>2</sup>

0000-0002-2430-2738

0000-0002-6637-9901

1. Universidad de Oriente y Museo Marino de Margarita, Boca de Río, Venezuela. [agomezgaspar@yahoo.com](mailto:agomezgaspar@yahoo.com)

2. Instituto para el Estudio de las Ciencias del Mar (Cecimar), Universidad Nacional de Colombia sede Caribe, Playa Salguero, Santa Marta, Colombia. [aacerop@unal.edu.co](mailto:aacerop@unal.edu.co)

\* Autor de correspondencia.

#### RESUMEN

En el Caribe sur se presentan dos áreas principales de surgencia, la Guajira colombiana y el oriente de Venezuela; sin embargo, la producción pesquera es muy desigual, a pesar de que en la Guajira la intensidad del viento es mayor y teóricamente la surgencia es más intensa. Por esta razón, debería tener una producción pesquera mayor que la venezolana, lo que no ocurre. Se plantean las posibles causas de esta notable diferencia y se comentan aspectos relacionados con el viento, la hidrografía, la concentración de nutrientes, la biomasa del fitoplancton, la plataforma continental, el aporte de ríos, la presencia de islas y otros factores. El oriente de Venezuela tiene mayor fertilidad y producción pesquera porque la masa de Agua Subsuperficial Subtropical es la que abastece la surgencia durante los primeros meses del año (sequía). En el segundo semestre, cuando la surgencia se relaja, el área se enriquece con materia orgánica del río Orinoco y el aporte de biomasa fitoplanctónica proveniente de lagunas costeras, golfos y bahías semicerradas. También juega un papel fundamental la amplitud de la plataforma continental con la presencia de archipiélagos, islas mayores y menores que causan enriquecimientos locales y la concentración y retención del plancton. Esto último aumenta la productividad biológica y propicia la reproducción de esos organismos. En la Guajira, la surgencia podría estar influenciada por la contracorriente del Darién, que por su origen debe contener baja concentración de nutrientes inorgánicos; además, en esta zona no están presentes grandes ríos que aporten materia orgánica y la plataforma continental es poco amplia y no contiene islas que propicien el aumento de la productividad acuática. Para la comprensión de la surgencia en la Guajira, se sugieren estudios para el seguimiento *in situ* de la hidrografía, nutrientes inorgánicos, clorofila y la abundancia de fito y zooplancton.

**PALABRAS CLAVE:** surgencia tropical, Guajira colombiana, Oriente venezolano, Caribe sur, ecología

#### ABSTRACT

In the southern Caribbean, there are two main upwelling areas, the Colombian Guajira and eastern Venezuela. However, fishing production is highly dissimilar, even though in the Guajira the wind intensity is stronger and theoretically the upwelling is more intense. For this reason, it should have a higher fishing production than Venezuela, which is not the case. The possible reasons for this important difference are presented, detailing aspects related to wind, hydrography, nutrient concentration, phytoplankton biomass, continental shelf, river contribution, island presence and other factors. Eastern Venezuela has greater fertility and fishing production because the Subtropical Subsuperficial Water mass is what supplies the water upwelling during the first months of the year (dry season). In the second semester, when the upwelling relaxes, the area is enriched with organic matter from the Orinoco River and the contribution of phytoplankton biomass from coastal lagoons, inlets, and partially closed bays. The wide extension of the continental shelf, with the presence of archipelagos, large islands, and islets that cause local enrichment and the plankton concentration and retention also plays a fundamental role. The latter increases biological productivity and support plankton reproduction. On the other hand, Colombian Guajira upwelling water may be influenced by the Darien Countercurrent, which, by its origin, should be poor in inorganic nutrients; furthermore, this region lacks important rivers that contribute organic matter and the Guajira continental shelf is rather narrow and does not contain islands that may help to increase aquatic productivity. In order to understand Guajira upwelling it is necessary to follow its hydrography *in situ*, as well as inorganic nutrients, chlorophyll, and phytoplankton and zooplankton abundances.

**KEYWORDS:** Tropical upwelling, Colombian Guajira, eastern Venezuela, Southern Caribbean, ecology

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2020.49.2.943>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

## INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios oceanográficos del mar Caribe se hicieron en la década de 1920 (Nielsen, 1925; Jacobsen, 1929). La circulación general, las masas de agua y su origen fueron estudiados entre 1933-1934 (Parr, 1937), mencionando una posible ocurrencia de surgencia en el sureste del Caribe. Años después, se estudió su estratificación y movimiento (Wüst, 1963, 1964; Gordon, 1967). En 1958, observaciones hidrográficas próximas a la costa norte de Suramérica indicaron que en el oriente de Venezuela la temperatura en superficie era menor que en el norte y centro del Caribe. Esta fue la evidencia inicial de surgencia de aguas (Richards, 1960) y, además, con base en la salinidad y el oxígeno disuelto en secciones desde la costa hasta 13° N y desde 62° a 69° W. Pocos años después, se verificó la presencia de surgencia en la Guajira de Colombia (Gordon, 1967; Perlroth, 1971; Corredor, 1977; Fajardo, 1979), donde se han realizado varios trabajos basados en mediciones indirectas y datos *in situ* de cruceros que han tomado en consideración la temperatura y la salinidad (Andrade y Barton, 2005; Paramo *et al.*, 2011; Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017; Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

Las condiciones hidrográficas y químicas del Caribe venezolano fueron discutidas por Richards (1960) y la influencia o distribución de las aguas del río Orinoco por Gade (1961). La relación entre surgencia y viento con las corrientes y la topografía del fondo fue estudiada por Fukuoka (1962, 1963, 1965a) y la relación entre masas de agua y los ríos Amazonas y Orinoco por Ljoen y Herrera (1965), quienes determinaron el transporte hacia el norte del agua superficial, por el ascenso de aguas profundas al norte de isla Margarita. La surgencia máxima ocurre ~90 km de la costa donde se forma una divergencia (Gordon, 1967). La menor temperatura costera es causada por la surgencia relacionada con el viento (Fukuoka *et al.*, 1963; Fukuoka, 1964) y también por una contracorriente hacia el oriente, desde la costa hasta ~13° N y 63° a 64° W, facilitada por la topografía del fondo (Fukuoka, 1965b). En la dirección oriente-occidente, la surgencia abarca el estado Sucre, con las penínsulas de Paria y Araya, y el estado Nueva Esparta (islas Margarita, Coche, Cubagua) hasta cercanías de la isla La Tortuga (61° 50' - 65° 25' W) y la cubeta occidental de la fosa de Cariaco, donde la surgencia tiene menor intensidad (Okuda *et al.*, 1974).

Según Okuda (1978, 1981), en el oriente de Venezuela se identifican tres masas de agua: las

## INTRODUCTION

The first oceanographic studies of the Caribbean Sea were made in the 1920s (Nielsen, 1925; Jacobsen, 1929). The general circulation, the water masses, and their origin were studied between 1933-1934 (Parr, 1937), mentioning a possible occurrence of upwelling in the southeast of the Caribbean. Years later, its stratification and movement were studied (Wüst, 1963, 1964; Gordon, 1967). In 1958, hydrographic observations near the north coast of South America indicated that in eastern Venezuela the surface temperature was lower than in the north and center of the Caribbean. This was the initial evidence of water upwelling (Richards, 1960) and based on salinity and dissolved oxygen in sections from the coast to 13 °N and from 62° to 69 °W. A few years later, the presence of upwelling was verified in the Guajira of Colombia (Gordon, 1967; Perlroth, 1971; Corredor, 1977; Fajardo, 1979), where several studies have been carried out based on indirect measurements and *in situ* data from cruise ships that have taken into consideration temperature and salinity (Andrade and Barton, 2005; Paramo *et al.*, 2011; Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017; Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

The hydrographic and chemical conditions of the Venezuelan Caribbean were discussed by Richards (1960) and the influence or distribution of the waters of the Orinoco River by Gade (1961). The relationship between upwelling and wind with currents and bottom topography was studied by Fukuoka (1962, 1963, 1965a) and the relationship between water masses and the Amazon and Orinoco rivers by Ljoen and Herrera (1965), who determined the transport towards the north of the surface water, by the ascent of deep waters to the north of Margarita Island. The maximum upwelling occurs ~90 km from the coast where divergence forms (Gordon, 1967). The lower coastal temperature is caused by upwelling related to the wind (Fukuoka *et al.*, 1963; Fukuoka, 1964) and also by a countercurrent to the east, from the coast to ~13 °N and 63 to 64 °W, facilitated by bottom topography (Fukuoka, 1965b). In the east-west direction, the upwelling covers the state of Sucre, with the peninsulas of Paria and Araya, and the state of Nueva Esparta (Margarita, Coche, Cubagua islands) to the vicinity of La Tortuga Island (61° 50'-65° 25' W) and the western basin of the Cariaco fossa, where the upwelling is less intense (Okuda *et al.*, 1974).

According to Okuda (1978, 1981), in eastern Venezuela three water masses are identified: Surface

Superficiales (temperatura:  $> 24$  °C; salinidad:  $< 36,7$ ), las Subtropicales (temperatura:  $21$  a  $24$  °C; salinidad:  $> 36,7$ ) y las Subsuperficiales (temperatura:  $< 21$  °C; salinidad:  $36,7$ ). Si los vientos tienen una velocidad de  $> 6$  m/s, causan una surgencia intensa (Herrera y Febres, 1975) y afloran Aguas Subsuperficiales. Mientras tanto, los vientos moderados hacen subir Aguas Subtropicales (Okuda, 1981). Las aguas suben desde profundidades entre  $90$  y  $175$  m y se notan hasta  $150$  km fuera de la costa (Herrera y Febres, 1975); la termoclina se encuentra entre  $16$  y  $26$  m (Margalef, 1969). También se menciona que, a mediados de año, ocurre otra surgencia de menor intensidad en esta región (Rueda-Roa *et al.*, 2018).

En el siglo pasado, a partir de la década de 1970, el oriente venezolano se ha investigado desde los puntos de vista geológico, físico, químico y biológico, siendo quizás la región marina más conocida del Caribe. Por lo menos hasta 2015 se efectuaron proyectos multidisciplinarios por encargo de la industria petrolera (Liñero-Arana *et al.*, 2009). Desde 1995 hasta 2017, en la fosa de Cariaco (cubeta oriental) se muestreó una estación ( $10,50^{\circ}$  N,  $64,66^{\circ}$  W) denominada Cariaco para estudiar procesos biogeoquímicos y ecológicos (Müller-Karger *et al.*, 2019). Esta serie de tiempo, por su duración, ha sido única en el Caribe.

El ascenso de aguas profundas que llegan a la superficie (afloran) es surgencia en sentido estricto, lo que puede considerarse como sinónimo de productividad acuática elevada; se trata de aguas ricas en nutrientes inorgánicos que utilizan las microalgas que aumentan rápidamente su biomasa y propician así una mayor proliferación de productores secundarios y gran abundancia de recursos pesqueros utilizables por otros organismos acuáticos y por el hombre que los captura. Las principales surgencias del Caribe sur ocurren en dos áreas (Figura 1): al oriente de Venezuela ( $63$ - $65^{\circ}$  W) y al occidente ( $70$ - $73^{\circ}$  W) en la Guajira colombiana (Rueda-Roa, 2012). También se ha identificado surgencia entre Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona (Paramo *et al.*, 2011; Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

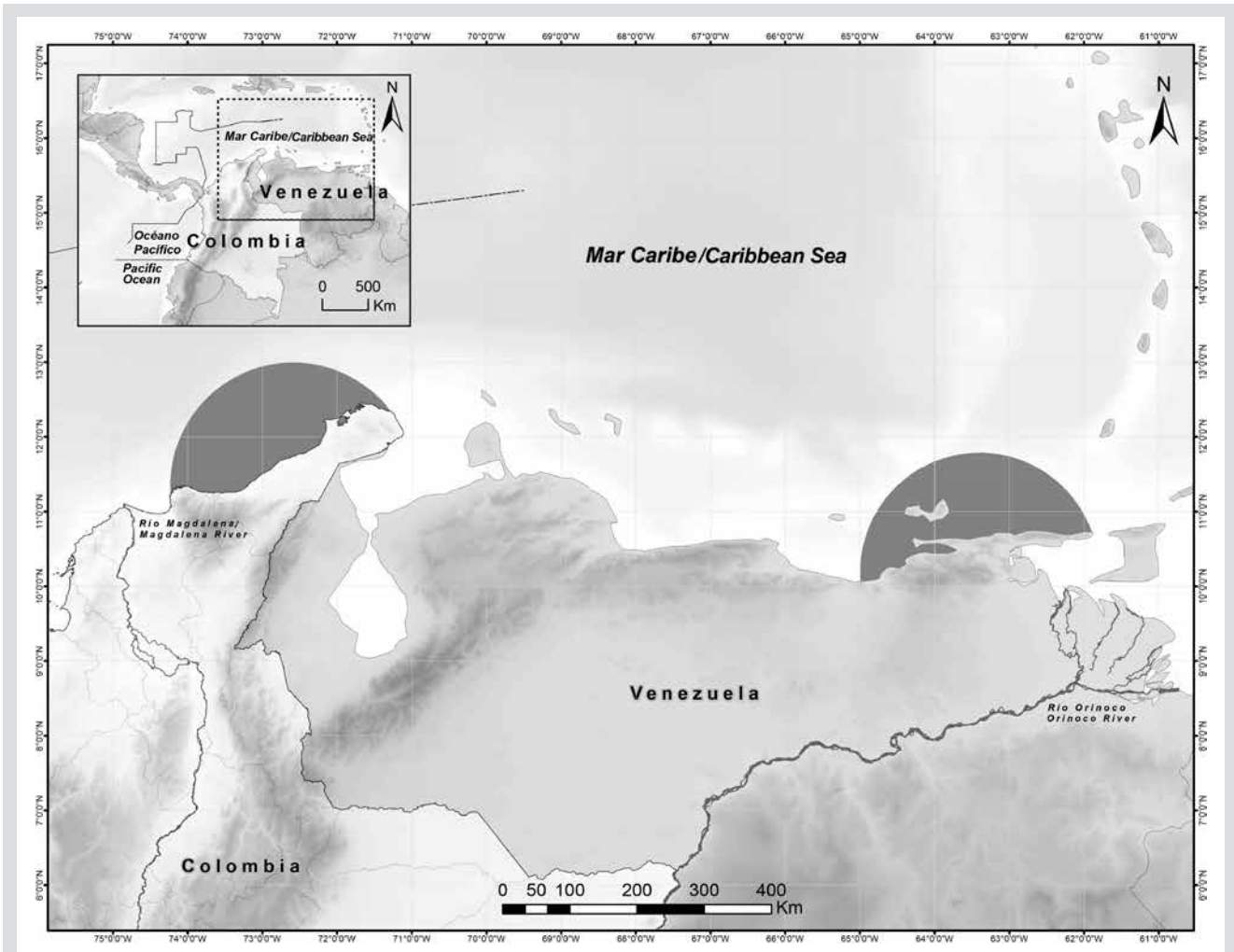
Estudios de evaluación pesquera en el Caribe sur, financiados por la Comunidad Económica Europea (R/V Nansen) y realizados en 1988, estimaron una biomasa de  $1\ 580\ 000$  toneladas (t) de peces pequeños pelágicos, principalmente sardina, además de anchoas, carángidos, escómbridos y barracudas (Stromme y Saetersdal, 1989).  $78$  % está presente en el oriente de Venezuela y  $18$  % en la Guajira de Colombia (Rueda-Roa, 2012). Sin embargo, en Venezuela las cifras de captura reales de sardina son muy

(temperature:  $> 24$  °C; salinity:  $< 36,7$ ), Subtropical (temperature:  $21$  to  $24$  °C; salinity:  $> 36,7$ ) and Subsurface (temperature:  $< 21$  °C; salinity:  $36,7$ ). If the winds have a speed of  $> 6$  m/s, they cause an intense upwelling (Herrera and Febres, 1975) and Subsurface Waters emerge. Meanwhile, moderate winds raise Subtropical Waters (Okuda, 1981). The waters rise from depths between  $90$  and  $175$  m and are noticeable up to  $150$  km off the coast (Herrera and Febres, 1975); the thermocline is between  $16$  and  $26$  m (Margalef, 1969). It is also mentioned that, in the middle of the year, another upwelling of less intensity occurred in this region (Rueda-Roa *et al.*, 2018).

In the last century, since the 1970s, eastern Venezuela has been investigated from a geological, physical, chemical, and biological point of view is perhaps the best known marine region in the Caribbean. Until at least 2015, multidisciplinary projects were carried out commissioned by the oil industry (Liñero-Arana *et al.*, 2009). In the Cariaco Trench (eastern basin), from 1995 to 2017—a period that, due to its duration, has been unique in the Caribbean—a station ( $10.50^{\circ}$  N,  $64.66^{\circ}$  W) called Cariaco was sampled to study biogeochemical and ecological processes (Müller-Karger *et al.*, 2019).

The rise of deep waters that reach the surface is upwelling in the strict sense, which can be considered synonymous with high aquatic productivity; it is about waters rich in inorganic nutrients that use microalgae that rapidly increase their biomass and thus favor a greater proliferation of secondary producers and a great abundance of fishery resources usable by other aquatic organisms and by the man who catches them. The main upwellings of the southern Caribbean occur in two areas (Figure 1): east of Venezuela ( $63$ - $65^{\circ}$  W) and west ( $70$ - $73^{\circ}$  W) in the Colombian Guajira (Rueda-Roa, 2012). Upwelling has also been identified between Santa Marta and the Tayrona National Natural Park (Paramo *et al.*, 2011; Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

Fisheries assessment studies in the southern Caribbean, financed by the European Economic Community (R/V Nansen) and carried out in 1988, estimated biomass of  $1\ 580\ 000$  tonnes (t) of small pelagic fish, mainly sardines, in addition to anchovies, carangids, scombrids, and barracudas (Stromme and Saetersdal, 1989).  $78$  % is present in eastern Venezuela and  $18$  % in Guajira de Colombia (Rueda-Roa, 2012). However, in Venezuela, the actual sardine catch figures are much lower because the maximum official production is  $200\ 232$  t per year (Gómez *et al.*, 2008, 2014;



**Figura 1.** Mapa del Caribe sur donde se señalan las áreas de surgencia de Colombia y Venezuela, definidas aproximadamente por la presencia de la sardina *Sardinella aurita*.

**Figure 1.** Map of the southern Caribbean showing the upwelling areas of Colombia and Venezuela, roughly defined by the presence of the sardine *Sardinella aurita*.

inferiores porque la producción oficial máxima es de 200 232 t anuales (Gómez *et al.*, 2008, 2014; Mendoza, 2015; Rueda-Roa *et al.*, 2017). En 2005 inició la crisis sardinera: disminuyó 50 % la pesca nacional y más de 90 % en isla de Margarita. Durante aproximadamente una década las capturas fueron inferiores a 50 000 t. Se ha verificado que la crisis puede ser la consecuencia de un cambio de régimen ecológico, por surgencias poco intensas (Gómez, 2018a, 2019).

En Colombia, aunque existe limitada información pesquera en el área de surgencia, en 1988 se estimó la presencia de 100 000 t de pequeños pelágicos en la Guajira (Stromme y Saetersdal, 1989) y en 1997 evaluaciones estimaron 15 680 t (Paramo y Viaña, 2002). En esta región, la oceanografía local es modulada por la intensidad de la surgencia estacional y su dinámica puede influenciar la distribución y abundancia de los recursos (Paramo *et al.*, 2003).

Mendoza, 2015; Rueda-Roa *et al.*, 2017). In 2005, the sardine crisis began: national fishing decreased by 50 % and more than 90 % on the island of Margarita. For about a decade the catches were less than 50 000 t. It has been verified that the crisis may be the consequence of a change in the ecological regime, due to low-intensity upwellings (Gómez, 2018a, 2019).

In Colombia, although there is limited fishing information in the upwelling area, in 1988 the presence of 100 000 t of small pelagic fish was estimated in La Guajira (Stromme and Saetersdal, 1989) and in 1997 evaluations estimated 15 680 t (Paramo and Viaña, 2002). In this region, the local oceanography is modulated by the intensity of the seasonal upwelling and its dynamics can influence the distribution and abundance of the resources (Paramo *et al.*, 2003).



En Venezuela, la producción pesquera nacional ha oscilado entre 250 000 y > 500 000 t a comienzos del presente siglo. En 2010 disminuyó a 167 600 t (Mendoza, 2015) por la crisis sardinera que inició en 2005 (Gómez, 2018a, 2019). En la región nororiental se captura más de 60 % de la producción nacional y del mar Caribe (Gómez, 1996, 2001). En Colombia, las cifras de la pesca en el Caribe alcanzaron 22 000 t en 2014 y 23 500 t en 2018, de las cuales la Guajira aportó menos de 400 t por la pesca artesanal (Carlos J. Polo, com. pers.). En el oriente de Venezuela, modelos tróficos estiman una biomasa de 122 t/km<sup>2</sup>/año (Mendoza, 2003); en la Guajira, de 68 t/km<sup>2</sup>/año (Criales-Hernández *et al.*, 2006).

Como se puede observar, en las dos surgencias costeras la producción pesquera es muy desigual. Esta revisión plantea y discute las causas probables de dicha desigualdad, a pesar de que este fenómeno tiene su causa principal en los vientos alisios del noreste que afectan ambos países. En comparación con el oriente venezolano, durante el período 1998-2009 la velocidad del viento en la Guajira fue 1,3 veces más fuerte (Rueda-Roa, 2012) y teóricamente es más intensa la surgencia de aguas. Por ello, debería ser mayor la abundancia de peces como la sardina o relacionados y, en general, debería haber una producción pesquera mayor que en Venezuela, pero esto no ocurre. Se ha planteado que en el Caribe sur el Agua Subtropical alimenta las surgencias, razón por la cual se asume que en focos con temperatura similar debe existir igual contenido de nutrientes (Rueda-Roa, 2012), como fue planteado hace décadas (Corredor, 1977, 1979). No obstante, esa no parece ser la realidad. Se mencionan aspectos relacionados con el viento, la hidrografía de aguas surgentes, la concentración de nutrientes, la biomasa del fitoplancton, la importancia de la plataforma continental, el aporte de ríos y la presencia de islas, entre otros factores. Además, se comentan los índices de surgencia e hipótesis de la intensificación de surgencias por el calentamiento global.

De ambas surgencias, pero especialmente de la colombiana, desde finales del siglo XX se han publicado numerosos artículos que utilizan datos obtenidos mediante tecnología satelital, los cuales tienen mayor cobertura espacial y periodicidad y son óptimos para estudios dinámicos. Sin embargo, los complejos procesos de interacción atmósfera-superficie oceánica hacen que los datos geofísicos del color del océano obtenidos desde el espacio produzcan gran incertidumbre; los resultados son una aproximación y deben validarse con observaciones de campo (Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017).

In Venezuela, national fish production has fluctuated between 250 000 and > 500 000 t at the beginning of this century. In 2010 it decreased to 167 600 t (Mendoza, 2015) due to the sardine crisis that began in 2005 (Gómez, 2018a, 2019). In the northeastern region, more than 60 % of the national production and the Caribbean Sea are captured (Gómez, 1996, 2001). In Colombia, fishing figures in the Caribbean reached 22 000 t in 2014 and 23 500 t in 2018, of which the Guajira contributed less than 400 t from artisanal fishing (Carlos J. Polo, pers. comm.). In eastern Venezuela, trophic models estimate a biomass of 122 t/km<sup>2</sup>/year (Mendoza, 2003); in La Guajira, 68 t/km<sup>2</sup>/year (Criales-Hernández *et al.*, 2006).

As can be seen, in the two coastal upwellings, fishing production is very unequal. This review raises and discusses the probable causes of this inequality, although this phenomenon has its main cause in the northeast trade winds that affect both countries. Compared with eastern Venezuela, during the 1998-2009 period, the wind speed in La Guajira was 1.3 times stronger (Rueda-Roa, 2012) and the upwelling of waters is theoretically more intense. Therefore, the abundance of fish such as sardines or related should be greater and, in general, there should be a higher fish production than in Venezuela, but this does not happen. It has been proposed that in the southern Caribbean Subtropical Water feeds upwelling, which is why it is assumed that in foci with similar temperatures there must be the same nutrient content (Rueda-Roa, 2012) as was proposed decades ago (Corredor, 1977, 1979). However, that does not seem to be the reality. Aspects related to the wind, the hydrography of emerging waters, the concentration of nutrients, the biomass of the phytoplankton, the importance of the continental shelf, the contribution of rivers, and the presence of islands, among other factors, are mentioned. Also, the upwelling indices and hypotheses of upwelling intensification due to global warming, inclusive, are discussed.

From both sources, but especially from the Colombian one, since the end of the 20th century, numerous articles have been published that use data obtained through satellite technology, which have greater spatial coverage and periodicity and are optimal for dynamic studies. However, the complex processes of oceanic atmosphere-surface interaction make geophysical data on ocean color obtained from space produce great uncertainty; The results are an approximation and must be validated with field observations (Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017).

En la Guajira confluyen varios procesos oceanográficos. Es una región influenciada por la corriente del Caribe y el giro ciclónico Panamá-Colombia que afecta la zona por medio de la contracorriente del Darién, también denominada de Colombia (Andrade, 2001). El área se ha caracterizado mediante imágenes satelitales, que asocian la temperatura superficial con la concentración de clorofila (Bernal *et al.*, 2010; Ruiz-Ochoa, 2011; Sarmiento-Devia *et al.*, 2013; Alonso *et al.*, 2015; Gutiérrez-Leones *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2016; Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017; Beier *et al.*, 2017; Dueñas-Lagos *et al.*, 2017; Murcia-Riaño *et al.*, 2017; Montoya *et al.*, 2018; Del Rosario *et al.*, 2019; Correa-Ramírez *et al.*, 2020, entre otros).

## 1. VIENTOS

La meteorología del Caribe puede describirse en términos del viento y de las lluvias, así como de la variabilidad espacio-temporal determinada por cambios de la presión atmosférica en la zona de convergencia intertropical (ZCIT) de los alisios, un cinturón de baja presión cerca del Ecuador que controla los regímenes de precipitación y vientos (Andrade y Barton, 2013). En la estación seca (diciembre a junio) o de viento, la ZCIT está en una posición más ecuatorial (0-5° S) y los alisios del norte dominan el área. Desde julio, la ZCIT se mueve a una posición latitudinal más septentrional, hasta 10-12° N, propiciando las precipitaciones (Aparicio, 2003).

**Guajira de Colombia.** Durante 1987-1988, se caracterizó el campo de vientos en el Caribe central con datos satelitales. Cerca de la costa, se presentan valores máximos de > 9 m/s. También se habla de periodicidad anual de vientos (época seca) de diciembre-marzo, de otro período con viento ligeramente fuerte (julio-agosto) y de la estación de lluvias (septiembre-noviembre) con viento débil (Andrade, 1993). La mayor parte del año el viento se dirige hacia el occidente, pero, cuando es más fuerte (diciembre-marzo) la dirección cambia hacia el suroccidente, paralelo a la costa; la máxima velocidad se presenta hacia 15° N (Andrade y Barton, 2005). La dirección del viento se alinea con la costa y la plataforma, lo cual conlleva al transporte de Ekman fuera de la costa y la surgencia de Aguas Subsuperficiales en la zona costera (Andrade *et al.*, 2003; Andrade y Barton, 2005; Lonin *et al.*, 2010). La intensidad del viento es mayor que en otras surgencias del mundo: 7,2 m/s en Benguela; 7,8 m/s en California; 6,8 m/s en NW de África; 5,7 m/s en Perú y 9,5 m/s en la Guajira (Chávez y Messié, 2009). Lo anterior sugiere que la Guajira es el sistema de borde occidental que

Several oceanographic processes converge in La Guajira. It is a region influenced by the Caribbean current and the Panama-Colombia cyclonic turn that affects the area through the Darien Countercurrent, also known as Colombia (Andrade, 2001). The area has been characterized by satellite images, which associate surface temperature with chlorophyll concentration (Bernal *et al.*, 2010; Ruiz-Ochoa, 2011; Sarmiento-Devia *et al.*, 2013; Alonso *et al.*, 2015; Gutiérrez-Leones *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2016; Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017; Beier *et al.*, 2017; Dueñas-Lagos *et al.*, 2017; Murcia-Riaño *et al.*, 2017; Montoya *et al.*, 2018; Del Rosario *et al.*, 2019; Correa-Ramírez *et al.*, 2020, among others).

## 1. WINDS

The meteorology of the Caribbean can be described in terms of wind and rainfall, as well as the space-time variability determined by changes in atmospheric pressure in the intertropical convergence zone (ITCZ) of the trade winds, a low-pressure belt near Ecuador that controls the regimes of precipitation and winds (Andrade and Barton, 2013). In the dry season (December to June) or windy, the ITCZ is in a more equatorial position (0-5 °S) and the northern trade winds dominate the area. Since July, the ITCZ moves to a more northern latitudinal position, up to 10-12 °N, and encourages rainfall (Aparicio, 2003).

**Colombian Guajira.** During 1987-1988, the wind field in the central Caribbean was characterized by satellite data. Near the coast, maximum values of > 9 m/s occur. There is also information about the annual periodicity of winds (dry season) from December-March, another period with slightly strong wind (July-August), and the rainy season (September-November) with the weak wind (Andrade, 1993). Most of the year, the wind is directed towards the west, but, when it is strongest (December-March), the direction changes towards the southwest, parallel to the coast; the maximum velocity appears towards 15 °N (Andrade and Barton, 2005). The wind direction is aligned with the coast and the shelf, which leads to Ekman transport off the coast and the upwelling of Subsurface Waters in the coastal zone (Andrade *et al.*, 2003; Andrade and Barton, 2005; Lonin *et al.*, 2010). The intensity of the wind is greater than in other upwellings in the world: 7.2 m/s in Benguela; 7.8 m/s in California; 6.8 m/s in NW Africa; 5.7 m/s in Peru and 9.5 m/s in La Guajira (Chávez and Messié, 2009). The above suggests that the Guajira is the western edge system that

podría producir el mayor volumen de surgencia por unidad de área en el mundo (Paramo *et al.*, 2011).

Entre 1992-1999, se estudió la dinámica de la atmósfera y el océano con mediciones *in situ* y sensores remotos (Andrade y Barton, 2013). Se demostró la presencia de una celda atmosférica zonal (2000 km en extensión oriente/occidente) compuesta por los alisios del noreste, que toman forma de un viento de chorro a nivel superficial. La posición de la celda propicia que en la costa continental se presente vegetación exuberante y áreas desérticas en distancias relativamente cortas. Durante la estación seca, los alisios tienen una velocidad diaria de entre 8 y 15 m/s con un componente sur; en abril-junio, los vientos se debilitan —siendo la “estación de transición”—; durante julio-agosto, los vientos se intensifican de nuevo —este período es llamado “veranillo”—. En el período de lluvias (agosto-octubre), la ZCIT se mueve hacia el norte y permite que los alisios del sur (vientos ~4 m/s) atraviesen América Central y alcancen la cuenca de Colombia, donde interactúan con los alisios del noreste y ocasionan una inestabilidad atmosférica que puede propiciar la formación de ciclones tropicales en el Caribe. Entre diciembre-marzo, el viento de chorro alcanza una velocidad de ~12 m/s con dirección al occidente, pero con un componente sur; en mayo, el viento disminuye (< 8 m/s) y en julio (veranillo) aumenta a > 9 m/s. Los vientos más débiles aparecen en octubre durante las lluvias (Andrade y Barton, 2013).

En el período 1999-2008, entre 69°-74° W ocurrieron vientos fuertes todo el año (> 6 m/s); los máximos en junio-julio (> 9 m/s) y los mínimos (6-7 m/s) en septiembre-octubre. Los vientos más fuertes se presentaron entre 74-76° W, con máximos en diciembre-abril (> 11 m/s), un máximo secundario en julio (> 9 m/s) y mínimos durante septiembre-octubre (~5 m/s). Se menciona que, en el occidente del Caribe sur, el viento promedio fue de 8,23 m/s (Rueda-Roa, 2012; Rueda-Roa y Müller-Karger, 2013). Durante 1999-2009, el bombeo Ekman fue positivo cerca de la costa, el transporte hacia el norte y noroccidente y la magnitud máxima al oriente de la cuenca Colombia (Pareja *et al.*, 2013). La morfología matemática de la surgencia indica su conducción por la ZCIT. Su relación con el componente oriente-occidente de los vientos alisios tiene un desfase de cuatro meses. También se relaciona con la oscilación del sur (Alonso *et al.*, 2015).

Recientes estudios indican que, en los meses de vientos intensos, el movimiento ascendente de aguas es completo y claro en superficie. Durante la temporada de lluvias, el ascenso puede ser parcial, sin que afloren las

could produce the highest upwelling volume per unit area in the world (Paramo *et al.*, 2011).

Between 1992-1999, the dynamics of the atmosphere and the ocean were studied with *in situ* measurements and remote sensing (Andrade and Barton, 2013). The presence of a zonal atmospheric cell (2000 km in east/west extension) made up of the northeast trade winds, which take the form of a jet wind at the surface level, was demonstrated. The position of the cell favors lush vegetation and desert areas on the continental coast for relatively short distances. During the dry season, the trade winds have a daily speed between 8 and 15 m/s with a southern component; in April-June, the winds weaken —being the “transition season”; during July-August, the winds intensify again —this period is called “verano”. In the rainy season (August-October), the ITCZ moves north and allows the southern trade winds (winds ~4 m/s) to cross Central America and reach the Colombia basin, where they interact with the northeast trade winds and they cause atmospheric instability that can lead to the formation of tropical cyclones in the Caribbean. Between December-March, the jet wind reaches a speed of ~12 m/s towards the west, but with a southerly component; in May, the wind decreases (< 8 m/s) and in July (summer) it increases to > 9 m/s. The weakest winds appear in October during the rains (Andrade and Barton, 2013).

In the period 1999-2008, between 69°-74° W strong winds occurred throughout the year (> 6 m/s); the maximums in June-July (> 9 m/s) and the minimums (6-7 m/s) in September-October. The strongest winds occurred between 74°-76° W, with maximums in December-April (> 11 m/s), a secondary maximum in July (> 9 m/s), and minimums during September-October (~5 m/s). It is mentioned that, in the southwestern Caribbean, the average wind was 8.23 m/s (Rueda-Roa, 2012; Rueda-Roa and Müller-Karger, 2013). During 1999-2009, Ekman pumping was positive near the coast, transport to the north and northwest, and the maximum magnitude to the east of the Colombia basin (Pareja *et al.*, 2013). The mathematical morphology of the upwelling indicates its conduction through the ITCZ. Its relationship with the east-west component of the trade winds has a lag of four months. It is also related to the southern oscillation (Alonso *et al.*, 2015).

Recent studies indicate that, in the months of intense winds, the upward movement of water is complete and clear on the surface. During the rainy season, the ascent can be partial, without the Subsurface Waters emerging.

Aguas Subsuperficiales. La surgencia puede interrumpirse por perturbaciones atmosféricas de corto plazo (días)—como frentes fríos relacionados con vientos del norte (nortes)— y por frentes cálidos asociados con masas de aire del Pacífico tropical oriental, que generan condiciones favorables para el flujo descendente (hundimiento) en la capa superior. Durante estos periodos de relajación, la capa mixta es cálida (Montoya-Sánchez *et al.*, 2018). En la época de lluvias, el viento es favorable a la surgencia, pero la capa superior del océano no responde al forzamiento del viento, el cual no tiene la suficiente intensidad y duración como para elevar isothermas más profundas a la superficie. De ahí que flujos geostroficados favorezcan el flujo de aguas menos densas hacia la costa, lo que inhibe más el ascenso de aguas frías (Montoya-Sánchez, 2019). Los mayores valores del índice de surgencia ( $258,6 \text{ m}^3/\text{s}$  por 100 m de línea de costa) se registran en febrero y luego disminuyen en los últimos meses del año ( $19,8 \text{ m}^3/\text{s}$  en octubre), pero en julio destaca un valor alto ( $237,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Se ha planteado que, por los máximos de viento y del índice de surgencia, es posible concluir que el principal mecanismo de fertilización es la advección desde el oriente y no el transporte de Ekman (Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

**Oriente de Venezuela.** Desde mediados de la década de los años setenta, se citan valores de celeridad del viento, cuya velocidad debe ser de  $> 6 \text{ m/s}$  para que ocasione surgencia. Los valores máximos ocurren de enero a abril, con otro máximo en junio-julio y con velocidades mínimas en agosto-octubre. Los vientos provienen del ENE y NNE, pero con un componente sur en agosto-noviembre (Herrera y Febres, 1975). Con la información de estaciones costeras (1969-1990), la velocidad mensual promedio ( $> 4 \text{ m/s}$ ) ocurre de enero a mayo, con máximos de  $5 \text{ m/s}$  en marzo y  $< 4 \text{ m/s}$  de junio a diciembre y mínimos ( $3 \text{ m/s}$ ) en septiembre-octubre (Aparicio, 2003). Los datos obtenidos (1950-1990) por embarcaciones mercantes (COADS y Nesdis) se consideran subestimados; los máximos y mínimos realistas son del orden de  $7$  y  $5,5 \text{ m/s}$ , respectivamente (Freón y Mendoza, 2003). De diciembre a junio, el viento predomina hacia occidente con máximos próximos de  $6,5 \text{ m/s}$ ; el resto del año son más variables y pueden disminuir hasta  $5,1 \text{ m/s}$  (Freón y Ans, 2003).

Entre 1994-1997, los vientos tuvieron una velocidad promedio de  $7,8\text{-}8 \text{ m/s}$  y las surgencias predominaron hasta abril. En la estación de lluvias (mayo-noviembre), pudo ocurrir una surgencia débil o incluso hundimiento como respuesta a vientos del SSE con una velocidad de  $\sim 5 \text{ m/s}$  (Walsh *et al.*, 1999). En la estación Cariaco (noviembre 1995-diciembre

The upwelling can be interrupted by short-term (days) atmospheric disturbances—such as cold fronts related to northerly winds (Northerners)— and by warm fronts associated with air masses from the eastern tropical Pacific, which generate favorable conditions for the downward flow (sinking) in the top layer. During these periods of relaxation, the mixed layer is warm (Montoya-Sánchez *et al.*, 2018). In the rainy season, the wind is favorable to upwelling, but the upper layer of the ocean does not respond to the forcing of the wind, which does not have enough intensity and duration to raise deeper isotherms to the surface. Hence, geostrophic flows favor the flow of less dense waters towards the coast, which further inhibits the rise of cold waters (Montoya-Sánchez, 2019). The highest values of the upwelling index ( $258.6 \text{ m}^3/\text{s}$  per 100 m of coastline) are registered in February and then decrease in the last months of the year ( $19.8 \text{ m}^3/\text{s}$  in October), but in July it stands out a high value ( $237.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). It has been suggested that, due to the maximum wind and upwelling index, it is possible to conclude that the main fertilization mechanism is advection from the east and not Ekman's transport (Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

**Eastern Venezuela.** Since the mid-1970s, wind speed values have been cited, whose speed must be  $> 6 \text{ m/s}$  to cause upwelling. The maximum values occur from January to April, with another maximum in June-July and with minimum speeds in August-October. The winds come from the ENE and NNE, but with a southern component in August-November (Herrera and Febres, 1975). With the information from coastal stations (1969-1990), the average monthly velocity ( $> 4 \text{ m/s}$ ) occurs from January to May, with maximums of  $5 \text{ m/s}$  in March and  $< 4 \text{ m/s}$  from June to December and minimums ( $3 \text{ m/s}$ ) in September-October (Aparicio, 2003). The data obtained (1950-1990) by merchant vessels (COADS and Nesdis) are considered underestimated; the realistic maximums and minimums are of the order of  $7$  and  $5.5 \text{ m/s}$ , respectively (Freón and Mendoza, 2003). From December to June, the wind predominates towards the west with maxima close to  $6.5 \text{ m/s}$ ; the rest of the year they are more variable and can decrease to  $5.1 \text{ m/s}$  (Freón and Ans, 2003).

Between 1994-1997, the winds had an average speed of  $7.8\text{-}8 \text{ m/s}$  and upwellings predominated until April. In the rainy season (May-November), a weak upwelling or even sinking could occur in response to SSE winds with a velocity of  $\sim 5 \text{ m/s}$  (Walsh *et al.*, 1999). At the Cariaco station (November 1995-December 2001), the wind reached speeds of  $8\text{-}9 \text{ m/s}$  in February-March and minimums of

2001), el viento alcanzó velocidades de 8-9 m/s en febrero-marzo y mínimos de < 4 m/s en septiembre-octubre (Astor *et al.*, 2004). Productos satelitales (1999-2008) del Caribe sur (68°W) y cerca de la costa (~25 km) indican que los vientos son estables en diciembre-julio (> 6 m/s) y menores (4-6 m/s) en agosto-noviembre (Rueda-Roa, 2012).

Entre 1996-2010, se verifica el debilitamiento de los alisios (-1,9 %/año) por la migración de la ZCIT hacia el norte (1,12° N de latitud) del centro de alta presión de Azores (ramificación descendente de células Hadley) y la progresión hacia oriente del centroide atlántico (ramificación ascendente de las Hadley). Entre 1996-2009, su posición en marzo ha cambiado ~800 km (Taylor *et al.*, 2012).

En 18 años de estudio (1996-2013), la surgencia mostró cambios temporales y una tendencia decreciente por la disminución del viento (Astor *et al.*, 2014). En el oriente de Venezuela, los alisios (3 a 9 m/s) persistentes sobre la plataforma causan el transporte y bombeo Ekman mar afuera (altamar) y la disminución de la temperatura superficial (1 a 3 °C). Su variabilidad refleja el control atmosférico por parte del anticiclón del Atlántico norte y la evaporación regional. La surgencia implica una circulación atmosférica con vuelco meridional, que afecta la frecuencia de los huracanes del Caribe (Jury, 2018). En la Tabla 1 se muestran los valores mencionados. Puede concluirse que en la surgencia costera colombiana los vientos son más fuertes mientras que en el oriente de Venezuela son ligeramente menores y con tendencia decreciente en algunos años, lo que conlleva marcados cambios temporales en la surgencia e, incluso, la no ocurrencia del afloramiento.

**Tabla 1.** Comparación de variables y/o factores de importancia en las surgencias de la Guajira de Colombia y en el oriente de Venezuela. Los valores mencionados en hidrografía, nutrientes y clorofila *a* corresponden al agua superficial. El superíndice después de cada valor corresponde al autor citado.

Variable/Factor	Surgencia en Guajira de Colombia/ Colombian Guajira upwelling	Surgencia en el oriente de Venezuela/ Eastern Venezuela upwelling
Vientos (m/seg)/Winds (m/sec)	9,5 <sup>1</sup> ; 8,23 <sup>2,3</sup> ; 8-15 <sup>4</sup>	>6 <sup>5</sup> ; >4 <sup>6</sup> ; 6,5-5,1 <sup>7</sup> ; 8-5 <sup>8</sup> ; <4-9 <sup>9</sup> ; 4->6 <sup>2</sup> ; 3-9 <sup>10</sup>
I. surgencia/Upwelling I. (m <sup>3</sup> /s)	19,8-258,6 <sup>61</sup>	
Turbulencia/Turbulence (m <sup>3</sup> /s)	557 <sup>2</sup>	229 <sup>2</sup>
Temperatura/Temperature (°C)	25,5 <sup>11</sup> ; 19-25,8 <sup>12</sup> ; 23 <sup>13</sup> ; <27 <sup>14</sup> ; 25,5 <sup>2</sup> ; 24-27 <sup>60</sup>	22-27 <sup>6</sup> ; 21 <sup>15</sup> ; 22 <sup>16</sup> ; 21,79-29,15 <sup>9</sup> ; 20,5-22 <sup>20</sup> ; 25,2 <sup>2</sup> ; 21-24 <sup>33,34</sup> ; 24,86-25,56 <sup>62</sup> ; 20.1-29.1 <sup>64</sup>
Salinidad/Salinity	>36,5 <sup>11</sup> ; 36,5-37,2 <sup>12</sup> ; 35,75- >36,8 <sup>13</sup> ; 35,8-36 <sup>14</sup> ; 35,2-35,3 <sup>60</sup>	>36,8 <sup>16</sup> ; 36,3 <sup>21</sup> ; >36,7 <sup>33,34</sup>
Oxígeno/Oxygen (ml/L)		<1 <sup>17,18,19</sup> (foco surgencia)
Nitrato/Nitrate (μmol/L)	2-3 <sup>22</sup>	6-8 <sup>23,24</sup> ; 14,8 <sup>25</sup> ; 1,2 <sup>26-27</sup>

< 4 m/s in September-October (Astor *et al.*, 2004). Satellite products (1999-2008) of the southern Caribbean (68 °W) and near the coast (~25 km) indicate that the winds are stable in December-July (> 6 m/s) and lower (4-6 m/s) in August-November (Rueda-Roa, 2012).

Between 1996-2010, the weakening of the trade winds (-1.9%/year) was verified due to the migration of the ITCZ to the north (1.12 °N of latitude) from the high-pressure center of the Azores (descending branch of Hadley cells) and the eastern progression of the Atlantic centroid (upward branching of the Hadley cells). Between 1996-2009, its position in March has changed by ~800 km (Taylor *et al.*, 2012).

In 18 years of study (1996-2013), the upwelling showed temporary changes and a decreasing trend due to the decrease in the wind (Astor *et al.*, 2014). In eastern Venezuela, persistent trade winds (3 to 9 m/s) on the shelf cause the Ekman transport and pumping offshore (high seas) and the decrease in surface temperature (1 to 3 °C). Its variability reflects atmospheric control by the North Atlantic anticyclone and regional evaporation. The upwelling implies an atmospheric circulation with a southerly overturn, which affects the frequency of hurricanes in the Caribbean (Jury, 2018). Table 1 shows the mentioned values. It can be concluded that, in the Colombian coastal upwelling, the winds are stronger while, in eastern Venezuela, they are slightly lower and with a decreasing trend in some years, which entails marked temporary changes in the upwelling and, even, no occurrence of the outcrop.

**Table 1.** Comparison of variables and/or important factors in the upwellings of the Guajira of Colombia and eastern Venezuela. The values mentioned in hydrography, nutrients, and chlorophyll-*a* correspond to surface water. The superscript after each value corresponds to the cited author.



Variable/Factor	Surgencia en Guajira de Colombia/ Colombian Guajira upwelling	Surgencia en el oriente de Venezuela/ Eastern Venezuela upwelling
Nitrito/Nitrite (µmol/L)		0,53-1 <sup>27,28</sup> ; 0,59-1,74 <sup>29</sup>
Amonio/Ammonium (µmol/L)		6-17 <sup>28</sup> ; 2,4 <sup>27,30</sup> ; 3-5,5 <sup>25</sup> ; 2,21-2,89 <sup>29,31</sup> ; 2,04-2,18 <sup>18</sup>
Fosfato/Phosphate (µmol/L)		0,15-0,53 <sup>23,32,33,34,35</sup> ; 1-1,5 <sup>28</sup> ; 1,63-3,37 <sup>25</sup> ; <0,3 <sup>9</sup> ; 0,97 <sup>18</sup>
Clorofila a/Chlorophyll-a (mg/m <sup>3</sup> )	3 <sup>13,36</sup> ; 1,15 <sup>2</sup> ; 9,3-13,5 <sup>60</sup>	0,25-1,31 <sup>37</sup> ; 2,4 <sup>38</sup> ; 1,55-5,88 <sup>39</sup> ; 0,95-1,85 <sup>31</sup> ; 0,25-4,5 <sup>40</sup> ; 1,59-2,98 <sup>29</sup> ; 8 <sup>41</sup> ; 11,1 <sup>29</sup> ; 14,35 <sup>42</sup> ; 3,7-3,8 <sup>27</sup> ; 0,11-8,17 <sup>43</sup> ; 0,08-9,61 <sup>35</sup> ; 0,74-1,64 <sup>44</sup> ; 0,59-3,09 <sup>18-19</sup> ; 0,63 <sup>45</sup> ; 1,65 <sup>2,46</sup> ; 0,5-0,35 <sup>62</sup>
P. primaria/Primary production gC/m <sup>2</sup> /a		320-628 <sup>63</sup>
	<b>Ríos/Rivers</b>	<b>Magdalena</b>
		<b>Orinoco</b>
Gasto (m <sup>3</sup> /seg)/Flow (m <sup>3</sup> /sec)	7200 <sup>48</sup> ; 143 (ríos Guajira) <sup>66</sup>	30 000-80 000 <sup>49,50,51,52</sup>
Sedimentos (Mt/año)/Sediments (Mt/year)	142,6 <sup>47</sup> ; 114 <sup>48</sup> ; 169 <sup>65</sup>	90 <sup>53</sup>
Área afectada/Affected area (km <sup>2</sup> )		300 000 <sup>53,54</sup>
Materia orgánica total/Total organic Matter (gC/year)		2,5 <sup>53</sup>
	<b>Plataforma/Platform</b>	
Anchura/Width (km)	5,4-46 <sup>55,56</sup>	90 <sup>5</sup>
Profundidad/Depth (m)		66 <sup>5</sup>
Superficie/Surface (km <sup>2</sup> )	14 298 <sup>57</sup>	36 000 <sup>58</sup>
Islas, islotes/Islands, islets (número total/total number)		167 <sup>59</sup>

<sup>1</sup>Chávez y Messié (2009); <sup>2</sup>Rueda-Roa (2012); <sup>3</sup>Rueda-Roa y Müller-Karger (2013); <sup>4</sup>Andrade y Barton (2013); <sup>5</sup>Herrera y Febres (1975); <sup>6</sup>Aparicio (2003); <sup>7</sup>Freón y Ans (2003); <sup>8</sup>Walsh *et al.* (1999); <sup>9</sup>Astor *et al.* (2004); <sup>10</sup>Jury (2018); <sup>11</sup>Fajardo (1979); <sup>12</sup>Cabrera y Donoso (1993); <sup>13</sup>Andrade y Barton (2005); <sup>14</sup>Paramo *et al.* (2011); <sup>15</sup>Astor *et al.* (2003); <sup>16</sup>Astor *et al.* (1998); <sup>17</sup>Gómez (2006); <sup>18</sup>Gómez y Barceló (2014); <sup>19</sup>Gómez *et al.* (2014); <sup>20</sup>Castellanos *et al.* (2002); <sup>21</sup>Müller-Karger *et al.* (2004); <sup>22</sup>Corredor (1977); <sup>23</sup>Richards (1960); <sup>24</sup>Bonilla *et al.* (1993); <sup>25</sup>Ballester (1965); <sup>26</sup>Okuda (1978); <sup>27</sup>Mandelli y Ferraz (1982); <sup>28</sup>Kato (1961); <sup>29</sup>Gómez *et al.* (2008); <sup>30</sup>Richards y Vaccaro (1956); <sup>31</sup>Gómez y Chanut (1988, 1993); <sup>32</sup>Hulburt (1966); <sup>33</sup>Okuda *et al.* (1969); <sup>34</sup>Okuda (1981); <sup>35</sup>Ferraz (1989); <sup>36</sup>Corredor (1979); <sup>37</sup>Margalef (1965); <sup>38</sup>Morris *et al.* (1981); <sup>39</sup>Cabrera (1987); <sup>40</sup>Pineda y Aguado (1980); <sup>41</sup>Varela *et al.* (2003); <sup>42</sup>Gómez (2006); <sup>43</sup>Ferraz (1987); <sup>44</sup>Moigis (1986); <sup>45</sup>Müller-Karger y Varela (1988); <sup>46</sup>Müller-Karger (2013); <sup>47</sup>Restrepo-López *et al.* (2015); <sup>48</sup>Restrepo y Kjerfve (2000); <sup>49</sup>Rabinovich y Novoa (1982); <sup>50</sup>Meade *et al.* (1983); <sup>51</sup>Lewis y Saunders (1989); <sup>52</sup>Monente (1990); <sup>53</sup>Blough *et al.* (1993); <sup>54</sup>Müller-Karger *et al.* (1989); <sup>55</sup>Álvarez-León *et al.* (1995); <sup>56</sup>Paramo *et al.* (2003); <sup>57</sup>Chasqui *et al.* (2013); <sup>58</sup>este trabajo/This paper; <sup>59</sup>Gómez (1996); <sup>60</sup>Franco-Herrera *et al.* (2006); <sup>61</sup>Montoya-Sánchez (2019); <sup>62</sup>Lorenzoni (2017); <sup>63</sup>Müller-Karger *et al.* (2019); <sup>64</sup>Calvo-Trujillo *et al.* (2018); <sup>65</sup>Higgins *et al.* (2016); <sup>66</sup>Beier *et al.* (2017).

### Comentario sobre vientos e índices de surgencia

La surgencia venezolana tiene variaciones interanuales por cambios en la velocidad del viento, que actúa a manera de pulsos e intensifica el fenómeno (Astor *et al.*, 2004, 2014). En 1998, la surgencia fue débil y en la estación Cariaco se observó hundimiento (Müller-Karger *et al.*, 2004). La surgencia ocurre hasta abril-mayo si los alisios del ENE tienen una velocidad de  $\geq 8$  m/s. Con este viento, la producción pesquera es óptima en áreas con afloramiento (Cury y Roy, 1989). Sin embargo, en el oriente de Venezuela los valores del viento tienen menor intensidad en la plataforma nororiental, donde ocurre la mayor actividad pesquera. En la estación Cariaco, el viento alcanzaba 8-9 m/s, pero esta se encontraba localizada a sotavento de la surgencia intensa y lejos de la costa (profundidad > 1000 m).

En el Caribe sur, se registran vientos con diferente velocidad promedio: moderados (6,3 m/seg) al oriente de

### Commentary on winds and upwelling rates

The Venezuelan upwelling has interannual variations due to changes in wind speed, which acts as pulses and intensifies the phenomenon (Astor *et al.*, 2004, 2014). In 1998, the upwelling was weak and subsidence was observed at the Cariaco station (Müller-Karger *et al.*, 2004). The upwelling occurs until April-May if the ENE trade winds have a speed of  $\geq 8$  m/s. With this wind, fish production is optimal in upwelling areas (Cury and Roy, 1989). However, in eastern Venezuela, the wind values are less intense on the northeastern shelf, where the greatest fishing activity occurs. At the Cariaco station, the wind reached 8-9 m/s, but it was located downwind of the intense upwelling and far from the coast (depth > 1000 m).

In the southern Caribbean, winds with different average speed are recorded: moderate (6.3 m/sec) to the east—of 68 °W (Venezuela); strong (8.3 m/sec)—between

Venezuela (68° W), fuertes (8,3 m/seg) en la Guajira (entre 69-74° W) e intensos (8,7 m/seg) afuera de Colombia (entre 74-76° W). En esta área, el proceso de surgencia es menos eficiente por una menor proporción de vientos alineados con la dirección de la costa (85 % y 94 % para las áreas occidental y oriental del Caribe sur). Además, al occidente se alcanza una latitud ligeramente más alta y el parámetro Coriolis ocasiona ~10 % menos de transferencia del viento a la surgencia (Rueda-Roa, 2012). En la parte oriental de la cuenca Cariaco (1994-2009), el transporte de Ekman varió entre 1,35-2,77 m<sup>2</sup>/s (Lorenzoni *et al.*, 2017).

En la Guajira, los valores más altos del índice de surgencia (258,6 m<sup>3</sup>/s por 100 m de línea de costa) se registran en febrero, disminuyen en octubre (19,8 m<sup>3</sup>/s) y en julio alcanzan 237,6 m<sup>3</sup>/s (Murcia-Riaño *et al.*, 2017). En la surgencia colombiana, el transporte es 1,5 veces mayor que en el oriente venezolano porque los vientos son 1,3 veces más fuertes. En consecuencia, en la columna de agua, la turbulencia es ~2,5 veces mayor en el occidente que en el oriente (557 y 229 m<sup>3</sup>/s, respectivamente). Esto tiene mucha importancia porque puede limitar la producción pesquera al dispersar el plancton y transportar las larvas mar afuera y a mayor profundidad; así mismo, se ha planteado que en la Guajira los nutrientes se exportan antes de ser utilizados en la surgencia (Rueda-Roa, 2012). De igual forma, debe considerarse la dirección de la costa, que en Colombia es hacia el suroccidente (Punta Gallinas a Camarones) y de oriente a occidente (Camarones a Santa Marta) mientras que en Venezuela es de oriente a occidente.

Para determinar la influencia del viento como factor responsable de la surgencia, se han establecido índices (Bakun, 1973) porque dan idea del transporte de Ekman como índice del agua que asciende para reemplazar a la superficial que desplaza el viento. Asimismo, se calculan índices utilizando campos de presión atmosférica (vientos geostróficos) y la temperatura superficial del agua (Aparicio, 2003), y con las variables de viento y temperatura se establecen correlaciones para modelos predictivos (Herrera y Febres, 1975).

En Venezuela, se han utilizados datos de vientos de estaciones meteorológicas (Herrera y Febres, 1975; Aparicio, 2003), viento marítimo y temperatura del mar (1950-1990) por barcos mercantes (Freón y Ans, 2003). El problema con estos datos es que los barcos generalmente sobrepasan la plataforma y la surgencia venezolana es costera, por lo cual quizás sean más apropiados los datos de las estaciones fijas, que también tienen sesgo por interferencia de las brisas marinas (de tierra y mar) con los vientos alisios (Freón y Mendoza, 2003).

69°-74° W (Guajira), and intense —of 8.7 m/sec between 74°-76° W (outside Colombia). In this area, the upwelling process is less efficient due to a lower proportion of winds aligned with the direction of the coast (85 % and 94 % for the western and eastern areas of the southern Caribbean). Also, to the west, a slightly higher latitude is reached and the Coriolis parameter causes ~10 % less transfer from the wind to the upwelling (Rueda-Roa, 2012). In the eastern part of the Cariaco basin (1994-2009), Ekman transport ranged between 1.35-2.77 m<sup>2</sup>/s (Lorenzoni *et al.*, 2017).

In La Guajira, the highest values of the upwelling index (258.6 m<sup>3</sup>/s per 100 m of coastline) are registered in February, decreasing in October (19.8 m<sup>3</sup>/s) and reaching 237.6 m<sup>3</sup>/s in July (Murcia-Riaño *et al.*, 2017). In the Colombian upwelling, transport is 1.5 times larger than in eastern Venezuela because the winds are 1.3 times stronger. Consequently, in the water column, turbulence is ~2.5 times greater in the west than in the east (557 and 229 m<sup>3</sup>/s, respectively). This is very important because it can limit fish production by dispersing plankton and transporting larvae offshore and deeper; likewise, it has been proposed that in La Guajira nutrients are exported before being used in the upwelling (Rueda-Roa, 2012). Similarly, the direction of the coast must be considered, which in Colombia is to the southwest (Punta Gallinas to Camarones) and from east to west (Camarones to Santa Marta) while in Venezuela it is from east to west.

To determine the influence of the wind as a factor responsible for upwelling, indices have been established (Bakun, 1973) because they give an idea of Ekman's transport as an index of the water that rises to replace the surface water displaced by the wind. Likewise, indices are calculated using atmospheric pressure fields (geostrophic winds) and water surface temperature (Aparicio, 2003), and with the wind and temperature variables correlations are established for predictive models (Herrera and Febres, 1975).

In Venezuela, wind data from meteorological stations (Herrera and Febres, 1975; Aparicio, 2003), maritime wind and sea temperature (1950-1990) by merchant ships (Freón and Ans, 2003) have been used. The problem with these data is that the ships generally exceed the shelf and the Venezuelan upwelling is coastal, so perhaps the data from the fixed stations are more appropriate, which are also biased by interference from sea winds (land and sea) with the trade winds (Freón and Mendoza, 2003).

Según registros de barcos (1950-1990), el promedio presenta máximos estables entre diciembre-junio con valores cercanos a 6,5 m/s, que disminuyen hasta 5,1 m/s en otros meses. La temperatura mostró gran regularidad, con mínimos de < 26 °C en febrero-marzo y máximos de > 28 °C en septiembre-octubre (Freón y Ans, 2003). Sin embargo, valores de < 26°C son muy altos para indicar surgencia en Venezuela porque 21-22 °C en superficie son señal de afloramiento intenso. Al tener datos conflictivos de vientos y temperatura, es difícil aplicar la hipótesis de la ventana óptima de reclutamiento en el caso venezolano, ya que los datos costeros indican que la reproducción de la sardina venezolana (*Sardinella aurita*) ocurre por debajo del valor óptimo de 5,5 m/s mientras que, por los buques, ocurre alrededor del valor óptimo (Freón y Mendoza, 2003). La reproducción de la sardina venezolana se produce en áreas próximas a la costa (Gómez, 2006, 2015; Gómez y Hernández, 2008). En general, las hipótesis de reclutamiento y ventana óptima, entre otras, pueden ser útiles en las áreas donde fueron formuladas, pero tienen dudosa aplicabilidad en ecosistemas tropicales, como el de Venezuela.

La tendencia reciente es utilizar índices que incluyan otras variables para intentar predecir con más realismo y poder explicar la variabilidad de poblaciones. Por ejemplo, en series de tiempo largas, el índice de nutrientes que utiliza nitrato y temperatura responde mejor para predecir la concentración de clorofila y abundancia del zooplancton (García-Reyes *et al.*, 2014). De igual forma, se reconoce que el manejo de ecosistemas pelágicos debe integrar los estudios físicos con funciones biológicas porque la variación estacional de vientos favorables para la surgencia influye de manera diferente a las especies, como es el caso de la sardina en California (García-Reyes *et al.*, 2013), y de la sardina *Sardinella aurita* del Caribe sur.

## 2. HIDROGRAFÍA DEL AGUA QUE AFLORA

**Guajira de Colombia.** En septiembre de 1972, observaciones oceanográficas en el Caribe colombiano (71-75° W), en adyacencias de la península Guajira (72° W), encontraron aguas con temperatura de 25,5 °C y salinidad de > 36,5 y movimientos ascendentes con intensidad de ~114 m/mes (Fajardo, 1979). En 1975, durante la surgencia, las concentraciones máximas de nitrato en superficie fueron 2-3 µmol/L (Corredor, 1977), valores que reflejan la fuente o masa de Agua Subtropical Subsuperficial (SUW). El crecimiento del fitoplancton es menor que en otras

According to ship records (1950-1990), the average shows stable maximums between December-June with values close to 6.5 m/s, which decrease to 5.1 m/s in other months. The temperature showed great regularity, with minimums of < 26 °C in February-March and maximums of > 28 °C in September-October (Freón and Ans, 2003). However, values of < 26 °C are too high to indicate upwelling in Venezuela because 21-22 °C on the surface are a sign of intense upwelling. Having conflicting data on winds and temperature, it is difficult to apply the hypothesis of the optimal recruitment window in the Venezuelan case, since the coastal data indicate that the reproduction of the Venezuelan sardine (*Sardinella aurita*) occurs below the optimal value of 5.5 m/s while, for the vessels, it occurs around the optimal value (Freón and Mendoza, 2003). The reproduction of the Venezuelan sardine occurs in areas close to the coast (Gómez, 2006, 2015; Gómez and Hernández, 2008). In general, the recruitment and optimal window hypotheses, among others, may be useful in the areas where they were formulated, but they have doubtful applicability in tropical ecosystems, such as Venezuela.

The recent trend is to use indices that include other variables to try to predict with more realism and to be able to explain the variability of populations. For example, in long time series, the nutrient index that uses nitrate and temperature responds better to predict chlorophyll concentration and abundance of zooplankton (García-Reyes *et al.*, 2014). In the same way, it is recognized that the management of pelagic ecosystems must integrate physical studies with biological functions because the seasonal variation of favorable winds for upwelling influences species differently, as is the case of the sardine in California (García-Reyes *et al.*, 2013), and the sardine *Sardinella aurita* from the South Caribbean.

## 2. HYDROGRAPHY OF THE WATER THAT EMERGES

**Colombian Guajira.** In September 1972, oceanographic observations in the Colombian Caribbean (71°-75° W), in the vicinity of the Guajira peninsula (72° W), found waters with a temperature of 25.5 °C and salinity of > 36.5 and movements ascending with an intensity of ~114 m/month (Fajardo, 1979). In 1975, during the upwelling, the maximum concentrations of nitrate on the surface were 2-3 µmol/L (Corredor, 1977), values that reflect the source or mass of Subtropical Subsurface

surgencias a causa del relativo empobrecimiento del agua fuente (Corredor, 1979). Se menciona que aflora SUW, con temperaturas entre 22,6-25,8 °C y que en los focos de surgencia activa tiene hasta 19 °C y salinidades entre 36,5 y 37,2 (Cabrera y Donoso, 1993). En 1994 (abril), el foco fuerte se localizó en 12,5° N, con una temperatura superficial de 23 °C y una isoterma alrededor de 25 °C. Hasta 100 km de la costa se observó circulación ciclónica (Andrade y Barton, 2005).

En 1998 (febrero), la temperatura superficial fue de 23 °C (salinidad de > 36,8), pero en el borde de la plataforma, desde la superficie hasta 200 m de profundidad, se encontraron salinidades de 36,4. En noviembre de 1998 fue característico que el agua surgida estuviera rodeada por agua cálida con menor salinidad —hasta 35,75— (Andrade y Barton, 2005). Al sur de la Guajira, en el parque Tayrona (septiembre/1999-mayo/2000), la temperatura varió entre 24,0-27,0 °C y la salinidad entre 35,2-35,3 en época seca (surgencia) (Franco-Herrera *et al.*, 2006). En la Guajira, los trabajos se han centrado en mediciones indirectas y datos *in situ* de cruceros, que determinan temperatura y salinidad (Andrade y Barton, 2005; Paramo *et al.*, 2011). Recientemente, estas variables, además del oxígeno disuelto y nutrientes, se han extraído de la climatología del *World Ocean Atlas 2009* (Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017; Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

Durante 1981-2000, las temperaturas superficiales obtenidas por barcos (COADS) indican que, en la baja y alta Guajira, el promedio fue de 27,08 °C. En febrero-marzo, se presentan los mínimos (24,43 y 24,50 °C) y en octubre-noviembre los máximos (29,45 y 29,54 °C), con un intervalo anual de 4,95 y 5,07 °C (Bernal *et al.*, 2006). Cerca de la costa (finales de 2005 hasta febrero/2006), las temperaturas superficiales fueron de  $\leq 27^{\circ}\text{C}$  (salinidad de 36) y de  $23^{\circ}\text{C}$  (salinidad de 35,8), en una profundidad de > 30 m (Paramo *et al.*, 2011). También se menciona que se trata de SUW (Wüst, 1964; Fajardo, 1979; Bula, 1990) localizada entre 100 y 200 m de profundidad (Hernández y Joyce, 2000). Sin embargo, se considera que el agua que abastece a la surgencia en la Guajira puede estar influenciada por una rama costera (extremo sur) del giro Panamá-Colombia, que fluye a 100 m de profundidad y con dirección hacia el oriente (Andrade, 2001; Andrade *et al.*, 2003; Jouanno *et al.*, 2008) como una corriente subsuperficial (Beier *et al.*, 2017); su origen determina la baja cantidad de nutrientes del agua que emerge con la surgencia (Paramo *et al.*, 2011). El giro ciclónico tiene más

Water (SUW). Phytoplankton growth is less than in other upwellings due to the relative impoverishment of the source water (Corredor, 1979). It is mentioned that SUW upwellings, with temperatures between 22.6-25.8 °C and that in active upwelling foci it has up to 19 °C and salinities between 36.5 and 37.2 (Cabrera and Donoso, 1993). In 1994 (April), the strong focus was located at 12.5 °N, with a surface temperature of 23 °C and an isotherm around 25 °C. Up to 100 km from the coast, cyclonic circulation was observed (Andrade y Barton, 2005).

In 1998 (February), the surface temperature was 23 °C (salinity > 36.8), but at the edge of the shelf, from the surface to 200 m depth, salinities of 36.4 were found. In November 1998 it was characteristic that the emerged water was surrounded by warm water with lower salinity —up to 35.75 (Andrade and Barton, 2005). South of La Guajira, in Tayrona Park (September/1999-May/2000), the temperature varied between 24.0-27.0 °C and the salinity between 35.2-35.3 in the dry season (upwelling) (Franco-Herrera *et al.*, 2006). In La Guajira, researchers have focused on indirect measurements and *in situ* data from cruise ships, which determine temperature and salinity (Andrade and Barton, 2005; Paramo *et al.*, 2011). Recently, these variables, in addition to dissolved oxygen and nutrients, have been extracted from the climatology of the *World Ocean Atlas 2009* (Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017; Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

During 1981-2000, the surface temperatures obtained by ships (COADS) indicate that, in the low and high Guajira, the average was 27.08 °C. In February-March, the minimums (24.43 and 24.50 °C) are presented and in October-November the maximums (29.45 and 29.54 °C), with an annual interval of 4.95 and 5.07 °C (Bernal *et al.*, 2006). Near the coast (late 2005 to February/2006), surface temperatures were  $\leq 27^{\circ}\text{C}$  (salinity of 36) and  $23^{\circ}\text{C}$  (salinity of 35.8), at a depth of > 30 m (Paramo *et al.*, 2011). It is also mentioned that it is SUW (Wüst, 1964; Fajardo, 1979; Bula, 1990) located between 100 and 200 m deep (Hernández and Joyce, 2000). However, it is considered that the water that supplies the upwelling in the Guajira may be influenced by a coastal branch (extreme south) of the Panama-Colombia gyre, which flows 100 m deep and in an eastern direction (Andrade, 2001; Andrade *et al.*, 2003; Jouanno *et al.*, 2008) as a subsurface current (Beier *et al.*, 2017), its origin determines the low amount of nutrients in the water that emerges with the upwelling (Paramo *et al.*, 2011). The cyclonic gyre is more than 200 km wide and

de 200 km de ancho y una velocidad media de  $> 60$  cm/s (Bernal *et al.*, 2010). La parte occidental del giro persiste todo el año (Centurioni y Niiler, 2003), pero la parte oriental se desprende aguas afuera del golfo del Darién, lo que forma la contracorriente Panamá-Colombia (Andrade, 2001; Ruiz Ochoa, 2011), cuya intensidad varía con la estacionalidad. La contracorriente se vuelve más pronunciada en época de lluvias (húmeda) y se extiende hasta la Guajira (Donoso, 1990). En general, en aguas de la plataforma y del talud continental del Caribe centroamericano (Belize hasta el sur del Caribe colombiano), donde se forma el giro, los perfiles verticales son típicos de aguas oligotróficas (Aguirre y Salmerón, 2015; Brenes *et al.*, 2017) y en los primeros 100 m la temperatura varía poco (Sheng y Tang, 2003). En consecuencia, el giro Panamá-Colombia es oligotrófico.

El análisis de cambios en la intensidad de la surgencia entre 1982-2014 (Santos *et al.*, 2016) determina diferencias entre calentamiento en mar abierto ( $\sim 0,25$  °C/dec) y localidades costeras que tienen enfriamiento moderado no significativo ( $\sim -0,05$  °C/dec). En los meses de surgencia fuerte (enero-marzo), la temperatura mínima (24,5 °C) estuvo entre 73 y 72° W y el índice máximo de surgencia (4 m<sup>2</sup>/s) entre 75,5 y 74,5° W. El desplazamiento de la temperatura mínima ( $\sim 2^\circ$ ) hacia el oriente puede tener relación con la advección de aguas provocada por la contracorriente costera del Caribe (Andrade *et al.*, 2003; Jouanno *et al.*, 2008). Estas aguas son más intensas entre diciembre y mayo (Bernal *et al.*, 2010).

Se menciona que en el Caribe colombiano (Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017) se observa desde agosto baja salinidad asociada con plumas de los ríos Orinoco y Amazonas, las cuales se extienden a lo largo del Caribe entre agosto-noviembre, tres a cuatro meses después del máximo de lluvias (Chérubin y Richardson, 2007). En octubre-noviembre, se suman al pulso del río Magdalena y de otros ríos que drenan al Caribe. Lo anterior se corresponde con las más bajas salinidades en el ciclo anual, que llevan consigo nutrientes provenientes del continente. Se cita, así mismo, que en el oriente de la Guajira se presenta un pulso de alta concentración en febrero y julio, el cual podría explicarse como una advección proveniente del oriente; no obstante, no se evidencia un aporte directo asociado a la surgencia de la Guajira (Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017). También se menciona que la surgencia es casi permanente por combinación de la morfología costera, la batimetría y la persistencia hacia occidente de los vientos alisios; el evento más importante ocurre entre diciembre-mayo y otra surgencia

has an average speed of  $> 60$  cm/s (Bernal *et al.*, 2010). The western part of the gyre persists throughout the year (Centurioni and Niiler, 2003), but the eastern part flows out of the Darien Gulf, forming the Panama-Colombia Countercurrent (Andrade, 2001; Ruiz Ochoa, 2011), whose intensity varies with seasonality. The countercurrent becomes more pronounced in the rainy season (wet) and extends to La Guajira (Donoso, 1990). In general, in waters of the continental shelf and slope of the Central American Caribbean (Belize to the southern Colombian Caribbean), where the gyre is formed, the vertical profiles are typical of oligotrophic waters (Aguirre and Salmerón, 2015; Brenes *et al.*, 2017) and in the first 100 m the temperature varies little (Sheng and Tang, 2003). Consequently, the Panama-Colombia gyre is oligotrophic.

The analysis of changes in the intensity of the upwelling between 1982-2014 (Santos *et al.*, 2016) determines differences between warming in the open sea ( $\sim 0.25$  °C/dec) and coastal localities that have moderate non-significant cooling ( $\sim -0.05$  °C/dec). In the months of strong upwelling (January-March), the minimum temperature (24.5 °C) was between 73° and 72 °W and the maximum upwelling rate (4 m<sup>2</sup>/s) between 75.5° and 74.5 °W. The displacement of the minimum temperature towards the east ( $\sim 2^\circ$ ) may be related to the flow of water caused by the coastal countercurrent of the Caribbean (Andrade *et al.*, 2003; Jouanno *et al.*, 2008). These waters are most intense between December and May (Bernal *et al.*, 2010).

It is mentioned that in the Colombian Caribbean (Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017) low salinity has been observed since August associated with plumes from the Orinoco and Amazon rivers, which extend throughout the Caribbean between August-November, three to four months after the maximum rainfall (Chérubin and Richardson, 2007). In October-November, they join the pulse of the Magdalena River and other rivers that drain into the Caribbean. This corresponds to the lowest salinities in the annual cycle, which carry nutrients that come from the continent. Likewise, it is mentioned that in eastern La Guajira there is a high concentration pulse in February and July, which could be explained as an advection from the east; however, there is no evidence of a direct contribution associated with the emergence of the Guajira (Bastidas-Salamanca *et al.*, 2017). It is also mentioned that the upwelling is almost permanent due to a combination of the coastal morphology, the bathymetry and the persistence towards the west of the trade winds; the most important event occurs between



débil en junio-agosto por la intensificación del viento de chorro de bajo nivel del Caribe (Cook y Vizy, 2010). Con modelos armónicos, Del Rosario *et al.* (2019) establecen predicciones de la surgencia con un horizonte entre 4-6 meses.

Son variadas las explicaciones para la baja productividad en la Guajira: se habla de las aguas oligotróficas (Andrade *et al.*, 2003), de la eficiencia reducida en la transferencia de energía por el viento (Rueda-Roa y Müller-Karger, 2013) y de que en junio-diciembre las aguas superficiales tienen baja salinidad al tener su origen en el suroccidente de la cuenca Colombia, lo cual favorece la estratificación y el calentamiento e inhibe la mezcla vertical (Beier *et al.*, 2017). También se ha planteado que, según la época del año, la fuente de la fertilización viene del oriente, a través de remolinos de mesoescala, transportando nutrientes desde el golfo de Venezuela, desde focos de surgencia cercanos e incluso desde la cuenca Cariaco (oriente de Venezuela), o viene del occidente, por la descarga del río Magdalena, y es transportada por la contracorriente del Caribe (Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

Con datos satelitales (1999-2008), se estableció que el promedio anual de temperatura superficial es de  $\geq 25,5$  °C. En Santa Marta, se encontró la menor amplitud anual (2,8 °C), con un límite de surgencia de 75,5° W, porque hasta 77° W el promedio anual es 27,4 °C (Rueda-Roa, 2012). La surgencia afecta un área de 110 000 km<sup>2</sup> en el Caribe suroccidental (Castellanos *et al.*, 2002).

Recientemente, utilizando modelos numéricos y algunos perfiles oceanográficos (Correa-Ramírez *et al.*, 2020), se plantea que en las surgencias de la Guajira y Venezuela aflora Agua Subtropical, que se forma en la plataforma de Nicaragua y es transportada por debajo del giro Panamá-Colombia por la contracorriente de Colombia (velocidad promedio de ~0,28 m/s). La menor salinidad observada en las aguas afloradas resulta de intensos procesos verticales de mezcla. Desde Nicaragua, la corriente viaja entre 2600 y 4400 km antes de alcanzar la Guajira y el oriente de Venezuela, con un tiempo de permanencia de 3,6 y 6,1 meses, respectivamente. Antes de aflorar en las costas de ambos países, este tiempo contribuye al aumento (o la disminución) de nutrientes en el Agua Subtropical (Correa-Ramírez *et al.*, 2020). También se ha concluido que en la surgencia de la Guajira ocurre calentamiento en toda la capa superficial (Montoya-Sánchez, 2019).

**Oriente de Venezuela.** Por información de barcos (COADS) entre 1959-1990, la temperatura superficial

December-May and another weak upwelling in June-August due to the intensification of the low-level jet wind from the Caribbean (Cook and Vizy, 2010). With harmonic models, Del Rosario *et al.* (2019) established upwelling predictions with a horizon between 4-6 months.

The explanations for the low productivity in La Guajira are varied: oligotrophic waters (Andrade *et al.*, 2003) reduced efficiency in the transfer of energy by the wind (Rueda-Roa and Müller-Karger, 2013), and of that in June-December surface waters have low salinity as they originate in the southwest of the Colombia basin, which favors stratification and warming and inhibits vertical mixing (Beier *et al.*, 2017). It has also been suggested that depending on the time of year, the source of fertilization comes from the east, through mesoscale eddies, transporting nutrients from the Gulf of Venezuela, from nearby upwelling sources and even from the Cariaco basin (eastern Venezuela), or it comes from the west, by the discharge of the Magdalena River, and is transported by the Caribbean Countercurrent (Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

With satellite data (1999-2008), it was established that the average annual surface temperature is  $\geq 25.5$  °C. In Santa Marta, the lowest annual amplitude was found (2.8 °C), with an upwelling limit of 75.5° W, because up to 77° W the annual average is 27.4 °C (Rueda-Roa, 2012). The upwelling affects an area of 110,000 km<sup>2</sup> in the southwestern Caribbean (Castellanos *et al.*, 2002).

Recently, using numerical models and some oceanographic profiles (Correa-Ramírez *et al.*, 2020), it has been suggested that Subtropical Water emerges in the upwellings of La Guajira and Venezuela, which forms on the Nicaraguan platform and is transported below the gyre. Panama-Colombia by the Colombia Countercurrent (average speed of ~0.28 m/s). The lower salinity observed in the upwelling waters results from intense vertical mixing processes. From Nicaragua, the current travels between 2600 and 4400 km before reaching Guajira and eastern Venezuela, with a residence time of 3.6 and 6.1 months, respectively. Before emerging on the coasts of both countries, this time contributes to the increase (or decrease) of nutrients in Subtropical Water (Correa-Ramírez *et al.*, 2020). It has also been concluded that warming occurs in the entire surface layer in the Guajira upwelling (Montoya-Sánchez, 2019).

**Eastern Venezuela.** Based on information from ships (COADS) between 1959-1990, the surface

presenta regularidad, con valores mínimos de  $< 26$  °C en febrero-marzo y máximos de  $> 28$  °C en septiembre-octubre; la amplitud de variación es menor que las mediciones costeras (Freón y Ans, 2003). Por datos de mareógrafos (1968-1986), la temperatura superficial tuvo un mínimo de  $\sim 22$  °C el primer trimestre del año, con máximos de  $\sim 27$  °C en septiembre-octubre y una amplitud anual de 5 °C (Aparicio, 2003). Se menciona que hubo dificultad en el registro de la hidrografía regional porque las observaciones oceanográficas permanentes han sido infrecuentes; además, en el movimiento vertical del agua ocurre un patrón irregular, por lo cual la isoterma de 21 °C en superficie se utiliza para definir la surgencia fuerte o intensa, aunque en 1997 y 1998 la isoterma de 23 °C fue la que afloró en superficie (Astor *et al.*, 2003). Asimismo, en 1933 y 1937, la temperatura superficial fue de 24 °C, lo que demostró que la surgencia no fue intensa (Herrera y Febres, 1975).

En la serie de tiempo Cariaco (1995-2017), se observaron surgencias en los primeros años (diciembre/1995 y abril/1996), cuando la temperatura en superficie fue de  $< 22,5$  °C. En diciembre/1996-mayo/1997 fue de  $< 22$  °C. En ambos eventos, la salinidad fue de  $> 36,8$  en superficie. También se menciona que a 120 m el oxígeno disuelto tuvo una concentración de 2,6 ml/L, valor observado a 50 m en febrero de 1997, lo que indicó el ascenso de aguas profundas (Astor *et al.*, 1998). Durante la surgencia, el pH es bajo ( $< 8,0$ ) en aguas superficiales (Astor *et al.*, 2017). Entre noviembre/1995-diciembre/2001, la temperatura superficial varió entre 21,79 y 29,15 °C. En 1997 y 2001, ocurrieron surgencias fuertes cuando la isoterma de 21 °C alcanzó una profundidad de 18-21 m, pero en 1998 y 1999 la isoterma de 21 °C tuvo menor intensidad porque permaneció por debajo de 40 m, razón por la cual la surgencia fue débil (Walsh *et al.*, 1999; Astor *et al.*, 2004, 2005). En el oriente de isla Margarita, en marzo de 2003-2004, durante la surgencia intensa se determinaron valores de oxígeno disuelto de  $< 1$  ml/L en superficie (Gómez, 2006; Gómez y Barceló, 2014).

En 1996, por imágenes satelitales, se identificaron 13 focos de surgencia, de los cuales 7 tuvieron temperaturas entre 21-22 °C (mínimo 20,5 °C). Cuando son muy intensos, los focos se unen formando extensas zonas de agua fría, que alcanzan un área de hasta 52 000 km<sup>2</sup> (Castellanos *et al.*, 2002), valor próximo a la estimación previa de  $\sim 55$  000 km<sup>2</sup> (Gómez, 1996). Según la intensidad del viento, las aguas ascienden desde una profundidad de 120-140 m, donde se localiza el Agua Subtropical que aflora en febrero-marzo, y entonces agua con salinidad de 36,9 alcanza la superficie.

temperature shows regularity with minimum values of  $< 26$  °C in February-March and maximum values of  $> 28$  °C in September-October; the range of variation is less than coastal measurements (Freon and Ans, 2003). Based on tide gauge data (1968-1986), the surface temperature had a minimum of  $\sim 22$  °C in the first quarter of the year, with maximums of  $\sim 27$  °C in September-October and an annual amplitude of 5 °C (Aparicio, 2003). It is mentioned that there was difficulty in recording regional hydrography because permanent oceanographic observations have been infrequent; furthermore, an irregular pattern occurs in the vertical movement of water, so the isotherm of 21 °C on the surface is used to define strong or intense upwelling, although in 1997 and 1998 the 23 °C isotherm was the one that surfaced (Astor *et al.*, 2003). Likewise, in 1933 and 1937, the surface temperature was 24 °C, which showed that the upwelling was not intense (Herrera and Febres, 1975).

In the Cariaco time series (1995-2017), upwellings were observed in the first years (December/1995 and April/1996), when the surface temperature was  $< 22.5$  °C. In December/1996-May/1997 it was  $< 22$  °C. In both events, salinity was  $> 36.8$  on the surface. They also mention that at 120 m the dissolved oxygen had a concentration of 2.6 ml/L, a value observed at 50 m in February 1997, which indicated the ascent of deep waters (Astor *et al.*, 1998). During the upwelling, the pH is low ( $< 8.0$ ) in surface waters (Astor *et al.*, 2017). Between November/1995-December/2001, the surface temperature varied between 21.79 and 29.15 °C. In 1997 and 2001, strong upwellings occurred when the 21 °C isotherm reached a depth of 18-21 m, but in 1998 and 1999 the 21 °C isotherm had less intensity because it remained below 40 m, which is why the upwelling was weak (Walsh *et al.*, 1999; Astor *et al.*, 2004, 2005). In the east of Isla Margarita, in March 2003-2004, during the intense upwelling, dissolved oxygen values of  $< 1$  ml/L were determined on the surface (Gómez, 2006; Gómez and Barceló, 2014).

In 1996, by satellite images, 13 sources of upwelling were identified, of which 7 had temperatures between 21-22 °C (minimum 20.5 °C). When they are very intense, the foci unite to form extensive areas of cold water, which reach an area of up to 52 000 km<sup>2</sup> (Castellanos *et al.*, 2002), a value close to the previous estimate of  $\sim 55$  000 km<sup>2</sup> (Gómez, 1996). Depending on the intensity of the wind, the waters rise from a depth of 120-140 m, where the Subtropical Water that emerges in February-March is located, and then water with salinity of 36.9 reaches the

Este fenómeno se aprecia hasta mayo. De agosto a octubre, el agua superficial es cálida ( $> 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y de menor salinidad (36,3), coincidiendo con la época de lluvias (Müller-Karger *et al.*, 2004). También, con base en imágenes (1999-2008), se menciona que, en la surgencia venezolana (oriente de  $68^{\circ}\text{ W}$ ), la temperatura promedio anual en superficie es de  $25,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la profundidad del Agua Subtropical (según isobata de  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se encuentra a 85 m (Rueda-Roa, 2012).

En el periodo 1994-2009, al oriente de la cuenca Cariaco, el promedio de la temperatura (diciembre-julio) fue  $24,86 \pm 1,03\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Lorenzoni *et al.*, 2017). En escala decenal, la temperatura superficial ha aumentado  $\sim 1,0 \pm 0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Taylor *et al.*, 2012; Astor *et al.*, 2014); en el golfo de Cariaco (2014-enero 2015) varió entre  $20,1\text{-}29,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Calvo-Trujillo *et al.*, 2018). Recientemente, mediante información satelital y datos *in situ*, se cita que a mediados de año (junio-agosto) se detecta una surgencia que es más cálida ( $\sim 1\text{-}2^{\circ}\text{C}$ ) comparada con la de los primeros meses (Rueda-Roa *et al.*, 2018). En la Tabla 1 se observan valores obtenidos en superficie.

**Intensificación de las surgencias por el calentamiento global.** Es pertinente hacer mención al debatido planteamiento sobre la intensificación de las surgencias propuesto en la última década del siglo XX. La hipótesis planteada es que, por causa de los gases invernadero, el calentamiento global aumenta el gradiente de temperatura entre tierra y océano e intensifica los gradientes de presión, lo que podría acentuar la tensión del viento a lo largo de las costas e intensificar las surgencias de agua en los límites orientales de los principales océanos mundiales (Bakun, 1990). Son llamadas “áreas EBUE” (Eastern Boundary Upwelling Ecosystems), de las cuales se constituyen como principales las de Humboldt, Bengala, California y Canarias, que aportan  $> 20\%$  de las pesquerías mundiales (Pauly y Christensen, 1995). Su monitoreo es importante por la respuesta de las pesquerías al calentamiento global (Cheung *et al.*, 2013; Payne, 2013).

La intensificación de las surgencias tiene estudios que la verifican (Bakun *et al.*, 2010; Cropper *et al.*, 2014; Sydeman *et al.*, 2014; Oerder *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2015), pudiendo causar cambios en la biota marina (Chávez y Messié, 2009; Sydeman *et al.*, 2014). Otros estudios la cuestionan (Barton *et al.*, 2013; Black *et al.*, 2014). La hipótesis se planteó hace dos décadas y en los últimos años, por el calentamiento global actual, ha aumentado el interés en el tema, pero todavía no hay consenso (Gómez-Letona *et al.*, 2017). Al parecer, por el aumento de vientos favorables, se

surface. This phenomenon is appreciated until May. From August to October, the surface water is warm ( $> 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) and of lower salinity (36.3), coinciding with the rainy season (Müller-Karger *et al.*, 2004). Also, based on images (1999-2008), it is mentioned that, in the Venezuelan upwelling (east of  $68^{\circ}\text{ W}$ ), the average annual surface temperature was  $25.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  and the Subtropical Water depth (according to isobath  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) is at 85 m (Rueda-Roa, 2012).

In the period 1994-2009, east of the Cariaco basin, the average temperature (December-July) was  $24.86 \pm 1.03\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Lorenzoni *et al.*, 2017). On a ten-year scale, the surface temperature has increased  $\sim 1.0 \pm 0.14\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Taylor *et al.*, 2012; Astor *et al.*, 2014); in the Gulf of Cariaco (2014-January 2015) it varied between  $20.1\text{-}29.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Calvo-Trujillo *et al.*, 2018). Recently, through satellite information and *in situ* data, it is mentioned that in the middle of the year (June-August) an upwelling is detected, which is warmer ( $\sim 1\text{-}2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) compared to that of the first months (Rueda-Roa *et al.*, 2018). In Table 1, values obtained on the surface are observed.

**Intensification of upwellings due to global warming.** It is pertinent to mention the debated approach on the intensification of upwellings proposed in the last decade of the 20th century. The hypothesis is that, due to greenhouse gases, global warming increases the temperature gradient between land and ocean and intensifies pressure gradients, which could accentuate wind stress along the coasts and intensify upwelling of water in the eastern limits of the major world oceans (Bakun, 1990). They are called “EBUE areas” (Eastern Boundary Upwelling Ecosystems), of which Humboldt, Bengal, California and the Canary Islands are the main ones, which contribute  $> 20\%$  of the world’s fisheries (Pauly and Christensen, 1995). Its monitoring is important for the response of fisheries to global warming (Cheung *et al.*, 2013; Payne, 2013).

The intensification of upwellings has studies that verify it (Bakun *et al.*, 2010; Cropper *et al.*, 2014; Sydeman *et al.*, 2014; Oerder *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2015) and can cause changes in marine biota (Chávez and Messié, 2009; Sydeman *et al.*, 2014). Other studies question it (Barton *et al.*, 2013; Black *et al.*, 2014). The hypothesis was raised two decades ago and in recent years, due to current global warming, interest in the subject has increased, but there is still no consensus (Gómez-Letona *et al.*, 2017). Apparently, due to the increase in favorable winds, upwellings have intensified to the north of  $21^{\circ}\text{ N}$ , but south of  $19^{\circ}\text{ N}$  they have decreased due to unfavorable winds that propitiate

han intensificado las surgencias al norte de 21° N, pero al sur de 19° N han disminuido por vientos desfavorables que propician el hundimiento del agua superficial (Cropper *et al.*, 2014). Es posible que esta situación pueda ocurrir en las surgencias del Caribe sur, localizadas entre 10,2 y 12,5° N.

Por lo anterior, es apropiado referirse a la crisis pesquera de la sardina venezolana, que inició en 2005 y se mantuvo alrededor de una década (Gómez, 2018a). Se menciona que la crisis fue ocasionada por la sobrepesca de sardina en 2003 y 2004 (Rueda-Roa, 2012; Mendoza, 2015), cuando las capturas anuales fueron 200 232 t. Sin embargo, las diversas estimaciones hidroacústicas coincidían en la existencia de 850 000 t explotables (Gerlotto y Ginés, 1988; Stromme y Saetersdal, 1989; Cárdenas y Achury, 2002) y de una biomasa hasta de 1 300 000 t (Cárdenas, 2003). Varios estudios también indicaron que la sardina estaba siendo subexplotada (Freón y Mendoza, 2003; Freón *et al.*, 2003) y/o estable (Guzmán y Gómez, 2000). En contraposición, se ha planteado que la principal causa de la actual fluctuación del recurso sardinero tiene que ver más bien con la disminución de la fertilidad acuática regional. Es así que desde 2005 las surgencias han sido débiles (Gómez *et al.*, 2012; Gómez y Barceló, 2014), la biomasa de fitoplancton ha disminuido notablemente (Gómez *et al.*, 2014) y es probable que la causa de la crisis sardinera sea un cambio de régimen ecológico (Gómez, 2018b, 2019), lo que afectó servicios del ecosistema como la pesca. Así mismo, se mencionó el debilitamiento de los alisios por la migración del centro de alta presión de Azores hacia el norte (Taylor *et al.*, 2012). Esto repercute en la menor intensidad de la surgencia venezolana.

### 3. NUTRIENTES DEL AGUA QUE AFLORA

**Guajira de Colombia.** La concentración máxima de nitrato fue de 2-3  $\mu\text{mol/L}$ , valor inferior al de otras áreas de surgencia, como Perú y el noroccidente de África (Corredor, 1979). En la Guajira, un mecanismo para el enriquecimiento de nutrientes son las partículas de arena transportadas por el viento desde áreas desérticas, como se observa en fotos satelitales. Esto también ocurre en California y el noroccidente de África (Andrade y Barton, 2005). Por datos de nutrientes (enero-julio) obtenidos de atlas climatológicos WOA09 y cruceros oceanográficos (junio y octubre), las mayores concentraciones de nitrato se encuentran en profundidades superiores a 150 m y aumentan de enero a julio a nivel del estrato de fondo (150-500 m). En

the subsidence of surface water (Cropper *et al.*, 2014). It is possible that this situation could occur in upwellings in the southern Caribbean, located between 10.2 and 12.5 °N.

Therefore, it is appropriate to refer to the Venezuelan sardine fishing crisis, which began in 2005 and lasted for about a decade (Gómez, 2018a). It is mentioned that the crisis was caused by overfishing of sardines in 2003 and 2004 (Rueda-Roa, 2012; Mendoza, 2015), when the annual catches were 200 232 t. However, the various hydroacoustic estimates agreed on the existence of 850 000 t exploitable (Gerlotto and Ginés, 1988; Stromme and Saetersdal, 1989; Cárdenas and Achury, 2002) and a biomass of up to 1 300 000 t (Cárdenas, 2003). Several studies also indicated that the sardine was being under-exploited (Freón and Mendoza, 2003; Freón *et al.*, 2003) and/or stable (Guzmán and Gómez, 2000). In contrast, it has been suggested that the main cause of the current fluctuation of the sardine resource has to do more with the decrease in regional aquatic fertility because since 2005 upwellings have been weak (Gómez *et al.*, 2012; Gómez and Barceló, 2014), the phytoplankton biomass has decreased notably (Gómez *et al.*, 2014) and it is likely that the cause of the sardine crisis is a change in the ecological regime (Gómez, 2018b, 2019), which affected ecosystem services such as the fishing. Likewise, the weakening of the trade winds due to the migration of the high pressure center of the Azores to the north was mentioned (Taylor *et al.*, 2012). This affects the lower intensity of the Venezuelan upwelling.

### 3. NUTRIENTS OF THE UPWELLED WATER

**Colombian Guajira.** The maximum nitrate concentration was 2-3  $\mu\text{mol/L}$ , a lower value than in other upwelling areas, such as Peru and northwestern Africa (Corredor, 1979). In La Guajira, a mechanism for the enrichment of nutrients is the sand particles carried by the wind from desert areas, as observed in satellite photos. This is also the case in California and Northwest Africa (Andrade and Barton, 2005). Based on nutrient data (January-July) obtained from WOA09 climatological atlases and oceanographic cruises (June and October), the highest concentrations of nitrate are found at depths greater than 150 m and increase from January to July at the level of the bottom layer (150-500 m). In October, they fall to the lowest values (Dueñas-Lagos *et al.*, 2017).

It is mentioned that the characteristics of the Colombian Caribbean, from the physicochemical point



octubre, descienden hasta los valores más bajos (Dueñas-Lagos *et al.*, 2017).

Se menciona que las características del Caribe colombiano, desde el punto de vista fisicoquímico, no se han abordado, por lo cual se analizaron dos transectos, uno longitudinal sobre 12° N y otro latitudinal en 74° W (Murcia-Riaño *et al.*, 2017). En el longitudinal, en febrero, la capa de mezcla tiene 50 m de profundidad (temperatura promedio: 25,5 ± 0,49°C; salinidad: 36,4 ± 0,10); en los nutrientes no hay aumento: el promedio de fosfatos, nitrato y silicatos fue de 0,07, 1,73 y 2,3 µmol/L, respectivamente. Estos valores evidencian que no hay un pulso de alta concentración de nutrientes que provenga desde capas más profundas. En julio la profundidad de la capa de mezcla es menor (30 m) y la temperatura aumentó 1,3 °C (promedio: 26,8 ± 0,39° C). Con esto, se estima que ocurre un segundo pulso de surgencia, pero no se evidencia que aguas con menor temperatura lleguen desde la subsuperficie; sin embargo, se detecta un pulso de alta concentración de nitratos y silicatos provenientes del oriente. En noviembre, aguas de la contracorriente de Colombia (temperatura: 27,7 ± 0,27°C; salinidad: 35,8 ± 0,35) llegan a la Guajira y en el transecto (12° N) los silicatos tienen alta concentración con valores hasta de 10 µmol/L (Murcia-Riaño *et al.*, 2017). Previamente se citó que en la plataforma centroamericana las aguas son oligotróficas (Aguirre y Salmerón, 2015; Brenes *et al.*, 2017). Se ha discutido que en la Guajira aflora SUW, la cual se localiza a 100-200 m de profundidad (Hernández y Joyce, 2000); no obstante, se sugiere que las aguas que abastecen la surgencia pueden estar influenciadas por el giro Panamá-Colombia (corriente del Darién), que en la región fluye por debajo hasta 100 m de profundidad (Andrade *et al.*, 2003). Este origen determinaría la baja cantidad de nutrientes del agua que emerge (Paramo *et al.*, 2011).

**Oriente de Venezuela.** En el agua que aflora el nitrato tiene una concentración entre 6-8 µmol/L (Richards, 1960; Bonilla *et al.*, 1993); entre Margarita y Araya se habla de 14,8 µmol/L (Ballester, 1965), y en la fosa y el golfo de Cariaco de 1,2 µmol/L (Okuda, 1978; Mandelli y Ferraz, 1982). El nitrito varía de 0,53 a 1 µmol/L en el golfo de Cariaco (Kato, 1961; Mandelli y Ferraz, 1982) y de 0,59 a 1,74 µmol/L en las islas de Coche, Cubagua y el sur de Margarita en 2004-2005 (Gómez *et al.*, 2008). Se mencionan concentraciones de amonio entre 6 y 17 µmol/L en los primeros 50 m del golfo y la fosa de Cariaco (Kato, 1961). También hasta de 2,4 µmol/L (Richards y Vaccaro, 1956; Mandelli y Ferraz, 1982) y de 3,0 a 5,5 µmol/L entre Araya

of view, have not been addressed; therefore two transects were analyzed, one longitudinal over 12 °N and the other latitudinal at 74 °W (Murcia-Riaño *et al.*, 2017). In the longitudinal one, in February, the mixed layer is 50 m deep (average temperature: 25.5 ± 0.49 °C; salinity: 36.4 ± 0.10); There is no increase in nutrients: the average of phosphates, nitrate and silicates was 0.07, 1.73 and 2.3 µmol/L, respectively. These values show that there is not a pulse of high concentration of nutrients that comes from deeper layers. In July, the depth of the mixed layer is less (30 m) and the temperature increased 1.3 °C (average: 26.8 ± 0.39 °C) With this, it is estimated that a second upwelling pulse occurs, but it is not evident that waters with lower temperatures arrive from the subsurface; however, a pulse of high concentration of nitrates and silicates from the east is detected. In November, waters from the Colombia Countercurrent (temperature: 27.7 ± 0.27 °C; salinity: 35.8 ± 0.35) reach La Guajira and in the transect (12 °N) the silicates have a high concentration with values up to 10 µmol/L (Murcia-Riaño *et al.*, 2017). Previously, it was mentioned that in the Central American shelf the waters are oligotrophic (Aguirre and Salmerón, 2015; Brenes *et al.*, 2017). It has been argued that Subtropical Subsurface Water outcrops in La Guajira, which is located 100-200 m deep (Hernández and Joyce, 2000); however, it is suggested that the waters supplying the upwelling may be influenced by the Panama-Colombia gyre (Darién current), which in the region flows below up to 100 m deep (Andrade *et al.*, 2003). This origin would determine the low amount of nutrients in the water that emerges (Paramo *et al.*, 2011).

**Eastern Venezuela.** In the upwelling water, nitrate has a concentration between 6-8 µmol/L (Richards, 1960; Bonilla *et al.*, 1993); 14.8 µmol/L between Margarita and Araya (Ballester, 1965), and 1.2 µmol/L in the Cariaco Trench and Gulf (Okuda, 1978; Mandelli and Ferraz, 1982). Nitrite ranges from 0.53 to 1 µmol/L in the Gulf of Cariaco (Kato, 1961; Mandelli and Ferraz, 1982) and from 0.59 to 1.74 µmol/L in the islands of Coche, Cubagua and the south de Margarita in 2004-2005 (Gómez *et al.*, 2008). Ammonium concentrations between 6 and 17 µmol/L are mentioned in the first 50 m of the gulf and the Cariaco Trench (Kato, 1961). Also up to 2.4 µmol/L (Richards and Vaccaro, 1956; Mandelli and Ferraz, 1982) and from 3.0 to 5.5 µmol/L between Araya and Margarita (Ballester, 1965). On the island Cubagua and the southeast of Margarita 2.21 and 2.89 µmol/L are cited in the first 20 m depth (Gómez and Chanut, 1988, 1993; Gómez *et al.*, 2008). In the 2003-

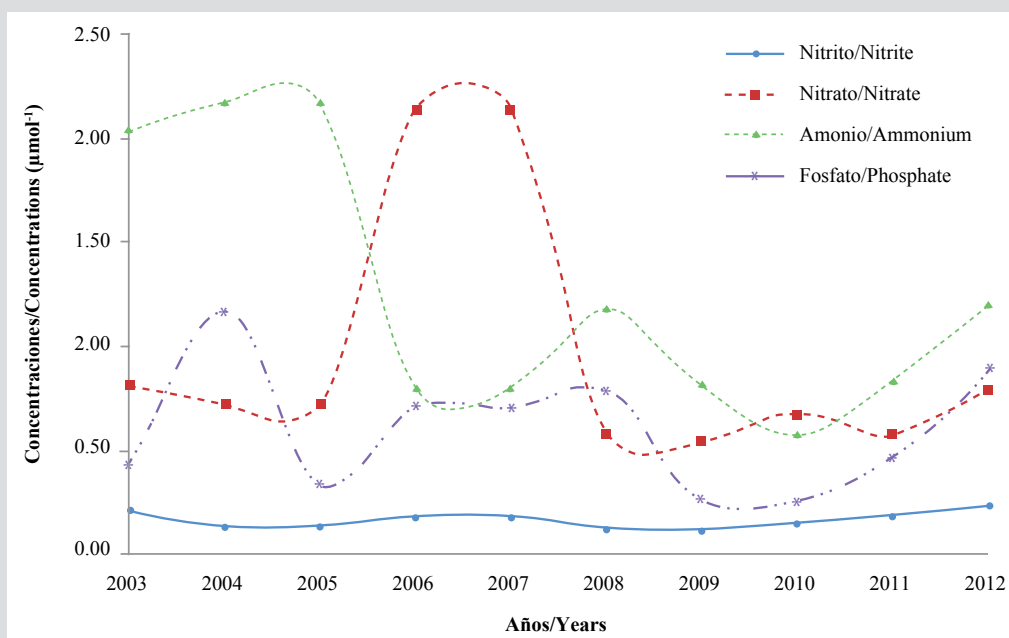


y Margarita (Ballester, 1965). En la isla Cubagua y el sureste de Margarita, en los primeros 20 m de profundidad se citan entre 2,21 y 2,89  $\mu\text{mol/L}$  (Gómez y Chanut, 1988, 1993; Gómez *et al.*, 2008). En las surgencias de 2003-2004, la concentración promedio fue de 2,04 y 2,18  $\mu\text{mol/L}$  al oriente de Margarita (Gómez y Barceló, 2014). Se menciona que las concentraciones de amonio son bajas cuando el nitrito y el nitrato son altos (Gómez y Chanut, 1993) y se comenta que, en el área, el nutriente limitante para las microalgas puede ser el amonio (Salazar-Gómez *et al.* 2011; Gómez *et al.*, 2012). En la década 2003-2012, el amonio tuvo las mayores concentraciones durante 2003 en Margarita (Figura 2). Del fosfato, el ámbito en superficie es de 0,15 a 0,53  $\mu\text{mol/L}$  (Richards, 1960; Hulburt, 1966; Okuda *et al.*, 1969; Okuda, 1981; Ferraz, 1989). También se citan entre 1-1,5  $\mu\text{mol/L}$  (Kato, 1961) y 1,63-3,37  $\mu\text{mol/L}$  (Ballester, 1965) y en la estación Cariaco < 0,3  $\mu\text{mol/L}$  (Astor *et al.*, 2004). En Margarita, durante las surgencias fuertes de 2003 y 2004, se determinaron promedios de hasta 0,97  $\mu\text{mol/L}$  (Gómez y Barceló, 2014). En la pluma del Orinoco (oriente de isla Granada), el amonio y la urea tuvieron una concentración de 0,094 y 0,347  $\mu\text{mol/L}$ , respectivamente; el fosfato y nitrato son indetectables (John *et al.*, 2012). En la Tabla 1 se muestran cifras citadas en superficie.

Según los valores de la hidrografía y la limitada información sobre los nutrientes, mientras no se posean

2004 upwellings, the average concentration was 2.04 and 2.18  $\mu\text{mol/L}$  east of Margarita (Gómez and Barceló, 2014). It is mentioned that ammonium concentrations are low when nitrite and nitrate are high (Gómez and Chanut, 1993) and it was commented that, in the area, the limiting nutrient for microalgae may be ammonium (Salazar-Gómez *et al.* 2011; Gómez *et al.*, 2012). In the decade 2003-2012, ammonia had the highest concentrations during 2003 in Margarita (Figure 2). For phosphate, the surface range is 0.15 to 0.53  $\mu\text{mol/L}$  (Richards, 1960; Hulburt, 1966; Okuda *et al.*, 1969; Okuda, 1981; Ferraz, 1989). They are also cited between 1-1.5  $\mu\text{mol/L}$  (Kato, 1961) and 1.63-3.37  $\mu\text{mol/L}$  (Ballester, 1965) and in the Cariaco station <0.3  $\mu\text{mol/L}$  (Astor *et al.*, 2004). In Margarita, during the strong upwellings of 2003 and 2004, averages of up to 0.97  $\mu\text{mol/L}$  were determined (Gómez and Barceló, 2014). In the Orinoco plume (eastern Granada Island), ammonium and urea had a concentration of 0.094 and 0.347  $\mu\text{mol/L}$ , respectively; phosphate and nitrate are undetectable (John *et al.*, 2012). Table 1 shows figures cited on the surface.

According to the values of the hydrography and the limited information on nutrients, while there are no concrete data with temporary permanence, at least of medium range, the origin of the water that emerges in the Colombian Guajira is still not clear because some authors affirm oligotrophic waters arise. In the Venezuelan upwelling, the phenomenon



**Figura 2.** Variación anual de nutrientes inorgánicos ( $\mu\text{mol/L}$ ) en columna de agua (hasta 20 m cada 15 días) al oriente de Margarita, Venezuela (década 2003-2012; Gómez y Barceló, 2014).

**Figure 2.** Annual variation of inorganic nutrients ( $\mu\text{mol/L}$ ) in the water column (up to 20 m every 15 days) east of Margarita, Venezuela (decade 2003-2012; Gómez and Barceló, 2014).

datos concretos con permanencia temporal, por lo menos, de mediano alcance, aún no es claro el origen del agua que aflora en la Guajira colombiana porque algunos autores afirman que surgen aguas oligotróficas. En la surgencia venezolana, el fenómeno presenta grandes variaciones temporales, pero es claro que afloran Aguas Subtropicales con mayores concentraciones de nutrientes inorgánicos que en la colombiana.

#### 4. RÍOS

**Guajira de Colombia.** En el Caribe suroriental colombiano (departamentos de La Guajira y oriente de Magdalena), se cita la presencia de 13 ríos pequeños (Gaira, Manzanares, Piedras, Mendihuaca, Guachaca, Buritaca, Don Diego, Palomino, Jerez, Cañas, Ancho, Tapias y Ranchería), los cuales, en total, descargan  $143 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $4,51 \text{ km}^3/\text{año}$  (Beier *et al.*, 2017). En el suroccidente de la Guajira, en Barranquilla (Bocas de Ceniza), se encuentra la desembocadura del río más importante de Colombia, el Magdalena, que tiene una longitud de 1550 km y una cuenca de  $257\,438 \text{ km}^2$ . Arroja un promedio de  $7200 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $228 \text{ km}^3$  de agua anual) con una carga de sedimentos de  $114 \times 10^6 \text{ t/año}$ . Las descargas pico ocurren entre octubre y diciembre (Restrepo y Kjerfve, 2000). Entre 1978 y 2010, los ríos que drenan en el Caribe colombiano descargaron en promedio  $146,3 \times 10^6 \text{ t/año}$  de sedimentos. De ellos, el Magdalena aportó 97 % (Restrepo-López *et al.*, 2015). Entre 1990-1999, se citan descargas de hasta  $169 \pm 73 \times 10^6 \text{ t/año}$  (Higgins *et al.*, 2016), que son fuente de nutrientes para el Caribe colombiano, especialmente la zona oceánica de la Guajira (Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

Durante la época seca, la pluma del Magdalena se desplaza hacia el SW por los vientos alisios (Andrade y Thomas, 1988; Molina *et al.*, 1996) y causa turbidez en la bahía Amansaguapos, donde la plataforma continental tiene 35 km y fondos de arena fina (Pinzón *et al.*, 1998). El núcleo de surgencia en la Guajira y la desembocadura del Magdalena están distanciados unos 500 km; en fotografías satelitales, se observan parches de pigmentos provenientes del río. El agua tiene temperatura alta ( $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y la corriente fluye al occidente, lo que evita que sus aguas entren al sistema surgente (Andrade y Barton, 2005). Muestreos del mesozooplankton hasta 1000 m indican que la estructura comunitaria en la Guajira tiene diferencias con la pluma del Magdalena e islas del Rosario (Gutiérrez-Salcedo, 2011). En imágenes y por observaciones *in situ* en el Cabo

presents large temporal variations, but it is clear that Subtropical Waters with higher concentrations of inorganic nutrients emerge than in the Colombian upwelling.

#### 4. RIVERS

**Colombian Guajira.** In the southeastern Colombian Caribbean (departments of La Guajira and eastern Magdalena) there are 13 small rivers (Gaira, Manzanares, Piedras, Mendihuaca, Guachaca, Buritaca, Don Diego, Palomino, Jerez, Cañas, Ancho, Tapias and Ranchería), which, in total, discharge  $143 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $4.51 \text{ km}^3/\text{year}$  (Beier *et al.*, 2017). At the southwestern of La Guajira, in Barranquilla (Bocas de Ceniza), is the mouth of the most important river in Colombia, the Magdalena, which has a length of 1550 km and a basin of  $257\,438 \text{ km}^2$ . It discharges an average of  $7200 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $228 \text{ km}^3$  of water per year) with a sediment load of  $114 \times 10^6 \text{ t/year}$ . Peak discharges occur between October and December (Restrepo and Kjerfve, 2000). Between 1978 and 2010, the rivers that drain into the Caribbean Colombian downloaded on average  $146.3 \times 10^6 \text{ t/year}$  of sediment. Of them, Magdalena contributed 97 % (Restrepo-López *et al.*, 2015). Between 1990-1999, discharges of up to  $169 \pm 73 \times 10^6 \text{ t/year}$  are cited (Higgins *et al.*, 2016), which are a source of nutrients for the Colombian Caribbean, especially the oceanic zone of La Guajira (Murcia-Riaño *et al.*, 2017).

During the dry season, the Magdalena plume moves to the SW by the trade winds (Andrade and Thomas, 1988; Molina *et al.*, 1996) and causes turbidity in the Amansaguapos Bay, where the continental shelf is 35 km wide and bottoms of fine sand (Pinzón *et al.*, 1998). The upwelling nucleus in La Guajira and the mouth of the Magdalena are about 500 km apart; in satellite photographs, patches of pigments from the river are observed. The water has a high temperature ( $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ) and the current flows west, which prevents its waters from entering the upwelling system (Andrade and Barton, 2005). Mesozooplankton samplings up to 1000 m indicate that the community structure in La Guajira differs from the Magdalena plume and Rosario Islands (Gutiérrez-Salcedo, 2011). In images and by observations *in situ* at Cabo de la Vela, warm and fresh waters of Lake Maracaibo are evident; the upwelling is affected by these waters that reach up to 50 m deep. The plume from Lake Maracaibo discharges into the Gulf of Venezuela, where it turns to the west and joins the Guajira, thereby becoming a mechanism to enrich the

de la Vela, son evidentes aguas cálidas y dulces del lago de Maracaibo; la surgencia se ve afectada por estas aguas que llegan hasta 50 m de profundidad. La pluma del lago de Maracaibo descarga en el golfo de Venezuela, donde gira hacia el occidente y se incorpora a la Guajira, con lo que se convierte en un mecanismo para enriquecer la región (Andrade y Barton, 2005), aunque es posible que las aguas cálidas y menos salinas provengan de la contracorriente del Darién. Mediante imágenes y modelos numéricos se plantea que el flujo del lago de Maracaibo hacia el golfo de Venezuela solo es posible cuando disminuyen los vientos alisios (Gómez *et al.*, 2017) y la clorofila varía entre 0,1 y 5,2 mg/m<sup>3</sup> (Rodríguez y Varela, 1987).

**Oriente de Venezuela.** La surgencia intensa ocurre sobre la plataforma continental, la cual recibe la intrusión de agua estuarina proveniente del golfo de Paria en su extremo oriental. La intrusión es descargada principalmente por dos caños navegables (Mánamo y Macareo) del río Orinoco y entran al Caribe por la boca del Dragón, entre la península de Paria y la isla de Trinidad. Durante los meses de descargas máximas, estas aguas afectan toda la plataforma nororiental de Venezuela (Aparicio y Contreras, 2003), por lo cual el Orinoco adquiere mayor importancia, a pesar de que también desemboca en el Atlántico a través del enorme delta, que alcanza 300 km de longitud, grandes caños principales y numerosos afluentes.

El Orinoco tiene una longitud de 2101 km y drena aguas de una cuenca de 1 250 000 km<sup>2</sup>. Su gasto varía entre 30 000 y 80 000 m<sup>3</sup>/s en septiembre-octubre, con un promedio anual de 36 000 m<sup>3</sup>/s (Rabinovich y Novoa, 1982; Meade *et al.*, 1983; Lewis y Saunders, 1989; Monente, 1990), y descarga al mar alrededor de 90 × 10<sup>6</sup> t/año de material suspendido (Blough *et al.*, 1993). Las aguas salobres tienen altas concentraciones de silicato y fósforo orgánico, pero son pobres en nitrato y fosfato (Richards, 1960) y están desprovistas de nitratos (Bonilla *et al.*, 1993). La influencia del grandioso Orinoco se nota desde julio hasta finales de año (Ljoen y Herrera, 1965; Febres, 1974; Okuda *et al.*, 1974). Las descargas máximas ocurren en agosto-septiembre (Aparicio, 2003). Al suroriente de la plataforma, la capa de baja salinidad tiene una altura de 15 m (Okuda *et al.*, 1974) y se desplaza con una velocidad de 15-33 cm/s (Moore y Todd, 1993); en septiembre-octubre, la capa afecta un área superior a 300 000 km<sup>2</sup> (Müller-Karger *et al.*, 1989; Blough *et al.*, 1993).

En el segundo semestre del año, las aguas del Orinoco afectan la isla Margarita, situada a 220 km de la

región (Andrade and Barton, 2005), although it is possible that warm waters and less saline come from the Darien Countercurrent. Using images and numerical models, it is suggested that the flow from Lake Maracaibo to the Gulf of Venezuela is only possible when the trade winds decrease (Gómez *et al.*, 2017) and chlorophyll varies between 0.1 and 5.2 mg/m<sup>3</sup> (Rodríguez and Varela, 1987).

**Eastern Venezuela.** The intense upwelling occurs on the continental shelf, which receives the intrusion of estuarine water from the Gulf of Paria at its eastern end. The intrusion is discharged mainly by two navigable channels (Mánamo and Macareo) of the Orinoco River and enters the Caribbean through the Boca del Dragón, between the Paria peninsula and the island of Trinidad. During the months of maximum discharges, these waters affect the entire northeastern platform of Venezuela (Aparicio and Contreras, 2003), for which the Orinoco acquires greater importance, despite the fact that it also empties into the Atlantic through the enormous delta, which reaches 300 km in length, large main streams and numerous tributaries.

The Orinoco is 2101 km long and drains waters from a 1 250 000 km<sup>2</sup> basin. Its flow varies between 30 000 and 80 000 m<sup>3</sup>/s in September-October, with an annual average of 36 000 m<sup>3</sup>/s (Rabinovich and Novoa, 1982; Meade *et al.*, 1983; Lewis and Saunders, 1989; Monente, 1990), and discharge to the sea around 90 × 10<sup>6</sup> t/year of suspended material (Blough *et al.*, 1993). Brackish waters have high concentrations of silicate and organic phosphorus, but are poor in nitrate and phosphate (Richards, 1960) and are devoid of nitrates (Bonilla *et al.*, 1993). The influence of the great Orinoco is noticeable from July to the end of the year (Ljoen and Herrera, 1965; Febres, 1974; Okuda *et al.*, 1974). The maximum discharges occur in August-September (Aparicio, 2003). To the southeast of the shelf, the low-salinity layer is 15 m high (Okuda *et al.*, 1974) and moves with a speed of 15-33 cm/s (Moore and Todd, 1993); in September-October, the layer affects an area greater than 300 000 km<sup>2</sup> (Müller-Karger *et al.*, 1989; Blough *et al.*, 1993).

In the second half of the year, the waters of the Orinoco affect Margarita Island, located 220 km from the Dragon's Mouth. Considering that the Caribbean current has a speed of 50 cm/s in October (Gordon, 1967), these waters would take five days to arrive (Gómez, 1996), which would explain their presence to the north of the island (Müller-Karger *et al.*, 1989; Bonells *et al.*, 1990; Müller-Karger and Varela, 1990) and by salinity of 15.95 in

boca del Dragón. Considerando que la corriente del Caribe tiene una velocidad de 50 cm/s en octubre (Gordon, 1967), estas aguas tardarían cinco días en llegar (Gómez, 1996), lo que explicaría su presencia al norte de la isla (Müller-Karger *et al.*, 1989; Bonells *et al.*, 1990; Müller-Karger y Varela, 1990) y salinidades de hasta 15,95 en varias localidades. También afecta el oriente y sur de Margarita por valores de 29,9-34,5 en otros lugares y de 29,55 en isla Cubagua (Gómez *et al.*, 2008). Estudios intensivos verificaron que durante julio-diciembre, al sur de Margarita, las aguas en superficie tienen menor salinidad (Gómez y Chanut, 1993). Sin embargo, se afirma que el grueso de las aguas del Orinoco se dispersa al norte de la fosa de Cariaco y que la pequeña pero mensurable disminución de salinidad durante la época de lluvias se debe a ríos locales (Tuy, Neverí, Manzanares) y no al río Orinoco (Müller-Karger *et al.*, 1989; Müller-Karger y Varela, 1990). Este no es el caso del oriente y sur de Margarita y de las islas de Coche y Cubagua.

En el Caribe suroriental, es muy importante la materia orgánica disuelta y coloreada que introduce el río Orinoco. Se estima que descarga  $2,5 \times 10^{12}$  g/año (~1 % del carbono disuelto en los océanos) y también grandes cantidades de material suspendido (~80 mg/L) y disuelto (~34 mg/L) (Blough *et al.*, 1993). Por fotografías, se determina que la extensiva coloración de la pluma corresponde a materia orgánica disuelta y coloreada (Odriozola *et al.*, 2007), en lugar de ser una pluma altamente productiva de nutrientes (López *et al.*, 2013). Se reconfirma su carencia de nitratos (Bonilla *et al.*, 1993), pero contiene valores altos de amonio y urea que favorecen el fitoplancton (John *et al.*, 2012). La fotomineralización de la materia orgánica disuelta (coloreada) en amonio es la fuente de nitrógeno para el fitoplancton, que incrementa su biomasa (López *et al.*, 2013). Estos nutrientes, detectados hasta 1000 km de su delta (Morell y Corredor, 2001), tienen un efecto fisiológico, que aumenta el potencial fotosintético observado en las aguas influenciadas por la pluma del Orinoco. Al norte de Trinidad, en sedimentos superficiales, el ensamble de foraminíferos planctónicos indica mayor influencia de la pluma del Orinoco que de la surgencia (Wilson y Hayek, 2019).

Cuando disminuye la descarga del río, su impacto en la región es menor por la reducción espacial de la pluma, lo cual se refleja en las bajas estimaciones de producción primaria, como lo verifica su variabilidad temporal (2002-2011) obtenida del color del océano. En 2005, se registraron las estimaciones más bajas (López *et al.*, 2013), coincidentes con la sequía más intensa en la región amazónica en los

localities. It also affects the east and south of Margarita by values of 29.9-34.5 in other places and 29.55 in Cubagua Island (Gómez *et al.*, 2008). Intensive studies verified that during July-December, south of Margarita, surface waters have lower salinity (Gómez and Chanut, 1993). However, it is stated that the bulk of the Orinoco waters are dispersed north of the Cariaco Trench and that the small but measurable decrease in salinity during the rainy season is due to local rivers (Tuy, Neverí, Manzanares) and not to the Orinoco River (Müller-Karger *et al.*, 1989; Müller-Karger and Varela, 1990). This is not the case in the east and south of Margarita and the islands of Coche and Cubagua.

In the southeastern Caribbean, the dissolved and colored organic matter introduced by the Orinoco River is very important. It is estimated to discharge  $2.5 \times 10^{12}$  g/year (~1 % of dissolved carbon in the oceans) and also large amounts of suspended (~80 mg/L) and dissolved (~34 mg/L) material (Blough *et al.*, 1993). From photographs, it is determined that the extensive coloration of the plume corresponds to dissolved and colored organic matter (Odriozola *et al.*, 2007) instead of being a highly productive plume of nutrients (López *et al.*, 2013). Nitrate deficiency is reconfirmed (Bonilla *et al.*, 1993), but it contains high values of ammonium and urea that favor phytoplankton (John *et al.*, 2012). The photomineralization of dissolved (colored) organic matter in ammonia is the source of nitrogen for phytoplankton, which increases their biomass (López *et al.*, 2013). These nutrients have a physiological effect, which increases the photosynthetic potential observed in waters influenced by the Orinoco plume and are detected up to 1000 km from its delta (Morell and Corredor, 2001). North of Trinidad, in surface sediments, the assemblage of planktonic foraminifera indicates a greater influence from the Orinoco plume than from the upwelling (Wilson and Hayek, 2019).

When river discharge decreases, its impact on the region is less due to the spatial reduction of the plume, which is reflected in the low estimates of primary production, as verified by its temporal variability (2002-2011) obtained from the color of the ocean. In 2005, the lowest estimates were obtained (López *et al.*, 2013), coinciding with the most intense drought in the Amazon region in the last hundred years, driven by an abnormally warm tropical North Atlantic, which reduced the intensity of the trade winds from the northeast (Marengo *et al.*, 2008).

The Amazon River has a length of 7062 km and a basin of 7 050 000 km<sup>2</sup>; discharges into the Atlantic a volume



últimos cien años, impulsada por un Atlántico norte tropical anormalmente cálido, que redujo la intensidad de los vientos alisios del noreste (Marengo *et al.*, 2008).

El Amazonas tiene una longitud de 7062 km y una cuenca de 7 050 000 km<sup>2</sup>; descarga al Atlántico un volumen equivalente a 18 % de los ríos del mundo; su flujo medio es de 230 000 m<sup>3</sup>/s con un gasto máximo de 300 000 m<sup>3</sup>/s en mayo-junio (Goes *et al.*, 2014); 20 % del sílice transportado se exporta, alcanza las Antillas Menores (Edmont y Boyle, 1981) y es verificado en el Caribe oriental (Ljoen y Herrera, 1965). De febrero a mayo, existen corrientes continuas desde Brasil hasta el mar Caribe, que se unen a las aguas del Orinoco en las costas de Venezuela (Müller-Karger y Varela, 1988). La influencia máxima del río ocurre en junio (Hu *et al.*, 2004) y estudios sedimentológicos en la plataforma venezolana confirman la procedencia de partículas desde el Amazonas (Van Andel, 1967; Milliman *et al.*, 1982).

En el Caribe suroriental, la descarga de estos ríos se ve influenciada por las variaciones hidrológicas en el continente, guiadas por los cambios climáticos que causa la traslación anual de la ZCIT. Cuando esta se mueve al sur conlleva el aumento de lluvias al sur del Ecuador y sequías o disminución de lluvias al norte. Sin embargo, causas variadas propician que la reducción de lluvias sobre la cuenca del Orinoco-Amazonas ocurra por lapsos superiores; su evidencia se verifica desde el Holoceno, de acuerdo con récords de la deposición de titanio en los sedimentos de la fosa de Cariaco (Haug *et al.*, 2001) y al extrapolarse al norte de Suramérica. Estos cambios controlan las variaciones de productividad marina en el Caribe oriental y el impacto de los ríos, comprobando conexiones globales con el clima regional (López *et al.*, 2013). En la Guajira, no existe evidencia de los efectos de aguas de grandes ríos que aporten materia orgánica disuelta y coloreada, a diferencia de la surgencia en el oriente de Venezuela, debido al inmenso aporte del río Orinoco y relativamente por el Amazonas.

## 5. BIOMASA DE FITOPLANCTON

**Guajira de Colombia.** Las estimaciones de clorofila *in situ* son escasas; la mayoría de valores que se mencionan derivan de imágenes satelitales. Andrade y Barton (2005) citan un máximo de clorofila *a* de 3 mg/m<sup>3</sup>, valor comparable al determinado *in situ* por Corredor (1979). Durante el periodo 2002-2014, entre Santa Marta y el Cabo de la Vela, la clorofila tuvo tendencia positiva (0,05 mg/m<sup>3</sup>/año), pero a partir de ~22 km de la

equivalente a 18 % of the world's rivers; its average flow is 230 000 m<sup>3</sup>/s with a maximum flow of 300 000 m<sup>3</sup>/s in May-June (Goes *et al.*, 2014); 20 % of the transported silica is exported, reaches the Lesser Antilles (Edmont and Boyle, 1981) and is verified in the eastern Caribbean (Ljoen and Herrera, 1965). From February to May, there are continuous currents from Brazil to the Caribbean Sea, which join the waters of the Orinoco off the coast of Venezuela (Müller-Karger and Varela, 1988). The maximum influence of the river occurs in June (Hu *et al.*, 2004) and sedimentological studies on the Venezuelan shelf confirm the origin of particles from the Amazon (Van Andel, 1967; Milliman *et al.*, 1982).

In the southeastern Caribbean, the discharge of these rivers is influenced by hydrological variations on the continent, guided by climatic changes caused by the annual translation of the ITCZ. When it moves south, it leads to increased rainfall in southern Ecuador and droughts or decreased rainfall in the north. However, various causes produce the reduction of rainfall over the Orinoco-Amazon basin to occur for longer periods; its evidence is verified since the Holocene, according to records of the deposition of titanium in the sediments of the Cariaco Trench (Haug *et al.*, 2001) and when extrapolated to northern South America. These changes control variations in marine productivity in the eastern Caribbean and the impact of rivers, proving global connections with the regional climate (López *et al.*, 2013). In La Guajira, there is no evidence of the effects of water from large rivers that contribute dissolved and colored organic matter, unlike the upwelling in eastern Venezuela, due to the immense contribution of the Orinoco River and relatively from the Amazon.

## 5. PHYTOPLANKTON BIOMASS

**Colombian Guajira.** In situ chlorophyll estimates are scarce; most of the values mentioned are derived from satellite images. Andrade and Barton (2005) cite a maximum chlorophyll-*a* of 3 mg/m<sup>3</sup>, a value comparable to that determined in situ by Corredor (1979). During the period 2002-2014, between Santa Marta and Cabo de la Vela, chlorophyll had a positive trend (0.05 mg/m<sup>3</sup>/year), but from ~22 km from the coast it decreased (-0.01 to -0.05 mg/m<sup>3</sup>/year), and also from Cabo de la Vela to Punta Gallinas (-0.01 mg/m<sup>3</sup>/year), without verifying the oceanic trend (Gutiérrez-Leones *et al.*, 2015). To the southwest of La Guajira (Tayrona Park), during the dry season (upwelling),



costa disminuyó (-0,01 a -0,05 mg/m<sup>3</sup>/año), y también del Cabo de la Vela a Punta Gallinas (-0,01 mg/m<sup>3</sup>/año), sin verificar la tendencia oceánica (Gutiérrez-Leones *et al.*, 2015). Al suroccidente de la Guajira (parque Tayrona), durante la época seca (surgencia), la clorofila *in situ* varía entre 9,3 y 13,5 mg/m<sup>3</sup>, con valores bajos durante las lluvias, aunque el fitoplancton es más diverso. En ambos periodos, la concentración del microplancton fue mayor que el nano y picoplancton, pero el mesozooplancton fue más abundante durante la surgencia (Franco-Herrera *et al.*, 2006). Es de considerar el posible efecto del río Magdalena. Con las isolíneas de 0,5 y 0,25 mg/m<sup>3</sup>, se delimitó la dirección y extensión de la pluma, la cual, en la época seca (diciembre-abril), se desplaza hacia el WNW y el resto del año hacia el NNW (Cañón and Santamaría, 2003). En diciembre de 2005, las concentraciones de clorofila fueron mayores cuando los vientos tuvieron una intensidad menor, mientras que en febrero de 2006 los valores fueron menores, a pesar de los vientos intensos que favorecen la surgencia. Este desacoplamiento físico-biológico no se había documentado (Paramo *et al.*, 2011).

En el Caribe sur (período 1998-2009), hasta 100 km de la costa, se estimó la concentración de clorofila derivada de fotografías (Rueda-Roa, 2012) con énfasis en la surgencia oriental (63-65° W) y occidental (70-73° W). En ambas áreas, durante 8-9,5 meses del año, se calcularon valores de  $\geq 0,35$  mg/m<sup>3</sup>, pero con amplia variabilidad (0,2 a 5,8 mg/m<sup>3</sup>). En el occidente, el promedio anual fue de 0,37 mg/m<sup>3</sup> y en el oriente de 0,55 mg/m<sup>3</sup>. Entre tanto, en el Caribe central, el promedio fue de 0,17 mg/m<sup>3</sup> y en la surgencia de la Guajira fue de 1,15 mg/m<sup>3</sup>. Estos valores son inferiores a los citados para otras surgencias, que tienen ámbito de 1,5 a 4,5 mg/m<sup>3</sup> en California y África NW, respectivamente (Chávez y Messié, 2009).

**Oriente de Venezuela.** Son cuantiosas las determinaciones *in situ* de clorofila *a* realizadas desde la década de 1960. Se menciona que, entre isla Margarita y la península de Araya, el promedio anual en superficie varía entre 0,25 y 1,31 mg/m<sup>3</sup>, a 10 m entre 0,08 y 1,48 mg/m<sup>3</sup> y a 20 m entre 0,09 y 0,90 mg/m<sup>3</sup> (Margalef, 1965). Aguas afuera del río Orinoco, la concentración es de 2,4 mg/m<sup>3</sup> (Morris *et al.*, 1981). En Margarita se han realizado numerosos estudios: en la costa norte tiene ámbito entre 1,55 y 5,88 con promedio anual de 2,54 mg/m<sup>3</sup> (Cabrera, 1987); en el suroriente se cita de 0,95 a 1,85 mg/m<sup>3</sup> (Gómez y Chanut, 1993), y en la costa sur (bahía El Guamache) varía entre 0,25 y 4,5 mg/m<sup>3</sup> (Pineda y Aguado, 1980). En el suroriente y el

*in situ* chlorophyll varies between 9.3 and 13.5 mg/m<sup>3</sup>, with low values during the rains, although the phytoplankton is more diverse. In both periods, the concentration of microplankton was higher than nano and picoplankton, but mesozooplankton was more abundant during upwelling (Franco-Herrera *et al.*, 2006). The possible effect of the Magdalena River must be considered. With the 0.5 and 0.25 mg/m<sup>3</sup> isolines, the direction and extension of the plume was delimited, which, in the dry season (December-April), moves towards the WNW and the rest of the year towards the NNW (Cañón and Santamaría, 2003). In December 2005, chlorophyll concentrations were higher when the winds had a lower intensity while in February 2006, the values were lower, despite the intense winds that favor upwelling. This physical-biological decoupling had not been documented (Paramo *et al.*, 2011).

In the southern Caribbean (period 1998-2009), up to 100 km from the coast, the concentration of chlorophyll derived from photographs (Rueda-Roa, 2012) was estimated with emphasis on the eastern upwelling (63-65 °W) and western (70-73 °W). In both areas, during 8-9.5 months of the year, values of  $\geq 0.35$  mg/m<sup>3</sup> were calculated, but with wide variability (0.2 to 5.8 mg/m<sup>3</sup>). In the west, the annual average was 0.37 mg/m<sup>3</sup> and in the east, 0.55 mg/m<sup>3</sup>. Meanwhile, in the central Caribbean, the average was 0.17 mg/m<sup>3</sup> and in the Guajira upwelling it was 1.15 mg/m<sup>3</sup>. These values are lower than those cited for other upwellings, which range from 1.5 to 4.5 mg/m<sup>3</sup> in California and NW Africa, respectively (Chávez and Messié, 2009).

**Eastern Venezuela.** The *in situ* determinations of chlorophyll carried out since the 1960s are numerous. It is mentioned that, between Margarita Island and the Araya Peninsula, the annual average in surface varies between 0.25 and 1.31 mg/m<sup>3</sup>, at 10 m between 0.08 and 1.48 mg/m<sup>3</sup> and at 20 m between 0.09 and 0.90 mg/m<sup>3</sup> (Margalef, 1965). Waters outside the Orinoco River, the concentration is 2.4 mg/m<sup>3</sup> (Morris *et al.*, 1981). Numerous studies have been carried out in Margarita: on the north coast it ranges between 1.55 and 5.88 with an annual average of 2.54 mg/m<sup>3</sup> (Cabrera, 1987); in the southeast, 0.95 to 1.85 mg/m<sup>3</sup> is cited (Gómez and Chanut, 1993), and on the south coast (El Guamache bay) it varies between 0.25 and 4.5 mg/m<sup>3</sup> (Pineda and Aguado, 1980). In the southeast and south of Margarita, annual averages range between 1.59 and 2.98 mg/m<sup>3</sup> (Gómez *et al.*, 2008). Around Margarita, the maximum surface chlorophyll is 8 mg/m<sup>3</sup> (Varela *et al.*, 2003). On the island of Coche, the concentration is higher near the bottom (20 m), where there

sur de Margarita los promedios anuales oscilan entre 1,59 y 2,98 mg/m<sup>3</sup> (Gómez *et al.*, 2008). Alrededor de Margarita los máximos de clorofila en superficie son 8 mg/m<sup>3</sup> (Varela *et al.*, 2003). En la isla de Coche la concentración es mayor en proximidades del fondo (20 m), donde se encuentran valores hasta de 11,1 mg/m<sup>3</sup> (Gómez *et al.*, 2008). Al suroriente de Margarita, durante las surgencias intensas de 2003 y 2004, los valores máximos (14,35 mg/m<sup>3</sup>) fueron 10-12 m de profundidad (Gómez, 2006) y los promedios anuales fueron comparables a los valores puntuales señalados para la región (Ballester, 1965; Margalef, 1965). En el golfo de Cariaco, se citan valores de 3,8 mg/m<sup>3</sup> (Mandelli y Ferraz, 1982), de 0,11 a 8,17 mg/m<sup>3</sup> (Ferraz, 1987) y de 0,08 a 9,61 mg/m<sup>3</sup> (Ferraz, 1989). A su vez, se registran promedios de 0,74 y 1,64 mg/m<sup>3</sup> en el golfo y la fosa de Cariaco (Moigis, 1986).

En la estación Cariaco (1995-2005) se evaluaron las propiedades bioópticas de las aguas. Los cambios temporales de penetración de la luz (zona eufótica) son causados por la concentración del fitoplancton, partículas detríticas y materia orgánica disuelta (coloreada), que tienen mayor absorción durante el periodo de surgencia (enero-mayo). Es menor la profundidad de la capa eufótica (36,7 ± 12,3 m) y la clorofila (> 1 mg/m<sup>3</sup>), pero ella disminuye (< 0,2 mg/m<sup>3</sup>) durante las lluvias (junio-noviembre) y la zona eufótica es mayor (47,9 ± 13,5 m). Además, la materia orgánica disuelta domina la absorción de la luz y causa una sobreestimación (7 a 45 %) en los valores de clorofila derivada de fotografías (Lorenzoni *et al.*, 2011). En el oriente de la cuenca Cariaco (1995-2009), el promedio (diciembre-julio) de clorofila y la producción primaria fueron 0,50 mg/m<sup>3</sup> y 1,763 ± 994 mg/cm<sup>2</sup>/día, respectivamente. En el occidente de la cuenca, la temperatura es mayor y los valores de clorofila y de producción primaria son menores (Lorenzoni *et al.*, 2017). En el periodo 1995-2017, la producción primaria fluctuó entre 320 y 628 gC m<sup>2</sup>/año (Müller-Karger *et al.*, 2019). En el golfo de Cariaco (2014-enero 2015), la clorofila varió entre 0 y 17,5 mg/m<sup>3</sup> (Calvo-Trujillo *et al.*, 2018). Las concentraciones mencionadas y determinadas en áreas costeras del oriente de Venezuela (estados Nueva Esparta y Sucre) son marcadamente mayores que los promedios en áreas relativamente próximas. Conviene recordar que la cantidad de fitoplancton puede calificarse como baja cuando la concentración de clorofila *a* fluctúa alrededor de 0,2 mg/m<sup>3</sup> (Margalef, 1961).

Desde 2002 hasta 2018, en la plataforma continental al oriente de Margarita, se muestrearon dos estaciones permanentes (Gómez y Barceló, 2014; Gómez

are values of up to 11.1 mg/m<sup>3</sup> (Gómez *et al.*, 2008). To the southeast of Margarita, during the intense upwellings of 2003 and 2004, the maximum values (14.35 mg/m<sup>3</sup>) were 10-12 m deep (Gómez, 2006) and the annual averages were comparable to the specific values indicated for the region (Ballester, 1965; Margalef, 1965). In the Gulf of Cariaco, values of 3.8 mg/m<sup>3</sup> (Mandelli and Ferraz, 1982), 0.11 to 8.17 mg/m<sup>3</sup> (Ferraz, 1987) and 0.08 to 9.61 mg/m<sup>3</sup> (Ferraz, 1989) have been reported. In turn, averages of 0.74 and 1.64 mg/m<sup>3</sup> are recorded in the Gulf and the Cariaco Trench (Moigis, 1986).

In the Cariaco station (1995-2005), the bio-optical properties of the waters were evaluated. Temporary changes in light penetration (euphotic zone) are caused by the concentration of phytoplankton, detrital particles and dissolved organic matter (colored), which have greater absorption during the period of upwelling (January-May). The depth of the euphotic layer (36.7 ± 12.3 m) and chlorophyll (> 1 mg/m<sup>3</sup>) is less, but it decreases (< 0.2 mg/m<sup>3</sup>) during the rains (June-November) and the euphotic zone is larger (47.9 ± 13.5 m). Furthermore, dissolved organic matter dominates the absorption of light and causes an overestimation (7 to 45 %) in chlorophyll values derived from photographs (Lorenzoni *et al.*, 2011). In the eastern Cariaco basin (1995-2009), the average (December-July) of chlorophyll and primary production were 0.50 mg/m<sup>3</sup> and 1.763 ± 994 mg/cm<sup>2</sup>/day, respectively. In the western part of the basin, the temperature is higher and the chlorophyll and primary production values are lower (Lorenzoni *et al.*, 2017). In the period 1995-2017, the primary production fluctuated between 320 and 628 gC m<sup>2</sup>/year (Müller-Karger *et al.*, 2019). In the Gulf of Cariaco (2014-January 2015), chlorophyll varied between 0 and 17.5 mg/m<sup>3</sup> (Calvo-Trujillo *et al.*, 2018). The concentrations mentioned and determined in coastal areas of eastern Venezuela (Nueva Esparta and Sucre states) are markedly higher than the averages in relatively close areas. It should be remembered that the amount of phytoplankton can be classified as low when the concentration of chlorophyll fluctuates around 0.2 mg/m<sup>3</sup> (Margalef, 1961).

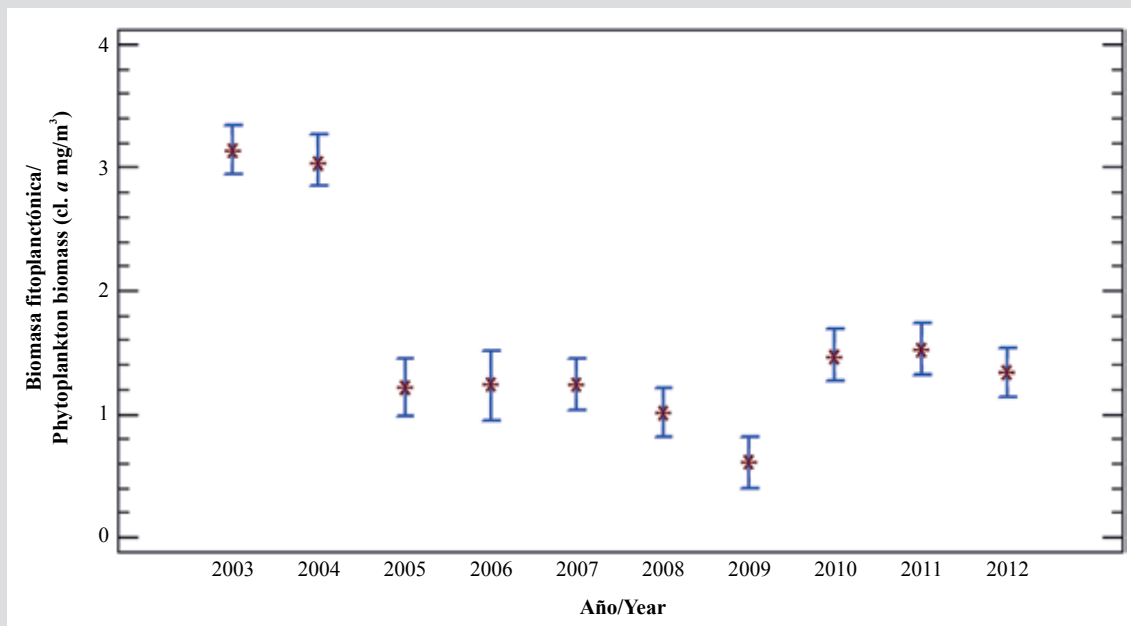
From 2002 to 2018, on the continental shelf east of Margarita, two permanent stations were sampled (Gómez and Barceló, 2014; Gómez *et al.*, 2014). In the first 10 years of the study, the highest annual averages of phytoplankton biomass were 2.91 and 3.09 mg/m<sup>3</sup> in 2003 and 2004 (Figure 3). During 2005-2007, these decreased to 1.19 mg/m<sup>3</sup> and in 2008-2009 the lowest annual averages

*et al.*, 2014). En los primeros 10 años de estudio, los mayores promedios anuales de biomasa de fitoplancton fueron 2,91 y 3,09  $\text{mg}/\text{m}^3$  en 2003 y 2004 (Figura 3). Durante 2005-2007 estos disminuyeron a 1,19  $\text{mg}/\text{m}^3$  y en 2008-2009 se determinaron los menores promedios anuales (0,91 y 0,59  $\text{mg}/\text{m}^3$ , respectivamente). En 2010-2012, el promedio anual aumentó ligeramente (1,28-1,51  $\text{mg}/\text{m}^3$ ); estos valores fueron menos de la mitad de la biomasa de fitoplancton en 2003 y 2004 (Gómez *et al.*, 2014). Así mismo, al comparar los periodos de surgencia (enero-mayo) y de relajación (junio-diciembre), los promedios más altos (3,60 y 3,92  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) se determinaron en las surgencias de 2003 y 2004, pero disminuyeron más de 60 % (0,68 a 1,51  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) entre 2005 y 2009. En 2010 se verificó un ligero aumento a 2,40  $\text{mg}/\text{m}^3$ ; sin embargo, en 2011 y 2012 disminuyó nuevamente (1,82 y 1,44  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). Durante el periodo de relajación de 2003 y 2004, la concentración de clorofila (2,68 y 2,20  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) fue mayor en comparación con los años siguientes, lo cual denota una menor biomasa de fitoplancton durante ese último periodo.

Desde finales del siglo pasado, se han hecho estimados de clorofila con base en imágenes satelitales. Se cita que el Caribe sur tiene las mayores concentraciones (promedio de 0,63  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), pero con una gran variabilidad anual (Müller-Karger y Varela, 1988). Durante el periodo 1998-2009, en la surgencia del oriente de Venezuela,

were determined (0.91 and 0.59  $\text{mg}/\text{m}^3$ , respectively). In 2010-2012, the annual average increased slightly (1.28-1.51  $\text{mg}/\text{m}^3$ ); these values were less than half of the phytoplankton biomass in 2003 and 2004 (Gómez *et al.*, 2014). Likewise, when comparing the periods of upwelling (January-May) and relaxation (June-December), the highest averages (3.60 and 3.92  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) were determined in the upwellings of 2003 and 2004, but they decreased more than 60 % (0.68 to 1.51  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) between 2005 and 2009. In 2010 there was a slight increase to 2.40  $\text{mg}/\text{m}^3$ ; however, in 2011 and 2012 it decreased again (1.82 and 1.44  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). During the relaxation period of 2003 and 2004, the chlorophyll concentration (2.68 and 2.20  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) was higher compared to the following years, which denotes a lower biomass of phytoplankton during that last period.

Since the end of the last century, estimates of chlorophyll have been made based on satellite images. The southern Caribbean is cited as having the highest concentrations (average 0.63  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), but with great annual variability (Müller-Karger and Varela, 1988). During the period 1998-2009, in the upwelling of eastern Venezuela, the biomass of phytoplankton had an annual average of 1.65  $\text{mg}/\text{m}^3$ , being higher than in the west (1.15  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) of the southern Caribbean (Rueda-Roa, 2012; Rueda-Roa and Müller-Karger, 2013). These figures are very low compared to the aforementioned on-site values.



**Figura 3.** Variación anual de biomasa fitoplanctónica (cl. a  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en columna de agua (hasta 20 m cada 15 días) al oriente de isla Margarita, Venezuela (década 2003-2012; Gómez y Barceló, 2014).

**Figure 3.** Annual variation of phytoplankton biomass (cl. a  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in water column (up to 20 m every 15 days) east of Isla Margarita, Venezuela (decade 2003-2012; Gómez and Barceló, 2014).

la biomasa del fitoplancton tuvo un promedio anual de  $1,65 \text{ mg/m}^3$ , siendo mayor que en el occidente ( $1,15 \text{ mg/m}^3$ ) del Caribe sur (Rueda-Roa, 2012; Rueda-Roa y Müller-Karger, 2013). Estas cifras son muy bajas comparadas con los valores *in situ* antes mencionados.

En la pluma del Orinoco, las concentraciones de clorofila *in situ* son menores que las calculadas a partir de imágenes (Varela *et al.*, 2003) por causa de la materia orgánica disuelta coloreada (Müller-Karger y Aparicio, 1994; Odriozola *et al.*, 2007). Así, entre Venezuela y Puerto Rico, en una estación localizada a 85 km al occidente de Granada, las imágenes sobreestiman enormemente la concentración —inferen entre  $2\text{-}4 \text{ mg/m}^3$ — mientras que *in situ* fueron  $0,2 \text{ mg/m}^3$  y gran proporción de la clorofila estuvo en la fracción  $< 2 \mu\text{m}$  del fitoplancton, que se encontraba estable con respecto al agotamiento de nutrientes y con poco estrés nutricional (John *et al.*, 2012).

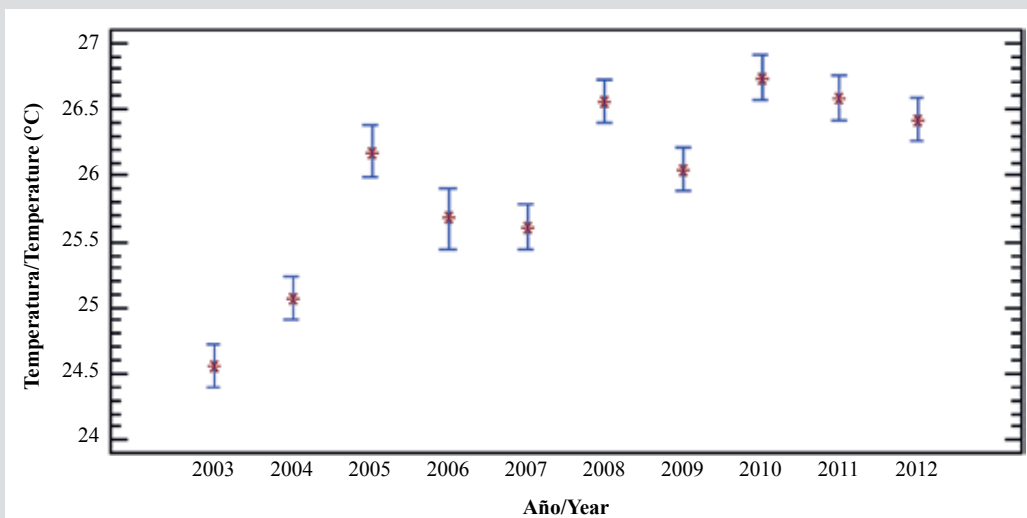
En el oriente venezolano, la concentración de clorofila es 1,4 veces mayor que en el occidente del Caribe sur (Rueda-Roa, 2012), pero la biomasa estimada de los peces pelágicos es cuatro veces mayor (Stromme y Saetersdal, 1989). Por ello, debe haber otras explicaciones para la gran diferencia en la cuantía de biomasa, en especial, de especies filtradoras como la sardina. Por otra parte, no hay claridad en el asunto porque se plantea que, en el oriente de Venezuela, durante septiembre-octubre (surgencia débil), la biomasa de sardina es mayor cerca de los focos de surgencia en los primeros 10 km de la costa, donde se observaron valores de clorofila entre  $1\text{-}3 \text{ mg/m}^3$ , pero en los cruceros de evaluación hidroacústica no se encuentra correlación entre la biomasa de la sardina y la temperatura y/o la clorofila *in situ* (Rueda-Roa, 2012). Es posible que la diferencia en la concentración de clorofila en ambas surgencias (1,4 veces) ocurra porque se consideran años posteriores a 2005, cuando comenzó la crisis sardinera —que se mantuvo por más de una década—. Durante las capturas sardineras cuantiosas de 2003 y 2004, los promedios anuales de clorofila *a* fueron  $3,09$  y  $2,91 \text{ mg/m}^3$ , y desde 2005, cuando se inició la crisis, la biomasa de fitoplancton disminuyó notablemente (Figura 3) y se mantuvo así durante varios años (Gómez *et al.*, 2014). También, a sotavento del área sardinera en la estación Cariaco, la concentración de clorofila y la abundancia del fitoplancton tuvieron un descenso significativo (Astor *et al.*, 2014). En la Tabla 1 se muestran valores mencionados en superficie.

En la surgencia occidental del Caribe sur, a mediados de año, es mayor la concentración de clorofila porque se

In the Orinoco plume, *in situ* chlorophyll concentrations are lower than those calculated from images (Varela *et al.*, 2003) due to the colored dissolved organic matter (Müller-Karger and Aparicio, 1994; Odriozola *et al.*, 2007). Thus, between Venezuela and Puerto Rico, in a station located 85 km west of Granada, the images greatly overestimate the concentration—they infer between  $2\text{-}4 \text{ mg/m}^3$ — while *in situ* they were  $0.2 \text{ mg/m}^3$  and a large proportion of chlorophyll was in the fraction  $< 2 \mu\text{m}$  of phytoplankton, which was stable with respect to nutrient depletion and with little nutritional stress (John *et al.*, 2012).

In eastern Venezuela, the chlorophyll concentration is 1.4 times higher than in the western southern Caribbean (Rueda-Roa, 2012), but the estimated biomass of pelagic fish is four times higher (Stromme and Saetersdal, 1989). For this reason, there must be other explanations for the large difference in the biomass amount, especially of filter species such as sardines. On the other hand, there is no clarity on the matter because it is stated that, in eastern Venezuela, during September-October (weak upwelling), the sardine biomass is higher near the upwelling sources in the first 10 km of the coast, where chlorophyll values between  $1\text{-}3 \text{ mg/m}^3$  were observed, but in the hydroacoustic evaluation cruises, no correlation was found between the biomass of the sardine and the temperature and/or chlorophyll *in situ* (Rueda-Roa, 2012). It is possible that the difference in chlorophyll concentration in both upwellings (1.4 times) occurs because they are considered years after 2005, when the sardine crisis began—which lasted for more than a decade. During the large sardine catches of 2003 and 2004, the annual averages of chlorophyll-*a* were  $3.09$  and  $2.91 \text{ mg/m}^3$ , and since 2005, when the crisis began, the biomass of phytoplankton decreased markedly (Figure 3) and remained that way for several years (Gómez *et al.*, 2014). Also, downwind of the sardine area in the Cariaco station, the concentration of chlorophyll and the abundance of phytoplankton had a significant decrease (Astor *et al.*, 2014). Table 1 shows surface values mentioned.

In the western upwelling of the southern Caribbean, in the middle of the year, the chlorophyll concentration is higher because it is related to greater turbulence (Rueda-Roa, 2012). However, in other upwellings, it is cited that concentrations derived from satellite images have an optimal relationship (maximum) with moderate winds and are minimum with weak or strong winds (García-Reyes and Largier, 2012). It is recognized that the chlorophyll concentrations derived from images are several times



**Figura 4.** Variación anual de la temperatura (°C) en la columna de agua (hasta 20 m cada 15 días) al oriente de la isla Margarita, Venezuela (década 2003-2012; Gómez y Barceló, 2014).

**Figure 4.** Annual variation of temperature (°C) in the water column (up to 20 m every 15 days) east of Margarita Island, Venezuela (decade 2003-2012; Gómez and Barceló, 2014).

relaciona con mayor turbulencia (Rueda-Roa, 2012). Sin embargo, en otras surgencias, se cita que las concentraciones derivadas de imágenes satelitales tienen relación óptima (máximas) con vientos moderados y son mínimas con vientos débiles o fuertes (García-Reyes y Largier, 2012). Es reconocido que las concentraciones de clorofila derivadas de imágenes sobreestiman varias veces los valores reales, en especial, cuando las concentraciones son  $< 5 \text{ mg/m}^3$ . De ahí que se estime razonable derivar algoritmos regionales, especialmente en áreas influenciadas por las descargas de ríos que afectan las propiedades ópticas de las aguas. Este es el caso del oriente de Venezuela, lo cual se explica porque los algoritmos estándar provienen de aguas oceánicas (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) que ocasionan gran error y una sobreestimación entre 4 y 19 veces (Vazyulya *et al.*, 2014). Se propone que los algoritmos regionales se determinen con base en mediciones locales y satelitales, que deben ser simultáneas y con menor error. No obstante, debe tenerse en cuenta, sin duda, que las estimaciones *in situ* son las reales.

Se concluye que en la Guajira colombiana son menores las concentraciones de clorofila *a* en comparación con las determinadas al oriente de Venezuela, donde se han realizado numerosas estimaciones *in situ*, así como también derivadas de imágenes, que tienen también mayores concentraciones (~50 %). Considerando que en ambas surgencias hay un importante recurso pesquero como la sardina, cuyos reclutas y adultos se alimentan de fitoplancton, esta especie también debería poder sostener una pesquería en la Guajira.

overestimating the true values, especially when the concentrations are  $< 5 \text{ mg/m}^3$ . Hence, it is considered reasonable to derive regional algorithms, especially in areas influenced by river discharges that affect the optical properties of the waters. This is the case of eastern Venezuela, which is explained because the standard algorithms come from oceanic waters (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) that cause large errors and an overestimation of between 4 and 19 times (Vazyulya *et al.*, 2014). It is proposed that regional algorithms be determined based on local and satellite measurements, which must be simultaneous and with less error. However, it should certainly be noted that the on-site estimates are the actual ones.

It is concluded that in the Colombian Guajira the concentrations of chlorophyll-*a* are lower compared to those determined in eastern Venezuela, where numerous *in situ* estimates have been made, as well as those derived from images, which also have higher concentrations (~50 %). Considering that in both upwellings there is an important fishing resource such as sardines, whose recruits and adults feed on phytoplankton, that species should also be able to sustain a fishery in La Guajira.

**Series of 10 years on the platform east of Margarita.** Since 2002, biweekly observations at two fixed stations in the southeast of Margarita (depth reaches 35 m) confirm that in the 2003 and 2004 upwellings the minimum surface temperature was 21.6 °C (Gómez, 2006; Gómez *et al.*, 2014) and that in the water column



**Serie de 10 años sobre la plataforma al oriente de Margarita.** Desde 2002, observaciones quincenales en dos estaciones fijas en el suroriente de Margarita (profundidad alcanza 35 m) constatan que en las surgencias de 2003 y 2004 la temperatura superficial mínima fue de 21,6 °C (Gómez, 2006; Gómez *et al.*, 2014) y que en la columna de agua (hasta 20 m) el promedio anual de temperatura fue de 24,5 y 25,0 °C, respectivamente. Mientras tanto, en el período 2005-2012 los promedios fueron más elevados (25,7 a 27,0 °C) y en 2010 se determinó el valor puntual máximo (30,2 °C). Así, durante las surgencias del período 2005-2012, los promedios de temperatura (Figura 4) y salinidad en la columna de agua indicaron que no puede adscribirse a la denominada tipo B (21 a 24 °C y > 36,7 de salinidad) de Okuda (1978, 1981), razón por la cual durante esos años no afloraron Aguas Subtropicales. En consecuencia, las surgencias fueron débiles y/o moderadas en intensidad porque no ascendió la isoterma de 21 °C, que es la indicadora de surgencia intensa, como es bien conocido (Okuda, 1978, 1981) y aceptado (Astor *et al.*, 2003, 2004; Gómez, 2006; Gómez *et al.*, 2008, 2012). Esto incide en la fertilidad marina y la disponibilidad de recursos pesqueros, como la sardina (Gómez *et al.*, 2014). Entre 2005 y 2012 ocurrió un notorio incremento de la temperatura (Figura 4), situación que se había advertido desde mediados de 2005, cuando la temperatura aumentó alrededor de 2 °C al oriente de Margarita y la pesca de sardina disminuyó drásticamente (Gómez *et al.*, 2008). En 2003 y 2004, las temperaturas promedio (< 25°C) fueron propicias para que hubiese una mayor abundancia de fitoplancton, lo cual efectivamente ocurrió esos años (Gómez, 2006; Cellamare y Gómez, 2007). Se cita que en los meses de la surgencia principal (enero-mayo), la sardina se encuentra hasta 70 km de la costa, pero cuando el fenómeno se debilita (septiembre-octubre) se concentra en los primeros 10 km (Rueda-Roa *et al.*, 2017).

## 6. PLATAFORMA CONTINENTAL Y PRESENCIA DE ISLAS

**Guajira de Colombia.** Hacia el suroccidente del Cabo de la Vela, la plataforma se ensancha y alcanza 46 km frente a Riohacha; luego, en Palomino vuelve a reducirse y prácticamente desaparece en el parque Tayrona y Santa Marta (Álvarez-León *et al.*, 1995; Paramo *et al.*, 2003). Al norte de la Guajira, frente a Punta Gallinas, la plataforma es muy estrecha: tiene ~5,4 km. La distribución de los sedimentos caracteriza tres sectores: entre ríos Buritaca y Camarones predominan arenas finas y lodos; de Riohacha

(up to 20 m) the annual average temperature was 24.5 and 25.0 °C, respectively. Meanwhile, in the period 2005-2012 the averages were higher (25.7 to 27.0 °C) and in 2010 the maximum point value (30.2 °C) was determined. Thus, during the upwellings of the period 2005-2012, the averages of temperature (Figure 2) and salinity in the water column indicated that it cannot be ascribed to the so-called type B (21 to 24 °C and > 36.7 salinity) of Okuda (1978, 1981), which is why no subtropical waters emerged during those years. Consequently, the upwellings were weak and/or moderate in intensity because the isotherm of 21 °C did not rise, which is the indicator of intense upwelling, as is well known (Okuda, 1978, 1981) and accepted (Astor *et al.*, 2003, 2004; Gómez, 2006; Gómez *et al.*, 2008, 2012). This affects marine fertility and the availability of fishery resources, such as sardines (Gómez *et al.*, 2014). Between 2005 and 2012 there was a noticeable increase in temperature (Figure 4), a situation that had been observed since mid-2005, when the temperature increased by around 2 °C east of Margarita and the sardine fishing decreased dramatically (Gómez *et al.*, 2008). In 2003 and 2004, the average temperatures (< 25 °C) were conducive to a greater abundance of phytoplankton, which indeed occurred in those years (Gómez, 2006; Cellamare and Gómez, 2007). It is cited that in the months of the main upwelling (January-May), the sardine is found up to 70 km from the coast, but when the phenomenon weakens (September-October) it is concentrated in the first 10 km (Rueda-Roa *et al.*, 2017).

## 6. CONTINENTAL PLATFORM AND PRESENCE OF ISLANDS

**Colombian Guajira.** Towards the southwest of Cabo de la Vela, the platform widens and reaches 46 km in front of Riohacha; later, in Palomino it decreases again and practically disappears in Tayrona Park and Santa Marta parks (Álvarez-León *et al.*, 1995; Paramo *et al.*, 2003). North of La Guajira, in front of Punta Gallinas, the shelf is very narrow: it is ~5.4 km. The distribution of the sediments characterizes three sectors: between the Buritaca and Camarones rivers, fine sand and mud predominate; from Riohacha to Cabo de la Vela, very coarse and fine sands, and from this cape to Punta Estrella, fine sand and mud again. Between Riohacha and Manaure, in the open sea sand predominates, while between Punta Espada and Punta Gallinas, at depths greater than 20-30 m, mud predominates (Paramo *et al.*, 2012). The Guajira continental shelf has an

al Cabo de la Vela, arenas muy gruesas y finas, y desde este cabo hasta Punta Estrella, arenas finas y lodos nuevamente. Entre Riohacha y Manaure, en mar abierto predominan las arenas. Mientras tanto, entre Punta Espada y Punta Gallinas, a profundidades mayores de 20-30 m, predominan los lodos (Paramo *et al.*, 2012). La plataforma continental de la Guajira tiene un área de 14 298 km<sup>2</sup> entre el río Palomino (11°25' N, 73°57' W) y Punta Castilletes (11°50' N, 71°18' W). Entre Arenales y el Cabo de la Vela, en fondos entre 3 y 20 m, los “arenales” constituyen 47 % del área (Chasqui *et al.*, 2013).

**Oriente de Venezuela.** En dirección sur-norte abarca desde la costa continental hasta el borde de la plataforma (11°30' N), la cual tiene una amplitud de 90 km y una profundidad media de 66 m (Herrera y Febres, 1975). Incluye el valle submarino de Carúpano, que forma parte del banco de La Tortuga, cuya longitud es de 95 km (Maloney, 1971). Es la plataforma venezolana más ancha, y por registros sísmicos tiene un relleno sedimentario (> 700 m) que cubre un sistema subyacente de fosas y fallas tectónicas (Morelock *et al.*, 1972); es donde la surgencia se nota con mayor intensidad. En la plataforma, el color de los sedimentos se relaciona con su contenido en carbonatos y materia orgánica: son grises o amarillentos cuando tienen un alto porcentaje de carbonato cálcico y son verdes o verde grisáceos cuando tienen abundante materia orgánica (Miró, 1974), lo que ocurre en numerosas áreas como la porción oriental de la península de Araya, el sur de las islas de Coche y Cubagua y entre el archipiélago de Los Frailes y el nororiente de Margarita, entre otras. En la plataforma, la resuspensión de células del sedimento contribuye a la mayor concentración de clorofila (Müller-Karger y Aparicio, 2004). Desde el extremo oriental de la península de Paria (punta Seca) hasta el occidente de punta Araya y la costa norte de la península de Macanao (isla Margarita), la línea de costa tiene una longitud de ~400 km. Considerando que, hasta el borde de la plataforma, su anchura media es de 90 km (Herrera y Febres, 1975), se estima que el área de la plataforma continental nororiental es de 36 000 km<sup>2</sup>.

La marcada diferencia en la biomasa de peces pequeños pelágicos en las surgencias del oriente de Venezuela y de Colombia puede tener relación con la dimensión y profundidad de la plataforma continental. En el oriente venezolano, la plataforma tiene una amplitud de 90 km y una profundidad media de 66 m (Herrera y Febres, 1975). Pero en la Guajira de Colombia es angosta y profunda. Así, al norte tiene 18 km (profundidad 200 m) y frente a Punta Gallinas ~5,4 km (Paramo *et al.*, 2012).

area of 14 298 km<sup>2</sup> between the Palomino River (11°25' N, 73°57' W) and Punta Castilletes (11°50' N, 71°18' W). Between Arenales and Cabo de la Vela, in depths between 3 and 20 m, the “sandbanks” constitute 47 % of the area (Chasqui *et al.*, 2013).

**Eastern Venezuela.** In a south-north direction, it ranges from the continental coast to the edge of the platform (11°30' N), which has a width of 90 km and an average depth of 66 m (Herrera and Febres, 1975). It includes the underwater valley of Carúpano, which is part of the La Tortuga bank, whose length is 95 km (Maloney, 1971). It is the widest Venezuelan shelf, and by seismic records it has a sedimentary fill (> 700 m) that covers an underlying system of trenches and tectonic faults (Morelock *et al.*, 1972); it is where the upwelling is most noticeable. On the shelf, the color of the sediments is related to their content of carbonates and organic matter: they are gray or yellowish when they have a high percentage of calcium carbonate and they are green or grayish green when they have abundant organic matter (Miró, 1974) which occurs in numerous areas such as the eastern portion of the Araya peninsula, the south of the islands of Coche and Cubagua and between the Los Frailes archipelago and the northeast of Margarita, among others. On the platform, the resuspension of cells from the sediment contributes to the higher concentration of chlorophyll (Müller-Karger and Aparicio, 2004). From the eastern end of the Paria peninsula (Punta Seca) to the west of Punta Araya and the north coast of the Macanao peninsula (Margarita Island), the coastline is ~400 km long. Considering that, up to the edge of the shelf, its mean width is 90 km (Herrera and Febres, 1975), the area of the northeastern continental shelf is estimated to be 36 000 km<sup>2</sup>.

The marked difference in the biomass of small pelagic fish in the upwellings of eastern Venezuela and Colombia may be related to the size and depth of the continental shelf. In eastern Venezuela, the platform has a width of 90 km and an average depth of 66 m (Herrera and Febres, 1975). But in the Guajira of Colombia it is narrow and deep. Thus, to the north it is 18 km (depth 200 m) and opposite Punta Gallinas it is ~5.4 km (Paramo *et al.*, 2012). In a wide and shallow platform, the physical properties of the upwelling control the recycling of nutrients (Aristegui *et al.*, 2009) and favor a higher productivity of the pelagic ecosystem (Dale and Prego, 2002).

**Islands.** The presence of islands and archipelagos enrich the water through the well-known “island effect”

En una plataforma amplia y poco profunda, las propiedades físicas de la surgencia controlan el reciclaje de los nutrientes (Aristegui *et al.*, 2009) y propician una mayor productividad del ecosistema pelágico (Dale y Prego, 2002).

**Islas.** La presencia de islas y archipiélagos enriquecen el agua a través del conocido “efecto isla” estudiado por primera vez en Barbados —una isla próxima al Caribe suroriental—, al describir las oscilaciones verticales de aguas fértiles (Sander, 1973); en el oriente de Venezuela, se menciona en la isla La Tortuga (Margalef, 1969). Estudios de larga duración demuestran que este efecto también se relaciona con las ondas internas, que en plataformas poco profundas causan la resuspensión de sedimentos (Liao *et al.*, 2014) y un notable incremento en la biomasa del fitoplancton ( $\sim 1 \text{ mg/m}^3$ ), asociada con la presencia de islas, mientras que tiene  $< 0,1 \text{ mg/m}^3$  en aguas oligotróficas próximas (Andrade *et al.*, 2014). La plataforma nororiental venezolana se caracteriza por la presencia de islas mayores (Margarita, La Tortuga, Coche, Cubagua, entre otras), archipiélagos (Los Frailes, Los Testigos, Los Hermanos), numerosas islas menores, islotes, morros y farallones. Se estiman 167 de esos accidentes, con un área de  $\sim 1404,26 \text{ km}^2$  (Gómez, 1996) y 465 km de costa (Miró, 1974). Esta situación no ocurre en el área de surgencia de la Guajira colombiana. Además, la plataforma continental tiene poca anchura y área. Se ha sugerido explorar la presencia de ondas internas en la península de la Guajira y establecer su relación con la surgencia (Gutiérrez-Leones *et al.*, 2015).

Las islas y los archipiélagos favorecen la formación de giros, en los cuales la energía física del océano se convierte en energía trófica para sostener procesos biológicos; en su centro, los giros propician surgencia o hundimiento de agua, lo que permite la concentración o dispersión del plancton (Bakun, 2006). El movimiento de los giros facilita la conocida “triada oceánica”, es decir, el enriquecimiento, la concentración y la retención de plancton para aumentar la productividad biológica y la reproducción de organismos (Bakun, 1996). Así mismo, constituyen un hábitat reproductivo para peces pelágicos costeros, como ocurre en California (Parrish *et al.*, 1981), con la sardina brasileña (Matsuura *et al.*, 1985) y la venezolana (Gómez, 2006). La presencia de islas propicia la acumulación de agua y forma bandas de flujo y otros giros en sus proximidades. En islas con 2-3 km de diámetro, las corrientes tienen una velocidad de  $\geq 1 \text{ m/seg}$ . Estas forman giros ciclónicos y anticiclónicos fuertemente divergentes que favorecen

studied for the first time in Barbados —an island close to the southeastern Caribbean, when describing the vertical oscillations of fertile waters (Sander, 1973); in eastern Venezuela, it is mentioned on La Tortuga Island (Margalef, 1969). Long-term studies show that this effect is also related to internal waves, which in shallow platforms cause resuspension of sediments (Liao *et al.*, 2014) and a notable increase in phytoplankton biomass ( $\sim 1 \text{ mg/m}^3$ ), associated with the presence of islands, while it has  $< 0.1 \text{ mg/m}^3$  in nearby oligotrophic waters (Andrade *et al.*, 2014). The northeastern Venezuelan platform is characterized by the presence of larger islands (Margarita, La Tortuga, Coche, Cubagua, among others), archipelagos (Los Frailes, Los Testigos, Los Hermanos), numerous smaller islands, islets, hills and cliffs. 167 of these accidents are estimated, with an area of  $\sim 1404.26 \text{ km}^2$  (Gómez, 1996) and 465 km of coastline (Miró, 1974). This situation does not occur in the upwelling area of the Colombian Guajira. Furthermore, the continental shelf has little width and area. It has been suggested to explore the presence of internal waves in the Guajira peninsula and establish its relationship with the upwelling (Gutiérrez-Leones *et al.*, 2015).

The islands and archipelagos favor the formation of gyres, in which the physical energy of the ocean is converted into trophic energy to support biological processes; in its center, the gyres favor the upwelling or subsidence of water, which allows the concentration or dispersal of plankton (Bakun, 2006). The movement of the gyres facilitates the well-known “ocean triad”, that is, the enrichment, concentration and retention of plankton to increase biological productivity and the reproduction of organisms (Bakun, 1996). Likewise, they constitute a reproductive habitat for coastal pelagic fish, as occurs in California (Parrish *et al.*, 1981) with the Brazilian (Matsuura *et al.*, 1985) and the Venezuelan (Gómez, 2006) sardines. The presence of islands encourages the accumulation of water and forms bands of flow and other turns in their vicinity. On islands 2-3 km in diameter, currents have a velocity of  $\geq 1 \text{ m/sec}$ . These form strongly divergent cyclonic and anticyclonic gyres that favor the upwelling of waters in their interior, but convergences also occur in their outer limits that facilitate the formation of the triad (Bakun, 2006).

Finally, another important difference between the two upwellings is the presence of large semi-closed bodies of water in eastern Venezuela (gulfs of Cariaco and Santa Fe) and of numerous coastal lagoons in the states of Nueva Esparta and Sucre. Lagoons are known to enrich the

la surgencia de aguas en su interior, pero también en sus límites exteriores ocurren convergencias que facilitan la formación de la triada (Bakun, 2006).

Finalmente, otra diferencia importante entre ambas surgencias es la presencia de amplios cuerpos de agua semicerrados en el oriente de Venezuela (golfos de Cariaco y Santa Fe) y de numerosas lagunas costeras en los estados Nueva Esparta y Sucre. Es sabido que las lagunas enriquecen las aguas del mar adyacente, pero se desconocía su función en áreas de surgencia, de por sí fértiles. Mediante estudios intensivos (cada tres días), se verificó que las aguas que salen de laguna La Restinga (isla Margarita) son más fértiles por valores mayores de producción primaria, clorofila y zooplancton, que enriquecen las aguas próximas durante el segundo semestre del año cuando en el mar adyacente sucede la relajación de la surgencia (Gómez, 1991). Este es un factor importante para que la fertilidad acuática regional ocurra durante todo el año y explica la razón por la que, hacia los meses finales del año, cardúmenes de sardina se acercan a las bocas de las lagunas para alimentarse: estas zonas se vuelven más ricas en fitoplancton que durante los primeros meses (Gómez *et al.*, 2008). Lo anterior también explica que, en septiembre-octubre, abundan cardúmenes de sardina en los primeros 10 km de la costa (Rueda-Roa *et al.*, 2017).

A diferencia de la surgencia en la Guajira colombiana, en la del nororiente de Venezuela hay una plataforma continental amplia y poco profunda, con presencia de numerosas islas y varios archipiélagos. Además, en la costa continental existen golfos, bahías y lagunas costeras que enriquecen el mar adyacente cuando la surgencia se debilita o cesa.

## CONCLUSIONES

1. En la Guajira de Colombia, la surgencia parece influenciada por la contracorriente del Darién, que contiene bajas concentraciones de nutrientes inorgánicos. No hay grandes ríos que aporten materia orgánica disuelta y coloreada. La plataforma continental es poco amplia y no cuenta con archipiélagos y/o islas que favorezcan el aumento de la productividad acuática. Es posible que la elevada intensidad del viento exporte los nutrientes y el plancton hacia aguas oceánicas, lo que limita la producción pesquera.

2. El oriente de Venezuela tiene mayor fertilidad y producción pesquera porque la masa de Agua Subsuperficial Subtropical es la que abastece la surgencia durante los

waters of the adjacent sea, but their role in upwelling areas, already fertile, was unknown. Through intensive studies (every three days), it was verified that the waters that leave the La Restinga lagoon (Margarita Island) are more fertile due to higher values of primary production, chlorophyll and zooplankton, which enrich the nearby waters during the second half of the year when in the adjacent sea the relaxation of the upwelling occurs (Gómez, 1991). This is an important factor for regional aquatic fertility to occur throughout the year and explains the reason why, towards the end of the year, schools of sardines approach the mouths of the lagoons to feed: these areas become more rich in phytoplankton than during the first months (Gómez *et al.*, 2008). The above also explains that, in September-October, schools of sardines abound in the first 10 km of the coast (Rueda-Roa *et al.*, 2017).

Unlike the upwelling in the Colombian Guajira, in the northeast of Venezuela there is a wide and shallow continental shelf, with the presence of numerous islands and several archipelagos. In addition, on the continental coast there are gulfs, bays and coastal lagoons that enrich the adjacent sea when the upwelling weakens or ceases.

## CONCLUSIONS

1. In the Guajira of Colombia, the upwelling seems to be influenced by the Darien Countercurrent, which contains low concentrations of inorganic nutrients. There are no great rivers that contribute dissolved and colored organic matter. The continental shelf is not very wide and it does not have archipelagos and/or islands that favor the increase of aquatic productivity. The high intensity of the wind may export nutrients and plankton to ocean waters, limiting fish production.

2. The eastern part of Venezuela has greater fertility and fishing production because the Subtropical Subsurface Water mass is what supplies the upwelling during the first months of the year. During the second semester, as the most intense hydrographic phenomenon relaxes, the area is enriched with the contribution of dissolved and colored organic matter from the Orinoco River and planktonic biomass from coastal lagoons, gulfs and semi-closed bays. The wide and shallow depth of the continental shelf is also important, with the presence of archipelagos and major and minor islands, which cause local enrichment.

3. In the Colombian Guajira, it is suggested to carry out in situ studies of hydrography, inorganic nutrients,



primeros meses del año. Durante el segundo semestre, al ocurrir la relajación del fenómeno hidrográfico más intenso, el área se enriquece con el aporte de materia orgánica disuelta y coloreada del río Orinoco y biomasa planctónica de lagunas costeras, golfos y bahías semicerradas. También tiene importancia la amplitud y poca profundidad de la plataforma continental, con la presencia de archipiélagos e islas mayores y menores, que ocasionan enriquecimientos locales.

3. En la Guajira colombiana, se sugiere realizar estudios *in situ* de la hidrografía, los nutrientes inorgánicos, la abundancia de fito y zooplancton y ondas internas que permitan la apropiada comprensión de la surgencia en el tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos J. Polo por suministrar los datos pesqueros de Colombia. Al Museo Marino de Margarita por facilitar el laboratorio y la oficina al primer autor. La investigadora científica Janneth Beltrán, del Laboratorio de Servicios de Información (Labsis) del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar), elaboró el mapa de la Figura 1. Se agradece al editor encargado y a los evaluadores por sus muy valiosas y oportunas sugerencias. Contribución 415 del Instituto de Estudios en Ciencias del Mar (Cecimar), de la Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe.

the abundance of phyto and zooplankton and internal waves that allow the proper understanding of the upwelling in time.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To Dr. Carlos Polo for supplying the fishing data from Colombia. To the Marine Museum of Margarita for providing the first author's laboratory and office. The Scientific Researcher Janneth Beltrán (Information Services Laboratory —Labsis—, Institute for Marine and Coastal Research “José Benito Vives de Andrés” —Invemar—), prepared Figure 1. We thank the editor in charge and the evaluators for their very valuable and timely suggestions. Contribution 415 of the Institute of Studies in Marine Sciences (Cecimar), of the National University of Colombia Caribbean campus.

## BIBLIOGRAFÍA/LITERATURE CITED

- Aguirre, R. and O. Salmerón. 2015. Characterization of the western Caribbean Sea waters through *in vivo* chlorophyll fluorescence. *Rev. Mar. Cost.*, 7: 9-26.
- Alonso, J., E. Blázquez, E. Isaza-Toro, and J. Vidal. 2015. Internal structure of the upwelling events at Punta Gallinas (Colombian Caribbean) from modis-sst imagery. *Cont. Shelf Res.*, 109: 127-134.
- Álvarez-León, R., J. Aguilera, C. Andrade y P. Nowak. 1995. Caracterización general de la surgencia en la Guajira colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 29(75): 679-694.
- Andrade, C. 1993. Análisis de la velocidad del viento sobre el mar Caribe. *Bol. Cient. CIOH*, 13: 33-44.
- Andrade, C. 2001. Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 25(96): 321-335.
- Andrade, C. and E. Barton. 2005. The Guajira upwelling system. *Cont. Shelf Res.*, 25(9): 1003-1022.
- Andrade, C. y E. Barton. 2013. Sobre la existencia de una celda de circulación atmosférica sobre el Caribe y su efecto en las corrientes de Ekman del Caribe suroccidental. *Bol. Cient. CIOH*, 31: 73-94.
- Andrade, C. e Y. Thomas. 1988. Sedimentos en suspensión e hidrodinámica al sureste del delta del río Magdalena, mar Caribe, Colombia. *Bol. Cient. CIOH*, 8: 27-34.
- Andrade, C., E. Barton, and C. Mooers. 2003. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean coast. *J. Geophys. Res.*, 108C6- 3185.





- Andrade, I., P. Sangrá, S. Hormazábal, and M. Correa. 2014. Island mass effect in the Juan Fernández Archipelago (33 °S) southeastern Pacific. *Deep Sea Res. Part I*, 84: 86-99.
- Aparicio, R. 2003. Revisión de las características oceanográficas de la plataforma nororiental de Venezuela. 171-205. En: Freón, P. y J. Mendoza (Eds.). *La sardina (Sardinella aurita): su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela*. IRD Editions, París. 549 p.
- Aparicio, R. y R. Contreras. 2003. Índices de surgencia costera inducida por el viento para la región nororiental de Venezuela. 207-232. En: Freón, P. y J. Mendoza (Eds.). *La sardina (Sardinella aurita), su medio ambiente y explotación en el oriente de Venezuela*. IRD Editions, París. 549 p.
- Aristegui, J., E. Barton, X. Álvarez, A. Santos, F. Figueiras, S. Kifani, S. Hernández, E. Mason, E. Macú, and H. Demarcq. 2009. Subregional ecosystem variability in the Canary current upwelling. *Prog. Oceanogr.*, 83: 33-48.
- Astor, Y., J. Meri y F. Müller-Karger. 1998. Variabilidad estacional hidrográfica de la fosa de Cariaco. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 158(149): 61-72.
- Astor, Y., F. Müller-Karger, and M. Scranton. 2003. Seasonal and interannual variation in the hydrography of the Cariaco Basin: implications for basin ventilation. *Cont. Shelf Res.*, 23: 125-144.
- Astor, Y., F. Müller-Karger, R. Bohrer, L. Tróccoli y J. García. 2004. Variabilidad estacional e interanual del carbono inorgánico disuelto y nutrientes en la fosa de Cariaco. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 161-162: 235-252.
- Astor, Y., M. Scranton, F. Müller-Karger, Y. Bohrer, and J. García. 2005. fCO<sub>2</sub> variability at the Cariaco tropical coastal upwelling time series station. *Mar. Chem.*, 97: 245-261.
- Astor, Y., L. Guzmán, L. Troccoli, L. Lorenzoni y F. Müller-Karger. 2014. Síntesis de las tendencias de parámetros oceanográficos y ópticos en la estación serie de tiempo Cariaco (enero 1996-diciembre 2013). *Mem. Fund. La Salle Cienc. Nat.*, 74(181-182): 81-101.
- Astor, Y., L. Lorenzoni, L. Guzmán, G. Fuentes, F. Müller-Karger, R. Varela, M. Scranton, T. Taylor, and R. Thunell. 2017. Distribution and variability of the dissolved inorganic carbon system in the Cariaco Basin, Venezuela. *Mar. Chem.*, 195: 15-26.
- Bakun, A. 1973. Coastal upwelling indices west coast of North America 1946-1971. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF, 67, 103 p.
- Bakun, A. 1990. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*, 247: 198-201.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean: Ocean processes and marine population dynamics. University of California SeaGrant, San Diego.
- Bakun, A. 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. In: Olivar, M. and J. Govoni (Eds.). *Recent advances in the study of fish eggs and larvae*. *Sci. Mar.*, 70 (Suppl.2): 105-122.
- Bakun, A., D. Field, A. Redondo, and S. Weeks. 2010. Greenhouse gas, upwellings favorable winds, and the future of the coastal upwelling ecosystems. *Global Change Biol.*, 16:1213-1228.
- Ballester, A. 1965. Tablas hidrográficas. En: *Estudios sobre el ecosistema pelágico del N.E. de Venezuela*. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 25(70-71-72): 39-138.
- Barton, E., D. Field, and C. Roy. 2013. Canary current upwelling: More or less? *Prog. Oceanogr.*, 116: 167-178.
- Bastidas-Salamanca, M., C. Ricaurte-Villota, E. Santamaría del Ángel, A. Ordóñez-Zúñiga, M. Murcia-Riaño y D. Romero-Rodríguez. 2017. Regionalización dinámica del Caribe. 14-31. En: Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. *Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe*. Ser. Publ. Esp. Invemar, 14, 180 p.
- Beier, E., G. Bernal, M. Ruiz-Ochoa, and E. Barton. 2017. Freshwater exchanges and surface salinity in the Colombian basin, Caribbean Sea. *PLoS One*, 12(8): e0182116.
- Bernal, G., G. Poveda, P. Roldán y C. Andrade. 2006. Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la costa Caribe colombiana. *Rev. Acad. Col. Cienc.*, 30(115): 195-208.
- Bernal, G., M. Ruiz-Ochoa y E. Beier. 2010. Variabilidad estacional e interanual océano-atmósfera en la cuenca Colombia. *Cuad. Caribe, Univ. Nal. Col.*, 14: 49-72.
- Black, B., W. Sindeman, D. Frank, D. Griffin, D. Stahle, M. García-Reyes, R. Rykaczewski, S. Bograd, and W. Peterson. 2014. Climate change, six centuries of variability and extremes in a couple marine-terrestrial ecosystem. *Science*, 345(6203): 1498-1502.
- Blough N., O. Zafiriou, and J. Bonilla. 1993. Optical absorption spectra of waters from the Orinoco River outflow: terrestrial input of colored organic matter to the Caribbean. *J. Geophys. Res.*, 98(C2): 2271-2278.
- Bonells, D., T. Okuda, J. Bonilla, B. Gamboa y G. Cedeño. 1990. Algunas características hidrográficas en la región circunvecina a la isla de Margarita. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 29(1-2): 27-41.

- Bonilla, J., W. Senior, J. Bugden, O. Zafriou, and R. Jones. 1993. Seasonal distribution of nutrients and primary productivity on the eastern continental shelf of Venezuela as influenced by the Orinoco River. *J. Geophys. Res.*, 98(C2): 2245-2258.
- Brenes, C., R. Benavides y S. Loza. 2017. Descripción de la distribución espacial de la clorofila *a*, temperatura y salinidad en la plataforma y el talud continentales del Caribe centroamericano. *Rev. Mar. Cost.*, 9(1): 41-59.
- Bula, G. 1990. Oceanografía. 51-66. En: Caribe Colombia. Fondo José Celestino Mutis y FEN, Bogotá.
- Cabrera, E. y M. Donoso. 1993. Estudio de las características oceanográficas del Caribe colombiano. Región III Zona 1. *Bol. Cient. CIOH*, 13: 19-32.
- Cabrera, T. 1987. Análisis de las condiciones hidrográficas de bahía de Constanza, isla de Margarita, Venezuela. *Contr. Cient. Centro Invest. Cient.*, 13: 1-33.
- Calvo-Trujillo, A., K. Rincones-Reyes, J. Díaz-Ramos, B. Márquez-García, S. Subero-Pino, E. Elista-Ramírez y L. Troccoli-Ghinaglia. 2018. Distribución espacial y temporal del fitoplancton en el golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, febrero 2014-enero 2015. *Bol. Inv. Mar. Cost.*, 47(2): 63-82.
- Cañón, M. y E. Santamaría. 2003. Influencia de la pluma del río Magdalena en el Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 21: 66-84.
- Cárdenas, J. 2003. Distribución y cuantificación de la biomasa íctica del mar nororiental venezolano, con énfasis especial en la sardina, determinadas por medios hidroacústicos. 401-423. En: Freón, P. y J. Mendoza (Eds.). La sardina (*Sardinella aurita*), su medio ambiente y explotación en el oriente de Venezuela. IRD Editions, París. 549 p.
- Cárdenas, J. y A. Achury. 2002. Acústica pesquera de los recursos marinos del nororiente de Venezuela: evaluación y seguimiento espacio-temporal del stock de sardina (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847). *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 154: 39-54.
- Castellanos, P., R. Varela y F. Müller-Karger. 2002. Descripción de las áreas de surgencia al sur del mar Caribe examinadas con el sensor infrarrojo AVHRR. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 164: 55-76.
- Cellamare, M. and A. Gómez. 2007. Alimentación de la sardina *Sardinella aurita* (Clupeidae) en el sureste de la isla de Margarita, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 46(1): 23-36.
- Centurioni, L. and P. Niiler. 2003. On the surface currents of the Caribbean Sea. *Geophys. Res. Lett.*, 30(6): 1279.
- Chasqui, L., R. Nieto, A. Rodríguez y D. Gil. 2013. Ambientes marinos de la plataforma somera de La Guajira, Caribe colombiano. *Bol. Inv. Mar. Cost.*, 42(2): 401-412.
- Chávez, F. and M. Messié. 2009. A comparison of eastern limit boundary of upwelling ecosystems. *Progr. Oceanogr.*, 83: 80-96.
- Chérubin, L. and P. Richardson. 2007. Caribbean current variability and the influence of the Amazon and Orinoco freshwater plumes. *Deep Sea Res. Part I. Oceanogr. Res. Pap.*, 54(9): 1451-1473.
- Cheung, W., R. Watson, and D. Pauly. 2013. Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature*, 497: 365-368.
- Cook, K. and E. Vizy. 2010. Hydrodynamics of the Caribbean low-level jet and its relationship to precipitation. *J. Clim.*, 23: 1477-1494.
- Correa-Ramírez, M., A. Rodríguez-Santana, C. Ricaurte-Villota, and J. Paramo. 2020. The Southern Caribbean upwelling system off Colombia: Water masses and mixing processes. *Deep-Sea Res. Part I: Oceanographic Res. Papers*, 155: 103145. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.103145>
- Corredor, J. 1977. Aspects of phytoplankton dynamics in the Caribbean Sea. *FAO Fish. Rep.*, 200: 101-114.
- Corredor, J. 1979. Phytoplankton response to low level nutrient enrichment through upwelling in the Colombian Caribbean Basin. *Deep Sea Res.*, 26A: 731-741.
- Criales-Hernández, M.I., C. García y M. Wolff. 2006. Flujos de biomasa y estructura de un ecosistema de surgencia tropical en La Guajira, Caribe colombiano. *Rev. Biol. Trop.*, 54(4): 1257-1282.
- Cropper, T., E. Hanna, and G. Bigg. 2014. Spatial and temporal seasonal trends in coastal upwelling off northwest Africa, 1981-2012. *Deep Sea Res. Part I*, 86: 94-111.
- Cury, P. and C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.*, 46: 670-680.
- Dale, A. and R. Prego. 2002. Physico-biogeochemical controls on benthic-pelagic coupling of nutrient fluxes and recycling in a coastal upwelling system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 235: 15-28.
- Del Rosario, J., J. Pérez, and E. Gómez. 2019. On the prediction of upwelling events at the Colombian Caribbean coasts from modis-SST imagery. *Sensors*, 19(13):2861.
- Donoso, M. 1990. Circulación de las aguas en el mar Caribe. 345-356. VII Seminario Ciencias Tecnologías Mar, Cali.
- Dueñas-Lagos, A., M. Bastidas-Salamanca y C. Ricaurte-Villota. 2017. Región 2: contracorriente. 48-61. En: Ricaurte-Villota, C. y M. Bastidas Salamanca (Eds.). Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Ser. Publ. Esp. Invemar, 14, 180 p.



- Edmont, J. and F. Boyle. 1981. The chemical mass balance in the Amazon plume. I: The nutrients. *Deep Sea Res.*, 28(11A): 1339-1374.
- Fajardo, E. 1979. Surgencia costera en proximidades de la costa de la península colombiana de la Guajira. *Bol. Cient. CIOH*, 1:7-19.
- Febres, G. 1974. Circulación de las aguas superiores de la fosa de Cariaco en abril de 1974. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 13(1-2): 79-86.
- Ferraz, E. 1987. Productividad primaria en el golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 26(1 y 2): 87-110.
- Ferraz, E. 1989. Influencia de los factores físicos en la distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica en el golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 28(1 y 2): 47-56.
- Franco-Herrera, A., L. Castro, and P. Tigreros. 2006. Plankton dynamics in the south-central Caribbean Sea: Strong seasonal changes in a coastal tropical system. *Caribb. J. Sci.*, 42(1): 24-38.
- Freón, P. y J. Mendoza. 2003. La sardina (*Sardinella aurita*) su medio ambiente y explotación en el oriente de Venezuela: una síntesis. 25-180. En: Freón, P. y J. Mendoza (Eds). La sardina (*Sardinella aurita*), su medio ambiente y explotación en el oriente de Venezuela. IRD Editions, París. 549 p.
- Freón, P. y L. Ans. 2003. Comparación de datos de vientos costeros con vientos marítimos y temperatura superficial del mar en el nororiente de Venezuela. 233-262. En: Freón, P. y J. Mendoza (Eds). La sardina (*Sardinella aurita*): su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela. IRD Editions, París. 549 p.
- Freón, P., M. El Khattabi, J. Mendoza y R. Guzmán. 2003. Una estrategia reproductiva inesperada: el caso de *Sardinella aurita* de las costas de Venezuela y sus relaciones con la surgencia costera. 357-387. En: Freón, P. y J. Mendoza (Eds.). La sardina (*Sardinella aurita*), su medio ambiente y explotación en el oriente de Venezuela. IRD Editions, París. 549 p.
- Fukuoka, J. 1962. Características de las condiciones hidrográficas del mar Caribe. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 22(63): 198-205.
- Fukuoka, J. 1963. Un análisis de las condiciones hidrográficas del mar Caribe (II). *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 23(64): 43-55.
- Fukuoka, J. 1964. Análisis de las condiciones hidrográficas del mar Caribe (VII). De la relación de las condiciones hidrográficas cerca de la desembocadura del Orinoco. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 24(69): 277-307.
- Fukuoka, J. 1965a. Meteorología e hidrografía. En: Estudios sobre el ecosistema pelágico del N.E. de Venezuela. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 25(70-72): 9-38.
- Fukuoka, J. 1965b. Coastal upwelling near Venezuela. (I). Year to year change of upwelling. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 4(2): 223-233.
- Fukuoka, J., A. Ballester y F. Cervigón. 1963. Un análisis de las condiciones hidrográficas del mar Caribe (IV). *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 33(66): 254-264.
- Gade, H. 1961. On some oceanographic observations in the southeastern Caribbean Sea and the adjacent Atlantic Ocean with special reference to the influence of the Orinoco River. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 1(2): 287-342.
- García-Reyes, M. and J. L. Largier. 2012. Seasonality of coastal upwelling off central and northern California: New insights, including temporal and spatial variability. *J. Geophys. Res.*, 117: C03028. doi:10.1029/2011JC007629
- García-Reyes, M., W. Sydeman, S. Thompson, B. Black, R. Rykaczewski, J. Thayer, and S. Bograd. 2013. Integrated assessment of wind effects on Central California's pelagic ecosystem. *Ecosystems*, 16(5): 722-735.
- García-Reyes, M., J. Largier, and W. Sydeman 2014. Synoptic scale upwelling indices and predictions of phyto and zooplankton populations. *Prog. Oceanogr.*, 10: 177-188.
- Gerlotto, F. y H. Ginés. 1988. Diez años de eointegración en Edimar referida a la sardina del oriente venezolano (*Sardinella aurita*). *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 48(3): 311-324.
- Goes, J., H. Gomes, A. Chekalyuk, E. Carpenter, J. Montoya, V. Coles, P. Yager, W. Berelson, D. Capone, R. Forester, D. Steinberg, A. Subramaniam, and M. Hafez. 2014. Influence of the Amazon River discharge on the biogeography of phytoplankton communities in the western tropical north Atlantic. *Progr. Oceanogr.*, 120: 29-40.
- Gómez, A. 1991. Interacción entre un estuario negativo (laguna de la Restinga, isla de Margarita) y el mar Caribe adyacente. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 30(1 y 2): 47-55.
- Gómez, A. 1996. Causas de la fertilidad marina en el nororiente de Venezuela. *Interciencia*, 21(3): 140-146.
- Gómez, A. 2001. Recursos pesqueros: Caribe. *Invest. Cienc.*, 301: 36-38.
- Gómez, A. 2006. Caracterización ecológica del caladero de pesca más importante de Venezuela (Pampatar-La Isleta, isla de Margarita). Museo Marino de Margarita, Inf. final Fondo Nal. Invest. Cient. Técn. Venezuela (FONACIT Proy. 2000001372). Min. Cienc. Tecnol., Caracas. 648 p.

- 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. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 54(2): 95-108.
- Gómez, A. 2018a. Análisis del manejo de la crisis de sardina *Sardinella aurita* en Venezuela y comentario sobre artes de pesca y estadística. Bol. Invest. Mar. Cost., 47(1): 85-106.
- Gómez, A. 2018b. Crisis de la pesca de sardina en Venezuela: posible causa un cambio de régimen. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 57(1): 70-82.
- Gómez, A. 2019. Variación a largo término (2002-2016) en la densidad y composición del mesozooplankton indica cambio de régimen en isla Margarita (Venezuela). Bol. Invest. Mar. Cost., 48(1): 65-87.
- Gómez, A. y A. Barceló. 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). Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 53(2): 185-203.
- Gómez, A. y J.P. Chanut. 1988. Variación estacional de variables ecológicas en la bahía de Charagato, isla de Cubagua, Venezuela. Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle, 48(Supl. 3): 73-104.
- Gómez, A. y J.P. Chanut. 1993. Hidrografía, producción y abundancia planctónica al sur de la isla de Margarita, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 32(1 y 2): 27-44.
- Gómez, A. e I. Hernández. 2008. Abundancia interanual del zooplankton nocturno en la costa este de isla Margarita, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 47(2): 91-102.
- Gómez, A., E. Izaguirre y O. Gómez. 2008. Ecología de caladeros, aspectos biológicos y pesca (2003-2006) de sardina *Sardinella aurita* (Pisces: Clupeidae) en Nueva Esparta, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 47(2): 113-128.
- Gómez, A., A. Barceló y E. Mata. 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. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 28(1-2): 35-45.
- Gómez, A., E. Mata y O. Gómez. 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). Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 53(1): 25-36.
- Gómez, E., J. Alonso, and J. Vidal. 2017. On the outflow of Lake Maracaibo, Venezuela. Reg. Stud. Mar. Sci., 15: 31-38.
- Gómez-Letona, M., A. Ramos, J. Coca, and J. Aristegui, 2017. Trends in primary production in the Canary Current upwelling system: A regional perspective comparing remote sensing models. Front. Mar. Sci., 4: 370.
- Gordon, A. 1967. Circulation of the Caribbean Sea. J. Geophys. Res., 72(24): 6207-6223.
- Gutiérrez-Leones, G., M. Correa-Ramírez, S. y S. Hormazábal-Fritz. 2015. Análisis de la variabilidad espacio-temporal del sistema de surgencia de La Guajira en el dominio espacio-frecuencia, empleando el MTM-SVD (Multi Taper Method Singular Value Decomposition). Bol. Cient. CIOH, 33: 87-106.
- Gutiérrez-Salcedo, J. 2011. Estructura vertical del zooplankton oceánico del mar Caribe colombiano. Tesis Mg. Cienc. Biol., Univ. Nacional de Colombia, Bogotá. 124 p.
- Guzmán, R. y G. Gómez. 2000. Crecimiento, mortalidad y patrón de reclutamiento de *Sardinella aurita* en el nororiente de Venezuela. Zootec. Trop., 18(2): 129-144.
- Haug, G., K. Hughen, D. Sigman, L. Peterson, and U. Rohl. 2001. Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. Science, 293(5533):1304-1308.
- Hernández, A. and T. Joyce. 2000. Water masses and circulation in the surface layer of the Caribbean at 66°W. Geophys. Res. Lett., 27: 3497-3500.
- Herrera, L. y G. Febres. 1975. Procesos de surgencia y de renovación de aguas en la fosa de Cariaco, mar Caribe. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 14(1): 31-44.
- Higgins, A., J. Restrepo, J. Ortiz, J. Pierini, and L. Otero. 2016. Suspended sediment transport in the Magdalena River (Colombia, South America): Hydrologic regime, rating parameters and effective discharge variability. Int. J. Sed. Res., 31(1): 25-35.
- Hu, C., E. Montgomery, R. Schmitt, and F. Müller-Karger. 2004. The dispersal of Amazonas and Orinoco river water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: observations from the space and S-Palace floats. Deep Sea Res. Part II, 51: 1151-1171.
- Hulburt, E. 1966. The distribution of phytoplankton and its relationships to hydrography between southern New England and Venezuela. J. Mar. Res., 24: 67-81.
- Jacobsen, T. 1929. Contribution to the hydrography of the North Atlantic, Danish "Dana" Exp. 1920-1922. Oceanography Rep., 3, Copenhagen.
- John, D., J. López-Díaz, A. Cabrera, N. Santiago, J. Corredor, D. Bronk, and J. Paul. 2012. A day in the life in the dynamic marine environment: how nutrients shape diel patterns of phytoplankton photosynthesis and carbon fixation gene expression in the Mississippi and Orinoco River plumes. Hydrobiologia, 679(1): 155-173.



- Jouanno J., J. Sheinbaum, B. Barnier, J. Molines, L. Debreu, and F. Lemarié. 2008. The mesoscale variability in the Caribbean Sea. Part I: Simulations and characteristics with an embedded model. *Oc. Model.*, 23: 82-101.
- Jury, M. 2018. Eastern Venezuela coastal upwelling in context of regional weather and climate variability. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 18: 219-228.
- Kato, K. 1961. Oceanographical studies on the Gulf of Cariaco. I chemical and hydrographical observations in January 1961. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 1(1): 49-73.
- Lewis, W. and J. Saunders. 1989. Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River. *Biogeochemistry*, 7(3): 203-240.
- Liao, G., X. Xu, C. Liang, C. Dong, B. Zhou, T. Ding, W. Huang, and D. Xu. 2014. Analysis of kinematic parameters of internal solitary waves in the northern South China Sea. *Deep Sea Res. Part I*, 94: 159-172.
- Liñero-Arana, M., J. Pérez y O. Díaz. 2009. El (des)conocimiento de la biodiversidad del golfo de Cariaco (Venezuela): causas y futuras perspectivas. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 48(2): 223-227.
- Ljoen, R. and L. Herrera. 1965. Some oceanographic conditions of the coastal water of eastern Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 4(1): 7-50.
- Lonin, S., J. Hernández, and D. Palacios. 2010. Atmospheric events disrupting coastal upwelling in the southeastern Caribbean. *J. Geophys. Res. Oceans*, 115(C6): 1-17.
- López, R., J. López, J. Morell, J. Corredor, and C. Del Castillo. 2013. Influence of the Orinoco river on the primary production of eastern Caribbean surface waters. *J. Geophys. Res. Oceans.*, 118(8): 4617-4632.
- Lorenzoni, L., C. Hu, R. Varela, G. Arias, L. Guzmán, and F. Müller-Karger. 2011. Bio-optical characteristics of Cariaco Basin (Caribbean Sea) waters. *Cont. Shelf Res.*, 31(6): 582-593.
- Lorenzoni, L., D. Rueda, E. Montes, R. Varela, J. Rojas, L. Guzmán, Y. Astor, and F. Müller-Karger. 2017. Spatial variability in factors that control the sinking flux of organic and inorganic particles in the Cariaco Basin: a vision from space. *Int. J. Rem. Sens.*, 38(22): 6206-6218.
- Maloney, N. 1971. Continental margin off Central Venezuela: 262-266. Colloquium resources of the Caribbean Sea and adjacent areas. Unesco, Paris.
- Mandelli, E. and E. Ferraz. 1982. Primary production and phytoplankton dynamics in a tropical inlet, Gulf of Cariaco, Venezuela. *Inst. Rev. Hydrobiol.*, 67(1): 65-85.
- Marengo, J., C. Nobre, J. Tomasella, M. Oyama, G. Sampaio de Oliveira, R. de Oliveira, H. Camargo, L. Alves, and I. Brown. 2008. The drought of Amazonia in 2005. *J. Clim.*, 21(3): 495-516.
- Margalef, R. 1961. Hidrografía y fitoplancton de un área marítima de la costa meridional de Puerto Rico. *Inv. Pesq.*, 18: 33-96.
- Margalef, R. 1965. Composición y distribución del fitoplancton. En: Estudios sobre el ecosistema pelágico del N.E. de Venezuela. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 25(70-71-72): 139-206.
- Margalef, R. 1969. El ecosistema pelágico del mar Caribe. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 32: 5-31.
- Matsuura, Y., J. Amaral, G. Sato y S. Tamassia. 1985. Ocorrencia de peixes pelagicos e a estrutura oceanografica de região entre o Cabo de São Tome (RJ) e Cananea (SP) em Jan-Fev/1979. *Ser. Doc. Tec., PDP/SUDEPE, Brasília*, 33: 3-70.
- Meade, R., J. Nordin, H. Pérez, A. Mejía, and G. Pérez. 1983. Sediment and water discharge in Río Orinoco, Venezuela and Colombia. 2nd <sup>Internat. Symp. River Sedimentation, Nanjing, China.</sup> 1158 p.
- Mendoza, J. 2003. Relaciones tróficas y flujo de biomasa en la plataforma continental del oriente venezolano: importancia de la sardina *Sardinella aurita*. 295-327. En: Freón, P. y J. Mendoza (Eds.). La sardina (*Sardinella aurita*): su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela. IRD Editions, París. 549 p.
- 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. 15 p.
- Milliman, J., J. Butenko, I. Barbot, and J. Hedberg. 1982. Deposition patterns of modern Orinoco/Amazon muds on the northern Venezuelan shelf. *J. Geophys. Res.*, 40(3): 643-657.
- Miró, M. 1974. Morfología submarina y sedimentos marinos recientes del margen continental del nororiente de Venezuela. *Cuad. Azules*, 14: 1-232.
- Moigis, A. 1986. Variación de la producción primaria del fitoplancton en el golfo y en fosa de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 25(1-2): 115-126.
- Molina, A., A. Pelgrain, J. Suzunaga y L. Giraldo. 1996. Comportamiento de la dinámica marina en el sector costero entre Galerazamba y Cartagena. *Bol. Cient. CIOH*, 17: 73-78.



- Monente, J. 1990. Influencia del río Orinoco en el Caribe: materia en suspensión. Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle, 49-50(131-134): 347-360.
- Montoya-Sánchez, R. 2019. Procesos de interacción océano-atmósfera en la zona de surgencias de la Guajira a diferentes escalas temporales. Tesis Dr. Ingeniería-Recursos Hidráulicos, Univ. Nacional de Colombia, Medellín. 170 p.
- Montoya-Sánchez, R., A. Devis-Morales, G. Bernal, and G. Poveda. 2018. Seasonal and intraseasonal variability of active and quiescent upwelling events in the Guajira system, southern Caribbean Sea. Cont. Shelf Res., 171: 97-112.
- Moore, W. and J. Todd. 1993. Radium isotopes in the Orinoco estuary and Eastern Caribbean Sea. J. Geophys. Res., 98 (2C): 2233-2244.
- Morell, J. and J. Corredor. 2001. Photomineralization of fluorescent dissolved organic matter in the Orinoco River plume: estimation of ammonium release. J. Geophys. Res., 106(C8): 16807-16813.
- Morelock, J., N. Maloney, and W. Bryant. 1972. Structure and sediments of the continental shelf of central Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 2 (2): 127-136.
- Morris, M., A. Smith, and H. Glover. 1981. Products of photosynthesis in phytoplankton off the Orinoco River and the Caribbean Sea. Limnol. Oceanogr., 26(6): 1034-1044.
- Müller-Karger, F. and R. Aparicio. 1994. Mesoscale process affecting phytoplankton abundance in the southern Caribbean Sea. Cont. Shelf Res., 14(2-3): 199-221.
- Müller-Karger, F. y R. Varela. 1988. Variabilidad de la biomasa del fitoplancton en aguas superficiales del mar Caribe: Una perspectiva desde el espacio con el CZCS. Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle, 48(3): 179-201.
- Müller-Karger, F. y R. Varela. 1990. Influjo del río Orinoco en el mar Caribe: observaciones con el CZCS desde el espacio. Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle, 49-50(131-134): 361-390.
- Müller-Karger, F., C. McClain, C. Fisher, T. Esaiás, and R. Varela. 1989. Pigment distribution in the Caribbean Sea: Observations from space. Progr. Oceanogr., 2: 23-64.
- Müller-Karger, F., R. Varela, R. Thunell, M. Scantron, G. Taylor, J. Capelo, Y. Astor, E. Tappa, J. Akl, and H. Tung-Yuan. 2004. Características de la fosa de Cariaco y su importancia desde el punto de vista oceanográfico. Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle, 161-162: 215-234.
- Müller-Karger, F., Y. Astor, C. Benítez-Nelson, B. Kristen, K. Fanning, L. Lorenzoni, E. Montes, D. Rueda-Roa, M. Scranton, E. Tappa, T. Gordon, G. Taylor, R. Thunell, L. Troccoli, and R. Varela. 2019. The scientific legacy of the Cariaco Ocean Time-Series Program. Ann. Rev. Mar. Sci., 11: 1.
- Murcia-Riaño, M., C. Ricaurte-Villota, A. Ordóñez-Zúñiga, and M. Bastidas Salamanca. 2017. Región I: Sistema de La Guajira: 32-47. En Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Ser. Publ. Esp. Invemar, 14, 180 p.
- Nielsen, N. 1925. Gulfstrømmen. Geogr. Tiofskr., 28. Copenhagen.
- Odriozola, A., R. Varela, C. Hu, Y. Astor, L. Lorenzoni, and F. Müller-Karger. 2007. On the absorption of light in the Orinoco River plume. Cont. Shelf Res., 27(10-11): 1447-1464.
- Oerder, V., F. Colas, V. Echevin, F. Codron, J. Tam, and A. Belmadani. 2015. Peru-Chile upwelling dynamics under climate change. J. Geophys. Res. Oceans, 120: 1152-1172.
- Okuda, T. 1978. Condiciones hidroquímicas de las aguas superficiales de la fosa de Cariaco y áreas adyacentes. FAO Fish. Rep., 200: 349-362.
- Okuda, T. 1981. Análisis hidroquímicos de la bahía de Pozuelo y sus áreas adyacentes, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 20(1 y 2): 11-22.
- Okuda, T., B. Gamboa, and A. García. 1969. Seasonal variation of hydrographic conditions in the Cariaco Trench. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 8(1 y 2): 21-27.
- Okuda, T., J. Benítez, J. Sellier, J. Fukuoka y B. Gamboa. 1974. Revisión de los datos oceanográficos en el mar Caribe suroccidental, especialmente el margen continental de Venezuela. III Conf. Nac. Unid. Sobre Der. Mar. Cuad. Azules, 15: 3-179.
- Paramo, J. y J. Viaña. 2002. Evaluación hidroacústica de machuelo (*Opisthonema oglinum*) y sardina (*Sardinella aurita*) en la zona norte del Caribe colombiano, durante julio-agosto y diciembre de 1997. Bol. Inv. Mar. Cost., 31(1): 33-52.
- Paramo, J., R. Quiñones, A. Ramírez, and R. Wiff. 2003. Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information. Aq. Liv. Res., 16(3): 239-245.
- Paramo, J., M. Correa y S. Núñez. 2011. Evidencias de desacople físico-biológico en el sistema de surgencia en la Guajira, Caribe colombiano. Rev. Biol. Mar. Oceanogr., 46(3): 421-430.
- Paramo, J., L. Espinoza, B. Posada, S. Núñez y S. Benavides. 2012. Distribución espacial de sedimentos en la región norte del Caribe Colombia. Bol. Inv. Mar. Cost., 41(1): 9-28.



- Pareja, L., D. Díaz, A. Rodríguez, N. Villegas e I. Pérez, 2013. Análisis del transporte y bombeo Ekman en el Caribe colombiano. Bol. Cient. CIOH, 31:3-12.
- Parr, A. 1937. A contribution to the hydrography of Caribbean and Cayman Seas, based upon the observations made by research ship Atlantis 1933-1934. Bull. Bingham Oceanogr. Coll., 5(4): 1-110.
- Parrish, R., C. Nelson, and A. Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. Biol. Oceanogr., 1: 175-203.
- Pauly, D. and V. Christensen. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. Nature, 374: 255-257.
- Payne, M. 2013. Climate change at the dinner table. Nature, 497: 320-321.
- Perlroth, I. 1971. Distribution of mass in the near surface waters of the Caribbean: 147-152. Symp. CICAR I. Willemstad, Curaçao. Nov. 18-26, 1968. Unesco, Paris.
- Pineda, J. y A. Aguado. 1980. Variación mensual de la composición química del mejillón *Perna perna* (L.) cultivado y las condiciones ambientales de la bahía del Guamache, Isla de Margarita, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. São Paulo, 29(2): 305-311.
- Pinzón, J., A. Perdomo y J. Díaz. 1998. Isla Arena, una formación coralina saludable en el área de influencia de la pluma del río Magdalena, plataforma continental del Caribe colombiano. Bol. Inst. Inv. Mar. Cost., 27: 21-37.
- Rabinovich, J. and D. Novoa. 1982. El río Orinoco y su futuro. En: Novoa, D. (Comp.). Los recursos pesqueros del río Orinoco y su explotación. Arte, Caracas.
- Restrepo, J. and B. Kjerfve. 2000. Magdalena River: interannual variability (1975-1995) and revised water discharged and sediment load estimates. J. Hydrol., 235: 137-149.
- Restrepo-López, J., J. Ortiz-Royero, L. Otero-Díaz y S. Ospina-Ortiz. 2015. Transporte de sedimentos en suspensión en los principales ríos del Caribe colombiano: magnitud, tendencias y variabilidad. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat., 39 (153): 527-546.
- Richards, F. 1960. Some chemical and hydrographic observations along the north coast of South America. I. Cabo Tres Puntas to Curaçao, including the Cariaco Trench. Deep Sea Res., 7: 163-182.
- Richards, F. and R. Vaccaro. 1956. The Cariaco Trench, an anaerobic basin in the Caribbean Sea. Deep Sea Res., 3(3): 214-228.
- Rodríguez, C. and R. Varela. 1987. Pigmentos clorofílicos e hidrografía en la región noroccidental de Venezuela con énfasis en el golfo de Venezuela. Ann. Inst. Invest. Mar. Punta Betín, 17: 3-14.
- Rueda-Roa, 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*). Ph. D. Thesis, Univ. South Florida. 168 p.
- Rueda-Roa, D. and F. Müller-Karger. 2013. The southern Caribbean upwelling system: sea surface temperature, wind forcing and chlorophyll concentration patterns. Deep Sea Res., 78: 102-114.
- Rueda-Roa, D., J. Mendoza, F. Müller-Karger, J. Cárdenas, A. Achury, and Y. Astor. 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.
- Rueda-Roa, D., T. Ezer, and F. Müller-Karger. 2018. Description and mechanisms of the mid-year upwelling in the southern Caribbean Sea from remote sensing and local data. J. Mar. Sci. Eng., 6(2):36. <https://doi.org/10.3390/jmse6020036>
- Ruiz-Ochoa, M. 2011. Variabilidad de la cuenca Colombia (mar Caribe) asociada con El Niño-Oscilación del Sur, vientos alisios y procesos locales. Tesis Dr. Ingeniería-Recursos Hidráulicos, Univ. Nacional de Colombia, Medellín. 202 p.
- Salazar-Gómez, I., J. Díaz-Ramos, K. Rincones, L. Chazerdine, S. Subero, L. Tróccoli, B. Márquez, B. Marín, A. Márquez, and D. Hernández. 2011. Cambios diarios de la biomasa fitoplanctónica en la bahía de Mochima, Venezuela, durante la época de lluvias. Bol. Inst. Oceanogr. Ven., 50(1): 69-78.
- Sander, K. 1973. Internal waves as causative mechanisms of island mass effects. Caribb. J. Sci., 13: 179-182.
- Santos, F., M. Gómez-Gesteira, R. Varela, M. Ruiz-Ochoa, and J. Días. 2016. Influence of upwelling on SST trends in La Guajira system. J. Geophys. Res. Oceans, 121: 2469-2480.
- Sarmiento-Devia, R., A. López-Escobar, M. Bruno, P. Dávila y A. Franco-Herrera. 2013. Variabilidad intra-anual del régimen climático en sectores de surgencia en el sudeste del mar Caribe, usando ERA Interim. Rev. Biol. Mar. Oceanogr., 48(3): 471-485.
- Sheng, J. and L. Tang. 2003. A numerical study of circulation in the Western Caribbean Sea. J. Phys. Oceanogr., 33: 2049-2069.
- Stromme, T. y G. Saetersdal. 1989. Prospecciones de los recursos pesqueros de las áreas de la plataforma entre Surinam y Colombia, 1988. Inf. Final. Report Surveys R/V Dr. F. Nansen. NORAD/UNDP/FAO. Inst. Mar. Res., Bergen, Noruega. 145 p.
- Sydeman, W., M. García-Reyes, D. Shoeman, R. Rykaczewski, S. Thompson, B. Black, and S. Bograd. 2014. Climate change and wind intensification in coastal upwelling ecosystems. Science, 345(6192): 77-80.

- Taylor, G., F. Müller-Karger, R. Thunell, M. Scranton, Y. Astor, R. Varela, L. Troccoli, L. Lorenzoni, K. Fanning, S. Hameed, and O. Doherty. 2012. Ecosystem responses in the southern Caribbean Sea to global climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 109(47): 19315-19320.
- Van Andel, T. 1967. The Orinoco delta. *J. Sed. Petrol.*, 37: 297-310.
- Varela, R., F. Carvajal y F. Müller-Karger. 2003. El fitoplancton en la plataforma nororiental de Venezuela. 263-294. En: Freón, P. y J. Mendoza (Eds.). *La sardina (Sardinella aurita)*, medio ambiente y explotación en el oriente de Venezuela. IRD Editions, París. 549 p.
- Vazyulya, S., A. Khrapko, O. Kopelevich, V. Burenkov, T. Eremina, and A. Isaev. 2014. Regional algorithms for the estimation of chlorophyll and suspended matter concentration in the Gulf of Finland from MODIS-Aqua satellite data. *Oceanologia*, 56(4): 737-756.
- Walsh, J., D. Dieterle, F. Müller-Karger, R. Bohrer, W. Paul, R. Varela, R. Aparicio, R. Díaz, R. Thunell, G. Taylor, M. Scranton, K. Fanning, and E. Peltzer. 1999. Simulation of carbon-nitrogen cycling during spring upwelling in the Cariaco Basin. *J. Geophys. Res.*, 104(C4): 7807-7825.
- Wang, D., T. Gouhier, B. Menge, and A. Ganguly. 2015. Intensification and spatial homogenization of coastal upwelling under climate change. *Nature*, 518: 390-394.
- Wilson, B. y L. Hayek. 2019. Planktonic foraminifera as indicators of oceanographic complexity on the southern Caribbean Sea continental shelf. *Estuar. Coastal Shelf Sci.*, 228: 106359.
- Wüst, G. 1963. On the stratification and circulation in the cold water sphere of the Atlantic Caribbean basin. *Deep Sea Res.*, 10(3): 165-187.
- Wüst, G. 1964. Stratification and circulation in the Antillean Caribbean Basins. Part I. Columbia Univ. Press.

**RECIBIDO/RECEIVED:** 26/06/2019

**ACEPTADO/ACCEPTED:** 11/09/2020





NOTA/NOTE

***Chaetaster nodosus* Perrier, primera estrella de mar perteneciente a la familia Chaetasteridae (Echinodermata: Asteroidea) registrada para el Caribe colombiano**

***Chaetaster nodosus* Perrier, first starfish belonging to the family Chaetasteridae (Echinodermata: Asteroidea) registered for the Colombian Caribbean**

Laura Cristina Moreno-Jiménez<sup>1,2\*</sup> y Giomar Helena Borrero-Pérez<sup>2</sup>

 0000-0001-5559-4385

 0000-0003-3091-3938

1. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. [lmoren16@eafit.edu.co](mailto:lmoren16@eafit.edu.co)\*

2. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (Invemar), Santa Marta, Colombia. [giomar.borrero@invemar.org.co](mailto:giomar.borrero@invemar.org.co)

\* Autora de correspondencia.

RESUMEN

Este trabajo registra por primera vez para el Caribe colombiano la familia monogénica Chaetasteridae (Echinodermata: Asteroidea) con base en un ejemplar de la estrella de mar *Chaetaster nodosus* Perrier 1875 colectado frente a las islas de San Bernardo a 98 m de profundidad. Se incluye una breve descripción de la especie e información acerca de su distribución.

**PALABRAS CLAVE:** primer registro, Colombia, distribución geográfica, distribución batimétrica, descripción taxonómica

ABSTRACT

This work reports for the first time for the Colombian Caribbean the monogeneric family Chaetasteridae (Echinodermata: Asteroidea) based on a specimen of the starfish *Chaetaster nodosus* Perrier, 1875 collected off the San Bernardo islands at 98 m depth. A brief description of the species and information about its distribution is included.

**KEY WORDS:** first record, Colombia, geographic distribution, bathymetric distribution, taxonomic description

Chaetasteridae es una familia de la clase Asteroidea (phylum Echinodermata) que incluye únicamente dos especies para el océano Atlántico, ambas en el género *Chaetaster*: *Chaetaster nodosus* Perrier y *Chaetaster longipes* (Bruzelius) en el Atlántico oriental (Clark y Downey, 1992). Esta clase, que agrupa las comúnmente conocidas estrellas de mar, es uno de los taxones más abundantes y diversos dentro del phylum Echinodermata (Pawson, 2007). En Colombia, el conocimiento sobre este grupo ha ido aumentando. Según Alvarado (2011) y Pérez-Ruzafa *et al.* (2013), Colombia es uno de los países de Latinoamérica con el mayor número de especies de asteroideos. Álvarez (1981) presentó un listado preliminar de los equinodermos del Caribe colombiano donde citó once especies del grupo; posteriormente, Benavides-Serrato *et al.* (2005) presentaron un listado taxonómico de los asteroideos de la plataforma y del talud superior del Caribe colombiano y en él citaron 35 especies. Finalmente, el trabajo más actualizado y completo para este grupo es el de Benavides-Serrato *et al.* (2011), en el cual mencionan 67 especies diferentes de asteroideos para el Caribe colombiano.

Un ejemplar perteneciente al género *Chaetaster nodosus* fue recolectado frente a las islas de San Bernardo, en Archipiélagos Coralinos. Esta es una de las ecorregiones definidas para el Caribe colombiano que está conformada por islas, plataformas de carbonato poco profundas y bancos de coral ubicados en la costa continental, entre las islas del Rosario e isla Fuerte, así como por contornos de la plataforma continental de entre 40 y 130 m de profundidad. Esta ecorregión de aguas claras posee una alta diversidad de especies, así como hábitats con arrecifes de coral, planicies de arena bioclásticas, lechos marinos y manglares en algunas de sus islas (Díaz y Acero, 2003).

El individuo recolectado fue separado y preservado en etanol al 70 % y fotografiado e identificado utilizando las claves taxonómicas de Downey (1973) y Clark y Downey (1992). El ejemplar fue depositado en la colección de equinodermos del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) Makuriwa del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar).

## Phylum Echinodermata

### Clase Asteroidea

Familia Chaetasteridae Sladen, 1889

Género *Chaetaster* Müller y Troschel, 1840

*Chaetaster nodosus* Perrier, 1875

Chaetasteridae is a family of the class Asteroidea (phylum Echinodermata) that includes only two species for the Atlantic Ocean, both belonging to the genus *Chaetaster*, which are *Chaetaster nodosus* Perrier, 1875 and *Chaetaster longipes* (Bruzelius, 1805) in the eastern Atlantic (Clark and Downey, 1992). This class, which includes the animals commonly known as starfishes, is one of the most abundant and diverse taxa in the phylum Echinodermata (Pawson, 2007). In Colombia, the knowledge about this group had been increasing. According to Alvarado (2011) and Pérez-Rufaza *et al.* (2013), Colombia is one of the Latin-American countries with the largest number of asteroids species. Álvarez (1981) presented an initial list of echinoderms for the Colombian Caribbean, where he cited eleven asteroids species. Subsequently, Benavides-Serrato *et al.* (2005) presented a taxonomic list of the asteroids of the continental shelf and the upper slope of the Colombian Caribbean, in which they cited 35 species. Finally, the most actualized and complete paper (Benavides-Serrato *et al.*, 2011) mentioned 67 species of asteroids for the Colombian Caribbean.

One specimen of *Chaetaster nodosus* was collected in Coralline Archipelagos, in front of San Bernardo islands. Coralline Archipelagos is one of the ecoregions defined for the Colombian Caribbean that is encompassed by islands, shallow carbonate platforms, and coral shoals located off the mainland coast between Islas del Rosario and Isla Fuerte, as well as the continental shelf between 40 and 130 m depth. This clear water ecoregion has a high diversity of species, as well as habitats with coral reefs, bioclastics sand flats, seagrass beds and mangroves in some islands (Díaz and Acero, 2003).

The collected specimen was separated and preserved in 70 % ethanol, photographed and identified using the taxonomic keys presented by Downey (1973) y Clark y Downey (1992). The specimen was deposited in the echinoderm collection of the Marine Natural History Museum of Colombia (MHNMC) Makuriwa of the Marine and Coastal Research Institute (Invemar).

## Phylum Echinodermata

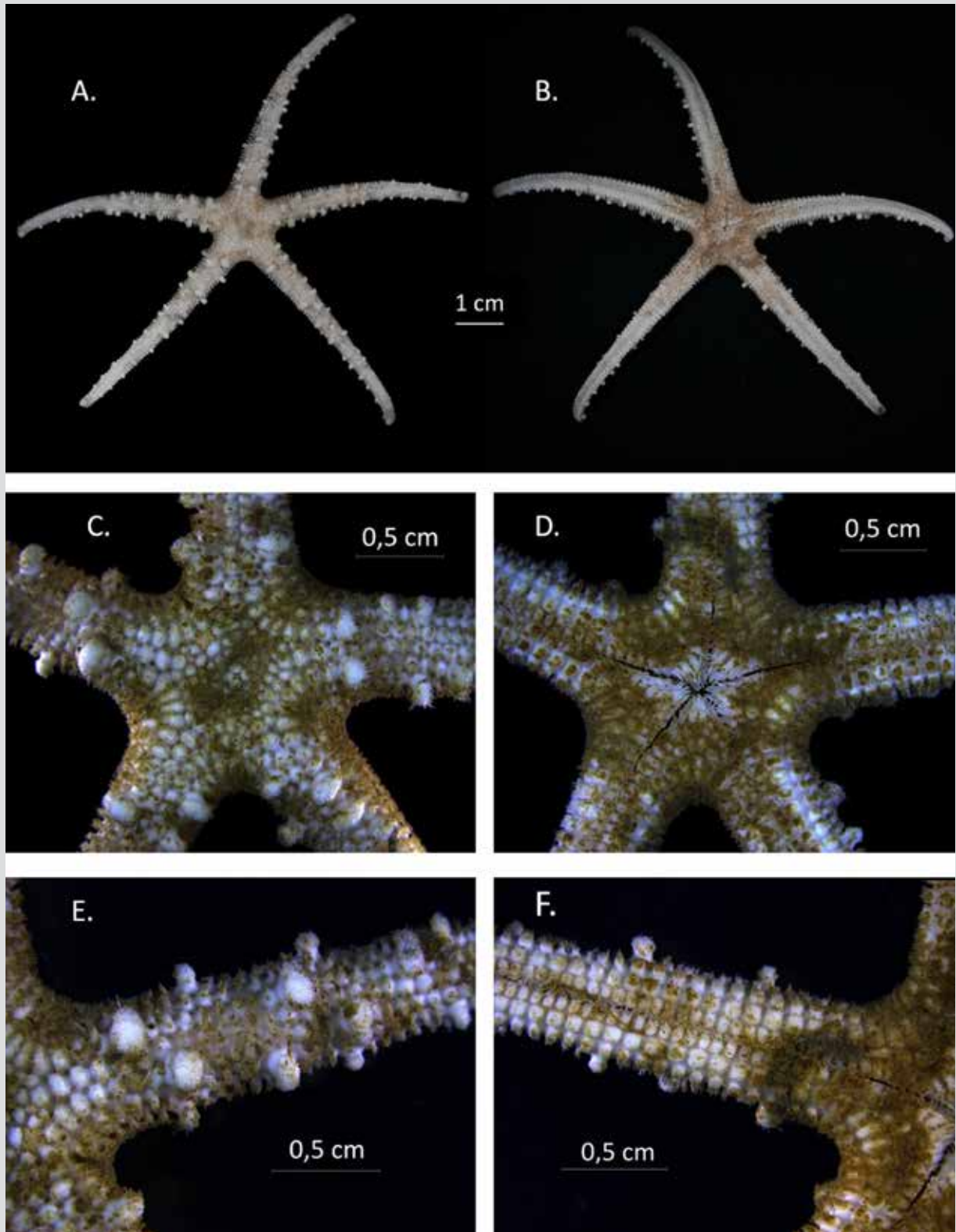
### Class Asteroidea

Family Chaetasteridae Sladen, 1889

Genus *Chaetaster* Müller y Troschel, 1840

*Chaetaster nodosus* Perrier, 1875





**Figura 1.** *Chaetaster nodosus*. **A)** Vista general abactinal. **B)** Vista general actinal. **C)** Acercamiento al disco en vista abactinal. **D)** Acercamiento al disco en vista actinal. Se detalla la mandíbula. **E)** Acercamiento a uno de los brazos en vista abactinal. Se observan las placas nodosas que sobresalen de la superficie general. **F)** Acercamiento a uno de los brazos en vista actinal. Se observa el surco ambulacral y las placas adambulacrales.

**Figure 1.** *Chaetaster nodosus*. **A)** General abactinal view. **B)** General actinal view. **C)** Disc detail in abactinal view. **D)** Disc detail in actinal view showing the jaw. **E)** Arm detail in abactinal view. Nodoses plates raised above the general surface observed. **F)** Arm detail in actinal view. Ambulacral groove and the adambulacral plates observed.

Referencias de identificación: Downey (1973: 65, Pl. 24 C, D), Clark y Downey (1992: 144, 146, Pl. 35 C, D).

Material examinado: un ejemplar INV EQU4789, R: 50 mm, r: 7 mm, R/r: 7,1/1, E 327 B (9°37'04" N-76°16'41" W), 98 m de profundidad.

Descripción: disco pequeño con cinco brazos largos, estrechos y redondos, que disminuyen su grosor hasta terminar (Figura 1A). Placas abactinales bien espaciadas en filas regulares, una fila carinal y cuatro o cinco dorsolaterales en cada lado; solo una de las hileras continúa hasta la placa terminal; placas más o menos iguales en tamaño, aunque pueden ser un poco irregulares en cuanto a su forma (Figura 1C). Placas abactinales subpaxiliformes, con la parte superior ancha y plana densamente cubierta con pequeños tubérculos en forma de gránulos con espinas hialinas; algunas placas dispersas en los brazos grandes y elevadas por encima de la superficie general, claramente nodosas (Figura 1E); paxilas muy cerca, casi se tocan entre ellas, de modo que la base de la placa está oculta. Pápulas grandes e individuales ubicadas entre las placas. Dos series de placas marginales grandes y rectangulares en su mayoría confinadas a la superficie inferior, con la misma ornamentación de las placas abactinales, siendo las proximales mucho más anchas que largas. Pocas placas actinales, confinadas al disco. Placas adambulacrales con 6-7 espinas muy cortas y gruesas paralelas al surco y un parche subpaxilado de espinas subambulacrales similares a las abactinales y marginales. Placas bucales pequeñas, estrechas, densamente cubiertas con espinas largas afiladas (Figura 1D). Madreporita pequeña, plana y profundamente canalizada. Placa terminal grande, desnuda y redonda (Downey, 1973; Clark y Downey, 1992).

Distribución: *Chaetaster nodosus* se distribuye en el Atlántico oriental en las islas Canarias (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2013) y en el Atlántico occidental desde Bermuda y Carolina del Norte (Estados Unidos), incluyendo el golfo de México y el Caribe (Cuba, Venezuela, Surinam y Colombia), hasta Brasil (4° S) (Clark y Downey, 1992; GBIF.org, 2019; Orrel, 2019) (Figura 2). En este documento se registra la especie por primera vez para Colombia con base en el ejemplar recolectado en el proyecto ICP y, además, se incluye un individuo depositado en el Museo Nacional de Historia Natural del Smithsonian (NMNH-Smithsonian) con el número de catálogo USNM 1226493. Este ejemplar fue recolectado en el año 1965 por el R/V Oregon (Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos) en el noroeste de la península de la Guajira a una profundidad de 207 m. Esta

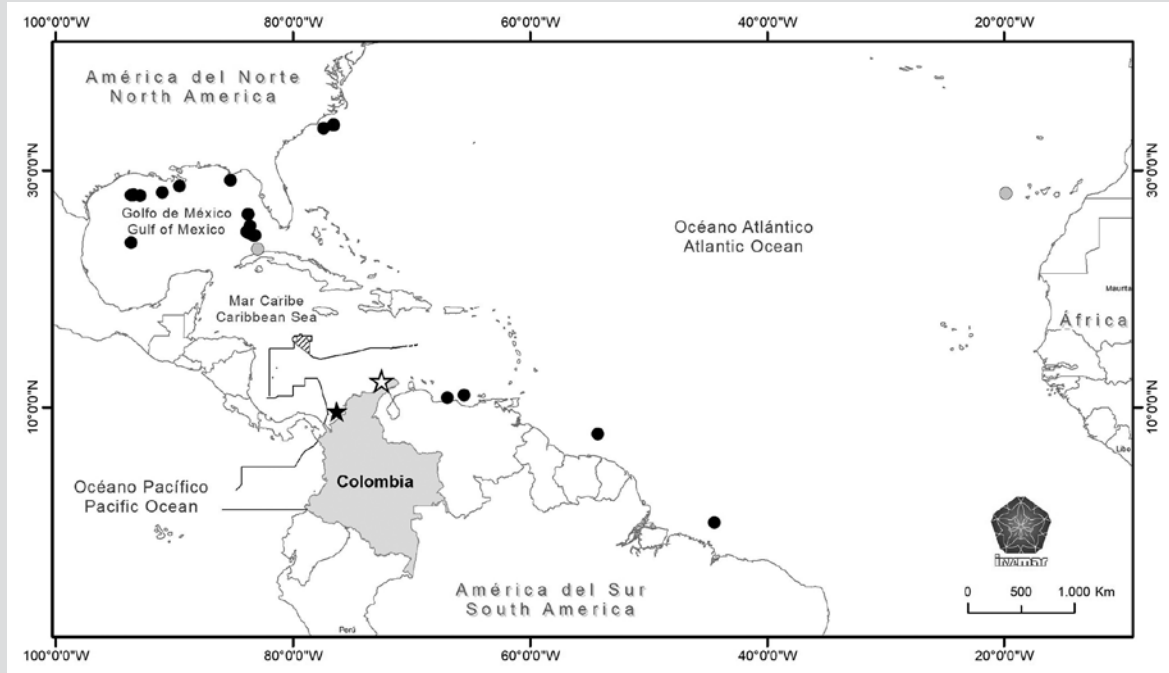
Identification references: Downey (1973: 65. Pl. 24 C, D), Clark and Downey (1992: 144, 146. Pl. 35 C, D).

Material examined: 1 specimen INV EQU4789, R: 50 mm, r: 7 mm, R/r: 7.1/1, E 327 B (9°37'04" N-76°16'41" W), 98 m depth.

Description: Disc small with five long, slender, rounded arms, tapering to acute point (Figure 1A). Well-spaced abactinal plates in regular rows; one carinal row and four or five dorsolaterals on each side; only one row continuing all the way to the terminal plate; plates more or less equal in size, somewhat irregular in shape (Figure 1C). Abactinal plates subpaxillate, with broad flat top densely covered with small granule-like tubercles bearing hyaline spinelets; a few scattered plates on the arms larger, raised above the general surface, being distinctly nodose (Figure 1E); paxillae nearly touching, concealing the base of plates. Large single papulae between plates. Two series of large rectangular marginal plates mostly confined to lower surface, armed like abactinal plates, proximal ones much broader than long. Actinal plates few, confined to disc. Adambulacral plates bearing 6-7 very short, stubby furrow spines parallel to groove, and a subpaxillate patch of subambulacral spinelets similar to those of abactinal and marginals. Mouth plates small, narrow, densely covered with long sharp spines (Figure 1D). Madreporite small, flat, and deeply channeled. Terminal plate large, bare and round (Downey, 1973; Clark and Downey, 1992).

Distribution: *Chaetaster nodosus* is distributed in the eastern Atlantic in the Canary Islands (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2013) and in the western Atlantic from Bermuda and North Carolina (USA), including the Gulf of Mexico and the Caribbean (Cuba, Venezuela, Suriname and Colombia) to Brazil (4° S) (Clark and Downey, 1992; GBIF.org, 2019; Orrel, 2019) (Figure 2). This paper reports the species for the first time in Colombia, based on one specimen collected in the ICP project. In addition, one individual deposited in the National Museum of Natural History from the Smithsonian (NMNH-Smithsonian), catalog number USNM 1226493, is included. This individual was collected in 1965 by the United States Fish and Life Service, northwest of the Guajira peninsula at 207 m depth by the R/V Oregon. This depth would expand the bathymetric range of the species cited by Clark and Downey (1992) which is 53 to 207 m.

**Comments:** Although currently Chaetasteridae is recognized as a family, Downey (1973) considered the genus *Chaetaster* a highly specialized ophiasterid,



**Figura 2.** Distribución geográfica conocida de la especie *Chaetaster nodosus*. Se indica la localidad del ejemplar recolectado en el proyecto ICP (estrella negra) y la del ejemplar USNM 1226493 de Colombia (estrella blanca); los registros de la especie incluidos en las bases de datos del GBIF y del NMNH-Smithsonian (puntos negros), y los de Alvarado y Solís-Marín (2013), los cuales no corresponden a coordenadas exactas (puntos grises).

**Figure 2.** Known geographical distribution of the *Chaetaster nodosus* species. It indicates the location of the specimen collected in the ICP project (black star) and that of the specimen USNM 1226493 from Colombian (white star); the records of the species included in the GBIF and NMNH-Smithsonian databases (black dots), and those of Alvarado and Solís-Marín (2013), which do not correspond to exact coordinates (gray dots).

profundidad amplía el intervalo de la especie registrado por Clark y Downey (1992), el cual va entonces de 53 a 207 m.

**Comentarios:** aunque actualmente Chaetasteridae es una familia aceptada, Downey (1973) consideró el género *Chaetaster* como un ophiidiastérido altamente especializado, con lo que abolió la familia Chaetasteridae y restauró este género dentro de la familia Ophiasteridae, de la cual había sido removido anteriormente. Chaetasteridae también ha sido colocada en o cerca de Echinasteridae y Asterinidae. Por otro lado, Tommasi (1971) describió *Chaetaster vanzolinicus* diferenciándola de *C. nodosus* por una mayor cantidad de filas de placas abactinales (dorsales y laterales) en los brazos. Sin embargo, esa especie no fue aceptada, debido a que el número de filas de las placas no parecía ser mucho mayor y a que las filas adicionales que pudieran estar presentes se explicaron por el tamaño mayor del espécimen con respecto al promedio (el número de filas y el tamaño de las placas en muchas estrellas de mar aumenta con el crecimiento del organismo) (Clark, 1922; Clark y Downey, 1992). El ejemplar recolectado por el Invermar podría ser un juvenil considerando las tallas registradas por Clark y Downey (1992) de  $R = 90$  mm y  $R/r = 8,2/1$ .

synonymizing Chaetasteridae family and restoring this genus to the family Ophiasteridae, from which it had been previously removed. Chaetasteridae has also been placed in or near Echinasteridae and Asterinidae. On the other hand, Tommasi (1971) described *Chaetaster vanzolinicus* as a species different from *C. nodosus*, because of the greater number of rows of abactinal plates (dorsal and lateral) on the arms. However, this species was not accepted, because the number of rows of plates does not seem to be much higher. Also, the additional rows that could be present were explained by the larger size of the specimen respects to the average, since the number of rows and the size of the plates in many starfish increase with growth (Clark, 1922; Clark and Downey, 1992). The specimen collected could be a juvenile considering the size reported by Clark and Downey (1992) of  $R = 90$  mm and  $R/r = 8.2/1$ .

## ACKNOWLEDGMENTS

The specimen of *Chaetaster nodosus* was collected during the project “Toxicidad de fluidos de exploración de hidrocarburos offshore en organismos nativos del Caribe

## AGRADECIMIENTOS

El material fue recolectado en el marco del proyecto “Toxicidad de fluidos de exploración de hidrocarburos *offshore* en organismos nativos del Caribe colombiano: ecosistemas profundos y sus recursos pesqueros en los bloques de exploración RC11, RC12, Fuerte Norte y Fuerte Sur, Caribe colombiano”, proyecto ICP, desarrollado por el Invemar y Ecopetrol bajo el acuerdo de cooperación n.º 1 derivado del convenio n.º 5211329 del 2013. Se agradece a Manuel Garrido Linares y a Paola Flores Romero por la recolección y separación de los equinodermos durante este proyecto. Contribución 1274 del Invemar.

colombiano: ecosistemas profundos y sus recursos pesqueros en los bloques de exploración RC11, RC12, Fuerte Norte y Fuerte Sur, Caribe colombiano”, ICP Project, carried out by Invemar and Ecopetrol under Cooperation Agreement No. 01 derived from contract No. 5211329 of 2013. Thanks to Manuel Garrido Linares and Paola Flores Romero for the collection and sorting of echinoderms during this project. Contribution 1274 of Invemar.

## BIBLIOGRAFÍA/LITERATURE CITED

- Alvarado, J.J. 2011. Echinoderm diversity in the Caribbean Sea. *Mar. Biodiv.*, 41(2), 261-285. <https://doi.org/10.1007/s12526-010-0053-0>
- Alvarado, J.J. and F.A. Solis-Marin. (Eds.). 2013. Echinoderm research and diversity in Latin America. Springer, Berlin. 658 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20051-9>
- Álvarez L., R. 1981. Listado preliminar de los equinodermos de la costa Atlántica colombiana. *Bol. Mus. Mar.*, 10: 24-39.
- Benavides-Serrato, M., G.H. Borrero-Pérez, Ó.D. Solano y G.R. Navas. 2005. Listado taxonómico de los asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) de la plataforma y el talud superior del Caribe colombiano. *Rev. Biol. Trop.*, 53(3): 171-194.
- Benavides-Serrato, M., G.H. Borrero-Pérez y C.M. Díaz-Sánchez. 2011. Equinodermos del Caribe colombiano I: Crinoidea, Asteroidea y Ophiuroidea. *Serie Publ. Espec. Invemar*, (22). 384 p.
- Clark, A.M. and M.E. Downey. 1992. Starfishes of the Atlantic. Chapman & Hall, London. 168 p.
- Clark, H.L. 1922. The echinoderms of the Challenger Bank, Bermuda. *Proc. Am. Acad. Arts. Sci.*, 57(13), 353. <https://doi.org/10.2307/20025925>
- Díaz, J.M. and A. Acero P. 2003. Marine biodiversity in Colombia: Achievements, status of knowledge, and challenges. *Gayana (Concepción)*, 67(2): 261-274. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382003000200011>
- Downey, M.E. 1973. Starfishes from the Caribbean and Gulf of Mexico. *Smithson. Contr. Zool.*, 126. 168 p.
- GBIF. 2019. GBIF occurrence download. <https://doi.org/10.15468/dl.2sjjy0>
- Orrell, T. 2019. NMNH extant specimen records. Version 1.23. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. Occurrence dataset. <https://doi.org/10.15468/hnhrg3>
- Pawson, D. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*, 1668: 749-764.
- Pérez-Ruzafa, A., J.J. Alvarado, F.A. Solis-Marín, J.C. Hernández, A. Morata, C. Marcos, M. Abreu-Pérez, O. Aguilera, J. Alió, J.J. Bacallado-Aránega, E. Barraza, M. Benavides-Serrato, F. Benítez-Villalobos, L. Betancourt-Fernández, M. Borges, M. Brandt, M.I. Brogger, G.H. Borrero-Pérez, B.E. Buitrón-Sánchez, L.S. Campos, J.R. Cantera, S. Clemente, M. Cohen-Renjifo, S.E. Coppard, L.V. Costa-Lotufo, R. del Valle-García, M.E. Díaz de Vivar, J.P. Díaz-Martínez, Y. Díaz, A. Durán-González, L. Epherra, M. Escolar, V. Francisco, C.A. Freire, J.E. García-Arrarás, D.G. Gil, P. Guarderas, V.F. Hadel, A. Hearn, E.A. Hernández-Delgado, A. Herrera-Moreno, M.D. Herrero-Pérez, Y. Hooker, M.B.I. Honey-Escandón, C. Lodeiros, M. Luzuriaga, C.L.C. Manso, A. Martín, M.I. Martínez, S. Martínez, L. Moro-Abad, E. Mutschke, J.C. Navarro, R. Neira, N. Noriega, J.S. Palleiro-Nayar, A.F. Pérez, E. Prieto-Ríos, J. Reyes, R. Rodríguez-Barreras, T. Rubilar, T.I. Sancho-Mejías, C. Sangil, J.R.M.C. Silva, J.I. Sonnenholzner, C.R.R. Ventura, A. Tablado, Y. Tavares, C.G. Tiago, F. Tuya and S.M. Williams. 2013. Latin America echinoderm biodiversity and biogeography: patterns and affinities. 511-542. In: Alvarado, J.J. and F.A. Solis-Marin. (Eds.). Echinoderm research and diversity in Latin America. Springer, Berlin. 658 p. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20051-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20051-9_16)
- Tommasi, L.R. 1971. Equinodermes do Brasil. I. Sobre algumas espécies novas e outras pouco conhecidas, para o Brasil. *Bol. Inst. Oceanogr.*, 20: 1-21.





## NOTA/NOTE

# Presencia de la raya chupare del Pacífico *Styracura pacifica* en Colombia y ampliación de su distribución geográfica en el Pacífico Oriental Tropical

## Occurrence of the Pacific chupare stingray *Styracura pacifica* in Colombia and extension of its geographical range in the Tropical Eastern Pacific

Melissa Scheel Dalmau<sup>1</sup>, Manuel Camilo Velandia<sup>1</sup>, Juan Manuel Díaz<sup>1</sup>, Andrés Felipe Navia<sup>2</sup> y Paola Andrea Mejía-Falla<sup>2,3\*</sup>

0000-0001-9102-1058

0000-0003-4243-3456

0000-0002-2026-6522

0000-0002-6758-7729

0000-0003-2220-6969

1. Fundación MarViva, Bogotá, Colombia. melissa.scheel@marviva.net, manuel.velandia@marviva.net, juan.diaz@marviva.net
  2. Fundación Colombiana para la Investigación y Conservación de Tiburones y Rayas (*Squalus*), Cali, Colombia. anavia@squalus.org
  3. Wildlife Conservation Society (WCS), Cali, Colombia. pamejia@wcs.org\*
- \* Autora de correspondencia.

## RESUMEN

Se confirma la presencia de la raya chupare del Pacífico *Styracura pacifica* en el Pacífico colombiano. Esta especie, junto con *S. schmardae* en el Atlántico, son los únicos representantes de la familia Potamotrygonidae que habitan en aguas marinas y salobres. La distribución confirmada de la especie se limitaba a las costas del Pacífico de Centroamérica, entre el sur de México y Panamá; por tanto, el presente registro extiende su distribución en el Pacífico Oriental Tropical en unos 470 km hacia el sur.

**PALABRAS CLAVE:** Potamotrygonidae, raya coluda del Pacífico, pesca artesanal

## ABSTRACT

The presence of the Pacific chupare stingray *Styracura pacifica* in the Colombian Pacific is confirmed. This species together with *S. schmardae* in the Atlantic are the only representatives of the Potamotrygonidae family that inhabit in marine and brackish waters. The confirmed distribution of the species was limited to the Pacific coasts of Central America, between southern Mexico and Panama; therefore, the present record extends its distribution to the Eastern Tropical Pacific by about 470 km to the south.

**KEYWORDS:** Potamotrygonidae, Pacific whiptail stingray, artisanal fishing



La familia Potamotrygonidae es endémica de la región neotropical y actualmente está dividida en dos subfamilias: Potamotrygoninae y Styracurinae (Carvalho *et al.*, 2016). En la subfamilia Potamotrygoninae se reconocen hoy en día cuatro géneros y 41 especies dulceacuícolas distribuidas exclusivamente en Suramérica (Silva y Loboda, 2019). Con base en las filogenias resultantes de estudios morfológicos y moleculares, la subfamilia Styracurinae y su único género, *Styracura*, fueron erigidos recientemente por Carvalho *et al.* (2016) para *Trygon schmardae* Werner, 1904 (especie tipo) y *Dasyatis pacificus* Beebe y Tee-Van, 1941, ambas ubicadas previamente en el género *Himantura* Müller y Henle 1837. A diferencia de las rayas de agua dulce (Potamotrygoninae), las dos especies reconocidas de Styracurinae, *Styracura pacifica* (raya chupare del Pacífico) y *S. schmardae* (raya chupare del Atlántico), habitan aguas marinas y salobres poco profundas, especialmente en estuarios y manglares (Lovejoy *et al.*, 2006; Last *et al.*, 2016; Palmeira y Nunes, 2020). Poco se conoce de su biología y su dieta (Last *et al.*, 2016), y dada su gran similitud morfológica, se las considera especies anfiamericanas (Lovejoy, 1996; Carvalho *et al.*, 2016).

*Styracura pacifica* ha sido registrada a lo largo de la costa del Pacífico de Centroamérica, desde Oaxaca (México) hasta Panamá, en fondos fangosos y planos de lodo de poca profundidad (hasta 30 m) (Robertson y Allen, 2015). Su presencia alrededor de las islas Galápagos (Allen y Robertson, 1994; McCosker y Rosenblatt, 2010; Hearn *et al.*, 2014) parece dudosa y requiere ser confirmada. Esta especie ha sido incluida en listados de elasmobranchios de Colombia (Mejía-Falla *et al.*, 2007; Mejía-Falla y Navia, 2019) a partir de registros en documentos previos; sin embargo, a la fecha no se contaba con ejemplares *voucher* o de soporte para la plena confirmación de su presencia en el Pacífico colombiano.

A lo largo del Pacífico colombiano, las pesquerías artesanales interactúan con varias especies de rayas, entre las que se destacan las familias Dasyatidae, Rhinobatidae y Aetobatidae, todas ellas con importancia local para su consumo y comercialización (Mejía-Falla *et al.*, 2017). A partir de los monitoreos pesqueros participativos en la zona costera del área marina protegida (AMP) “Encanto de los manglares del Bajo Baudó (EMBB)”, Chocó, llevados a cabo por la Fundación MarViva (2018) y Wildlife Conservation Society (WCS, 2019-2020), se registró la presencia de una especie de raya, menos común, pero consumida localmente y conocida como “raya corroñosa”

The Potamotrygonidae family is endemic to the Neotropical region and is currently divided into two subfamilies, Potamotrygoninae and Styracurinae (Carvalho *et al.*, 2016). For the Potamotrygoninae subfamily four genera and 41 freshwater species are currently recognized, exclusively distributed in South America (Silva and Loboda, 2019). Based on the phylogenies resulting from morphological and molecular studies, the Styracurinae subfamily and its only genus, *Styracura*, were recently erected by Carvalho *et al.* (2016) for *Trygon schmardae* Werner, 1904 (type species) and *Dasyatis pacificus* Beebe and Tee-Van, 1941, both previously located in the genus *Himantura* Müller and Henle 1837. Unlike freshwater stingrays (Potamotrygoninae), the two recognized species of Styracurinae, *Styracura pacifica* (Pacific chupare stingray) and *S. schmardae* (Caribbean whiptail stingray) inhabit shallow marine and brackish waters, especially in estuaries and mangroves (Lovejoy *et al.*, 2006; Last *et al.*, 2016; Palmeira and Nunes, 2020). Little is known of their biology and diet (Last *et al.*, 2016), and given their high morphological similarity, they are considered Amphi-American species (Lovejoy, 1996; Carvalho *et al.*, 2016).

*Styracura pacifica* has been recorded along the Pacific coast of Central America, from Oaxaca, Mexico, to Panama, in muddy bottoms and shallow mudflats (up to 30 m) (Robertson and Allen, 2015). However, its presence around the Galapagos Islands (Allen and Robertson, 1994; McCosker and Rosenblatt, 2010; Hearn *et al.*, 2014) seems doubtful and needs to be confirmed. This species has been included in lists of elasmobranchs of Colombia (Mejía-Falla *et al.*, 2007; Mejía-Falla and Navia, 2019) based on records included in previous documents; nonetheless, to date, there were no voucher or support specimens for the full confirmation of their presence in the Colombian Pacific coast.

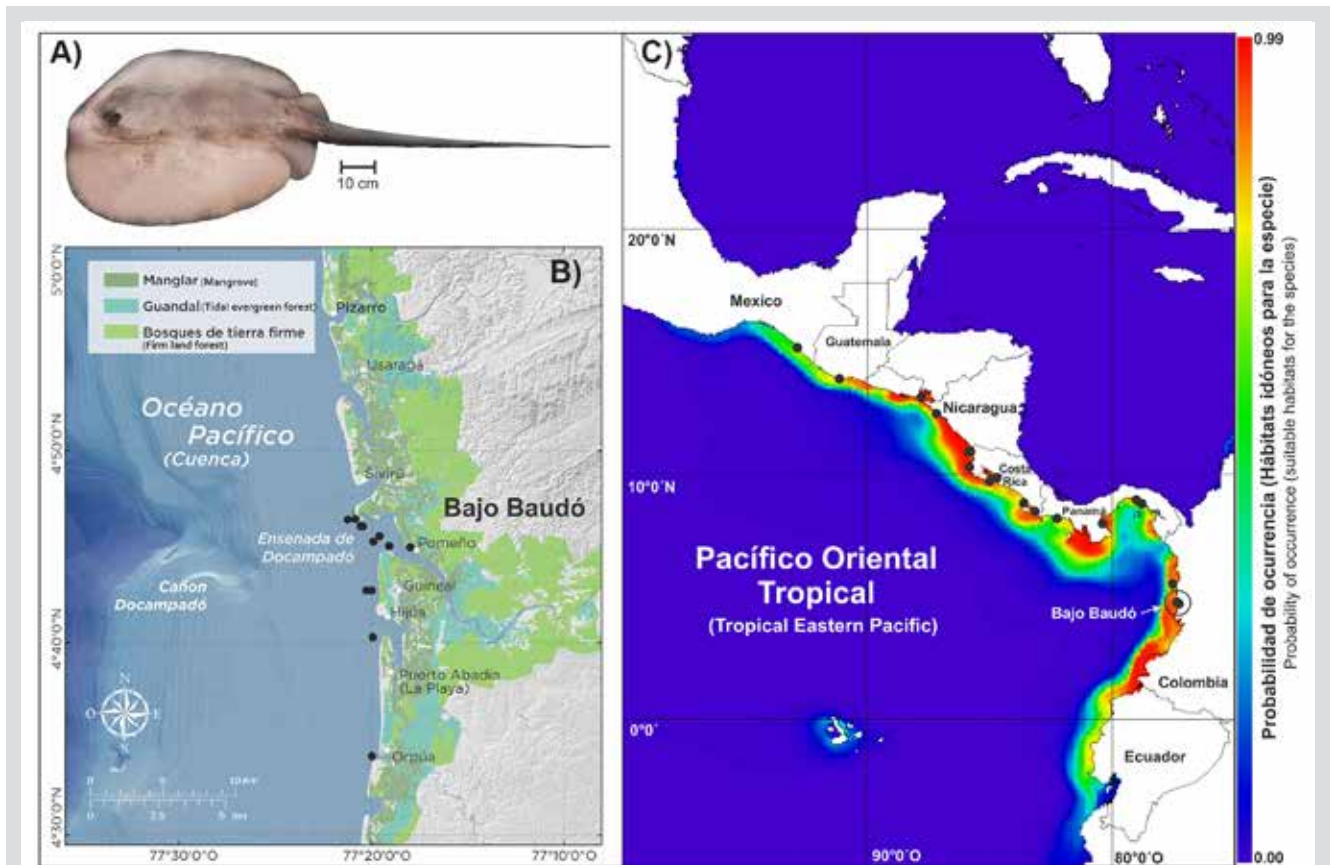
Throughout the Colombian Pacific, artisanal fisheries interact with several species of batoids, among which the families Dasyatidae, Rhinobatidae, and Aetobatidae stand out, all of them with local importance for their consumption and marketing (Mejía-Falla *et al.*, 2017). From the participatory fisheries monitoring in the coastal zone of the Marine Protected Area (MPA) “Encanto de los manglares del Bajo Baudó (EMBB)”, Chocó, carried out by Fundación MarViva (2018) and Wildlife Conservation Society (WCS, 2019-2020), the presence of a species of stingray, less common, but consumed locally and known as “raya corroñosa” or “raya lenguada” was recorded. This

o “raya lengua”. Esta especie no figuraba en los registros previos de recursos pesqueros de la autoridad de pesca colombiana, probablemente debido a su registro con nombres vernaculares que enmascaran las capturas de especies poco comunes dentro de otras más frecuentes y con algunas similitudes morfológicas, como aquellas de la familia Dasyatidae.

Los especímenes examinados de estas rayas (Figura 1A, “raya corroñosa”) coincidieron con la descripción de la raya chupare del Pacífico, *Styracura pacifica* (Carvalho *et al.*, 2016). Un total de 23 especímenes de esta especie fueron capturados en faenas de pesca realizadas por pescadores de las comunidades de Pomeño y Punta Hijuá, entre marzo de 2018 y febrero de 2020. Las capturas se hicieron en zonas estuarinas, someras (entre 2 y 11 m de profundidad) y de arena lodosa, la mayoría en inmediaciones de la desembocadura del río Docampadó (Figura 1B). La mayoría de los especímenes (20) fueron capturados con palangres calados a fondo o a media agua, con 40 a 400

species did not appear in the previous records of fishery resources of the Colombian fisheries authority, probably due to its registry using vernacular names, which mask the catches of rare species within more frequent ones and with some morphological similarities, such as those of the family Dasyatidae.

The specimens examined for these rays (Figure 1A, “raya corroñosa”) coincided with the description of the Pacific chupare stingray, *Styracura pacifica* (Carvalho *et al.*, 2016). A total of 23 specimens of this species were caught in fishing operations carried out by fishers from the communities of Pomeño and Punta Hijuá, between March 2018 and February 2020. Catches were carried out in estuarine areas, shallow waters (between 2 and 11 m of depth) and muddy bottoms, mainly in the vicinity of the mouth of the Docampadó River (Figure 1B). Most of the specimens (20) were caught with longlines set at the bottom or at middle water, equipped with 40 to 400 J-type hooks, of sizes 6, 7 and 8, and using Pacific anchoveta (*Cetengraulis*



**Figura 1.** A) Ejemplar de “raya corroñosa” *Styracura pacifica*. B) Localidades de colecta de *S. pacifica* en el Bajo Baudó. C) Mapa de hábitats idóneos para la ocurrencia de *S. pacifica* en el Pacífico Oriental Tropical (POT). El color rojo indica máxima probabilidad (1) y el azul oscuro mínima probabilidad (0) de ocurrencia.

**Figure 1.** A) Specimen of *Styracura pacifica* or “raya corroñosa” [Spanish]. B) Collecting locations for *S. pacifica* in Bajo Baudó. C) Map of suitable habitats for the occurrence of *S. pacifica* in the Tropical Eastern Pacific (TEP). The red color indicates maximum probability (1) and dark blue indicates minimum probability (0) of occurrence.

anzuelos tipo J, número 6, 7 y 8, y utilizando carduma (*Cetengraulis mysticetus*) y peyón (*Ilisha fuerthii*) como carnada. Los otros tres especímenes fueron capturados con redes de enmalle de 180 m de longitud, dos de ellas con ojo de malla de 18 cm y la otra de 9 cm.

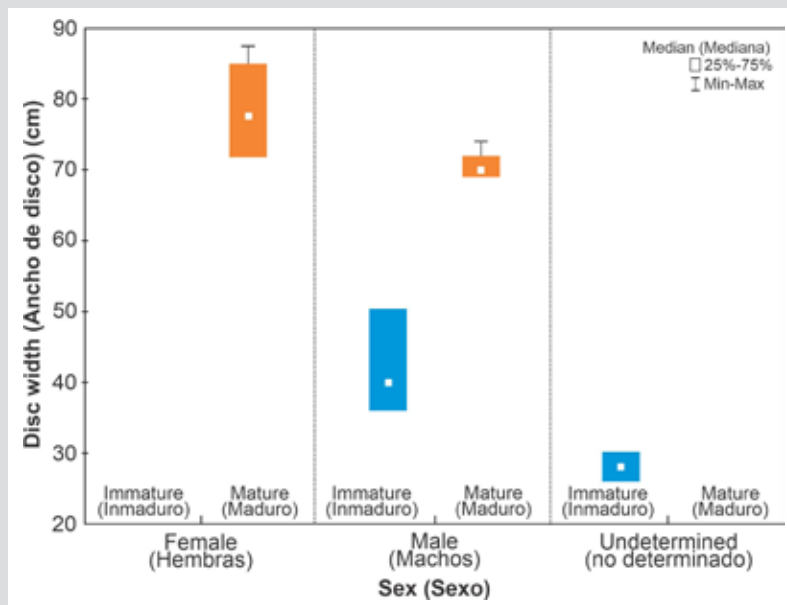
Los especímenes presentaron ancho de disco (AD) entre 26,0 y 87,5 cm y longitud de disco entre 49,0 y 87,5 cm. La longitud total (LT) solo logró medirse en tres especímenes (148 cm, 167 cm y 185 cm), debido a que a los demás se les había cortado la cola, práctica común de los pescadores para facilitar la remoción de las redes y/o evitar heridas al manipular los animales. La longitud total registrada para dos de los tres especímenes supera la longitud máxima conocida para *S. pacifica* en la literatura (157 cm; Robertson y Allen, 2015). Así mismo, 15 especímenes presentaron AD mayores a 62 cm, AD máximo registrado previamente por Robertson y Allen (2015).

El peso de 10 especímenes varió entre 1,8 y 23 kg. De los 23 especímenes, 11 fueron hembras, 9 machos y a los otros 3 no se les identificó el sexo. Las hembras presentaron tallas y pesos mayores que los machos. El AD de las hembras varió entre 54,5 y 87,5 cm y su peso entre 12 y 23 kg. Entre tanto, el AD de los machos varió entre 36 y 74 cm y su peso entre 1,8 y 15 kg. Las hembras con AD mayor a 71,8 cm y los machos con AD mayor a 69 cm estaban maduros mientras que aquellos especímenes de menor talla (26 y 30,2 cm de AD) estaban inmaduros (Figura 2).

*mysticetus*) and Pacific ilisha (*Ilisha fuerthii*) as bait. The other three specimens were captured with 180 m long gillnets, two of them with a 18 cm mesh eye, and the third one with a 9 cm mesh eye.

The specimens had a disc width (DW) between 26.0 and 87.5 cm and a disc length between 49.0 and 87.5 cm. The total length (TL) could only be measured in three specimens (148 cm, 167 cm, and 185 cm), because the others had their tails cut off, a common practice carried out by fishers to facilitate the removal of nets and/or avoid injuries when handling animals. The total length recorded for two of the three specimens exceeds the known maximum length for *S. pacifica* in the literature (157 cm; Robertson and Allen, 2015). Further, 15 specimens showed DW wider than 62 cm, i.e., the maximum DW value previously reported by Robertson and Allen (2015).

The weight of 10 specimens ranged from 1.8 to 23 kg. Of the 23 specimens, 11 were female, nine were male, and on the other three, their sex could not be identified. Females showed larger sizes and weights than males. The DW of the females varied between 54.5 and 87.5 cm, and their weight between 12 and 23 kg, while the males varied between 36 and 74 cm DW and between 1.8 and 15 kg of total weight. Females larger than 71.8 cm DW and males larger than 69 cm DW were mature, while those smaller specimens (26 and 30.2 cm DW) were immature (Figure 2).



**Figura 2.** Tallas y madurez registrados por sexo para los especímenes de *Styracura pacifica* capturados en Bajo Baudó.

**Figure 2.** Sizes and maturity recorded by sex for the *Styracura pacifica* specimens captured in Bajo Baudó.

*Styracura pacifica* no ha sido registrada adecuadamente en el Pacífico Oriental Tropical (POT). Se dispone de tan solo 33 hallazgos georreferenciados, distribuidos de manera dispersa desde la costa más meridional del Pacífico mexicano (estados de Oaxaca y Chiapas; Castro-Aguirre y Espinosa-Pérez, 1996) hasta la desembocadura del río Chepo en la bahía de Panamá (Robertson y Allen, 2015). El presente registro permite confirmar que la distribución de la especie se extiende al menos 470 km más hacia el sur (Figura 1C) y que la extensión de su presencia es de 42 411 km<sup>2</sup>, lo que representa un valor bajo comparado con otras especies de elasmobranchios del POT (Mejía-Falla y Navia, 2011). Sin embargo, el análisis de distribución potencial, basado en los registros conocidos y datos ambientales (Tyberghein *et al.*, 2012) aplicando Maxent en ModestR (García-Roselló *et al.*, 2013), sugiere que *S. pacifica* dispone de hábitats adecuados para distribuirse de manera continua desde el sur de México hasta casi el golfo de Guayaquil (Ecuador) (Figura 1C). Así mismo, la probabilidad de ocurrencia de *S. pacifica* en el POT está influenciada principalmente por productividad primaria promedio y salinidades bajas.

Finalmente, dado el bajo número de registros en la región, su distribución limitada, el poco conocimiento sobre su biología, la degradación de los manglares (López-Angarita *et al.*, 2016) y su posible interacción con pesquerías artesanales a lo largo del POT, es probable que *S. pacifica* requiera acciones de manejo específicas, adicionales a aquellas conferidas por su presencia en AMP como el EMBB.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los habitantes, pescadores y tomadores de información pesquera de las comunidades del Bajo Baudó por su colaboración en la obtención de las muestras y registros pesqueros, especialmente al consejo comunitario de la Costa Pacífica, Concosta. A Juliana López y Diego Amariles por el apoyo en el trabajo de campo. A Codechocó, a Corparién y a los consejos comunitarios por permitirnos formar parte de los procesos en su territorio. A la AUNAP y a la Universidad del Magdalena por su colaboración en la implementación de los programas de monitoreo pesquero. A MPA Fund de Wildlife Conservation Society, a la Fundación Santo Domingo y a PLAN Internacional por la cofinanciación de los proyectos que permitieron la obtención de información y de las muestras incluidas en este documento.

*Styracura pacifica* has not been adequately recorded in the Tropical Eastern Pacific (TEP). Only 33 geo-referenced records are available, dispersedly distributed from the southernmost coast of the Mexican Pacific (states of Oaxaca and Chiapas, Castro-Aguirre and Espinosa-Pérez, 1996) to the mouth of the Chepo River in Panama bay (Robertson and Allen, 2015). The current record confirms that the distribution range of the species extends at least 470 km further south (Figure 1C) and that the extent of its presence is 42,411 km<sup>2</sup>, representing a low value compared to other elasmobranch species of the TEP (Mejía-Falla and Navia, 2011). However, the potential distribution analysis based on known records and environmental data (Tyberghein *et al.*, 2012) applying Maxent in ModestR (García-Roselló *et al.*, 2013), suggests that *S. pacifica* has suitable habitats to distribute continuously from southern Mexico to almost the gulf of Guayaquil in Ecuador (Figure 1C). Moreover, the probability of occurrence of *S. pacifica* in the TEP is mainly influenced by average primary productivity and low salinities.

Finally, considering the low number of records in the region, its limited distribution, little knowledge about its biology, the degradation of mangroves (López-Angarita *et al.*, 2016), and its possible interaction with artisanal fisheries throughout the TEP, it is probably that *S. pacifica* requires specific management actions, additional to those conferred by its presence in MPAs such as the EMBB.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the inhabitants, fishers, and fishery information collectors of the communities of Bajo Baudó for their collaboration in obtaining samples and fishing records, especially to Community Council of the Pacific Coast, Concosta. To Juliana López and Diego Amariles for supporting fieldwork. To Codechocó, Corparien, and the community councils for allowing us to take part in the processes carried out in their territories. To AUNAP and Universidad del Magdalena for their collaboration in the implementation of fishery monitoring programs. To the MPA Fund of the Wildlife Conservation Society, Fundación Santo Domingo, and PLAN Internacional for co-financing the projects that allowed obtaining information and samples mentioned in this paper.



## BIBLIOGRAFÍA/LITERATURE CITED

- Allen, G.R. and D.R. Robertson. 1994. Fishes of the Tropical Eastern Pacific. University of Hawaii Press, Honolulu. 332 p.
- Beebe, W. and J. Tee-Van. 1941. Eastern Pacific expeditions of the New York Zoological Society. XXVIII. Fishes from the Tropical Eastern Pacific. Part 3. Rays, Mantas and Chimaeras. Zool. Sci. Contrib. N. Y. Zool. Soc., 26(3): 245-280.
- Castro-Aguirre, J.L. y H. Espinosa Pérez. 1996. Listados faunísticos de México. VII. Catálogo sistemático de las rayas y especies afines de México (Chondrichthyes: Elasmobranchii: Rajiformes: Batoideiomorpha). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 75 p.
- Carvalho, M.R. de, T.S. Loboda, and J.P.C.B da Silva. 2016. A new subfamily, Styracurinae, and new genus, *Styracura*, for *Himantura schmardae* (Werner, 1904) and *Himantura pacifica* (Beebe & Tee-Van, 1941) (Chondrichthyes: Myliobatiformes). Zootaxa, 4175(3): 201-221.
- García-Roselló, E., C. Guisande, J. González-Dacosta, J. Heine, P. Pelayo-Villamil, A. Manjarrés-Hernández, A. Vaamonde, and C. Granado-Lorencio. 2013. ModestR: a software tool for managing and analyzing species distribution map databases. Ecography, 36: 1202-1207.
- Hearn, A.R., D. Acuña, J.T. Ketchum, C. Peñaherrera, J. Green, A. Marshall, M. Guerrero, and G. Shillinger. 2014. Elasmobranchs of the Galapagos Marine Reserve. 23-59. In: Denkinger, J. and L. Vinuesa. (Eds.). The Galapagos Marine Reserve, a dynamic social-ecological system. Springer, New York. 314 p.
- Last, P.R., W.T. White, M.R. Carvalho, B. Séret, M.F.W. Stehmann, and G.J.P. Naylor. 2016. Rays of the world. CSIRO Publishing, Melbourne. 789 p.
- López-Angarita, J., C.M. Roberts, A. Tilley, J.P. Hawkins, and R.G. Cooke. 2016. Mangroves and people: Lessons from a history of use and abuse in four Latin American countries. Forest Ecol. Manag., 368: 151-162.
- Lovejoy, N.R. 1996. Systematics of myliobatoid elasmobranchs: with emphasis on the phylogeny and historical biogeography of neotropical freshwater stingrays (Potamotrygonidae: Rajiformes). Zool. J. Linnean Soc., 117: 207-257.
- Lovejoy, N.R., J.S. Albert, and W.G.R. Crampton. 2006. Miocene marine incursions and marine/freshwater transitions: Evidence from Neotropical fishes. J. S. Am. Earth Sci., 21(1-2): 5-13.
- McCosker, J.E. and R.H. Rosenblatt. 2010. The fishes of the Galápagos Archipelago: An update. Proc. Calif. Acad. Sci., 61(4), Suppl. II, n.º 11: 167-195.
- Mejía-Falla, P.A. and A.F. Navia. 2011. Relationship between body size and geographic range size of elasmobranchs from the Tropical Eastern Pacific: An initial approximation for their conservation. Cien. Mar., 37(3): 305-321.
- Mejía-Falla, P.A. and A.F. Navia. 2019. Checklist of marine elasmobranchs of Colombia. Univ. Sci., 24(1): 241-276.
- Mejía-Falla, P.A., A.F. Navia, L.M. Mejía-Ladino, A. Acero P. y E.A. Rubio. 2007. Tiburones y rayas de Colombia (Pisces Elasmobranchii): lista actualizada, revisada y comentada. Bol. Investig. Mar. Costeras, 36: 111-149.
- Mejía-Falla, P.A., A.F. Navia, V. Ramírez-Luna, M.A. Orozco, D. Gómez, D. Amariles, L.A. Muñoz y K. Torres-Palacios. 2017. Cadena productiva y trazabilidad del recurso tiburón en Colombia. Informe técnico. Fundación Squalus-AUNAP, Cali. 165 p.
- Müller, J. and F.G.J. Henle. 1837. Ueber die Gattungen der Plagiostomen. Archive für Naturgeschichte, 3: 394-401.
- Palmeira, A.R.O. and J.L.S. Nunes. 2020. The mystery of *Styracura schmardae* stingrays from the Brazilian Amazon coast. Examines Mar. Biol. Oceanogr., 3(2): 1-2.
- Robertson, D.R. y G.R. Allen. 2015. Peces costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de información en línea. Versión 2.0. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa.
- Silva, J.P.C.B. and T.S. Loboda. 2019. *Potamotrygon marquesi*, a new species of Neotropical freshwater stingray (Potamotrygonidae) from the Brazilian Amazon Basin. J. Fish Biol., 95: 594-612.
- Tyberghein, L., H. Verbruggen, K. Pauly, C. Troupin, F. Mineur, and O. De Clerck. 2012. Bio-Oracle: a global environmental dataset for marine species distribution modelling. Global Ecol. Biogeogr., 21(2): 272-281.
- Werner, F. 1904. Die Fische der zoologisch-vergleichend-anatomischen Sammlung der Wiener Universität. I. Teil. Cyclostomen, Chondropterygier, Ganoiden, Dipnoer. Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere (Jena), 21(3): 263-302.

RECIBIDO/RECEIVED: 27/06/2020

ACEPTADO/ACCEPTED: 02/09/2020





## Guía de autores/Author's guide

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* (título abreviado: Bol. Investig. Mar. Costeras) es una publicación indexada de acceso abierto, periodicidad semestral y arbitrada bajo la modalidad ciego. Está dirigida a la comunidad científica y a las personas relacionadas con temas medioambientales en zonas marino-costeras, con particular énfasis en América tropical. Considera para su publicación trabajos inéditos sobre cualquier tópico de investigación en el mar o en ambientes acuáticos de la zona costera, realizados en las áreas tropicales y subtropicales de América.

La revista es editada desde 1967 por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (INVEVAR). Hasta el volumen 8 llevó el nombre de *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín* y entre los volúmenes 9 y 24 se denominó *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras*. A partir del año 2008 se publican dos números por volumen anual, periodicidad que se mantiene hasta la fecha. El primer número se publica en el mes de junio y el segundo, en el mes de diciembre.

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* únicamente considera para publicación trabajos originales, es decir, aquellos que incluyan resultados significativos que no hayan sido publicados ni estén siendo considerados para publicación en otra revista. Se reciben artículos de investigación, notas científicas y artículos de revisión que compilen y resuman adecuadamente el trabajo en un campo particular y señalen líneas de investigación a seguir. La revista se publica en inglés y español en formato PDF. Cuenta con una versión digital que puede ser consultada en [www.invevar.org.co/boletin](http://www.invevar.org.co/boletin) y con una versión impresa que es distribuida nacional e internacionalmente a través del sistema de canje y donación. La revista se encuentra indexada en Scopus desde 2016 (Q4 del Scimago Journal Ranking en la categoría “Animal Science and Zoology”) y en Publindex (categoría B).

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* es una publicación de acceso abierto, por lo que no existen cargos para lectura o descarga de información, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global de conocimiento. Su distribución y divulgación es libre, siempre y cuando se respeten los respectivos créditos de los manuscritos. Los autores no deben pagar por someter o publicar sus manuscritos, a excepción de los costos de impresiones a color descritos más adelante en esta guía. Se tendrán en cuenta los manuscritos ajustados al siguiente formato:

**Idiomas:** español e inglés americano. El Boletín recibe artículos en sometimiento escritos en ambos idiomas o en uno solo. En este último caso, el resumen, el *abstract* y las palabras clave deben ser enviados originalmente en español e inglés americano. Por su parte, las notas científicas deben ser sometidas en ambos idiomas. A partir del año 2021, las disposiciones sobre la traducción de los artículos que culminen satisfactoriamente el proceso editorial serán informadas a través del sitio web del Boletín. Los autores no podrán retirar el manuscrito una vez este haya sido aceptado.

**Presentación:** para someter su artículo, debe cargarlo junto a la carta de sometimiento a través de la página. Puede hacerlo registrándose en el sitio web o ingresando con su usuario y contraseña, si ya cuenta con uno. El archivo debe ir en un solo archivo en formato Word (.doc ó .docx), con las tablas y figuras incluidas (inicialmente en baja resolución). La carta de sometimiento debe ir en formato PDF *debidamente firmada*, al menos, por el líder de correspondencia, conforme el formato disponible para descarga en el sitio web, en la sección “Guía de autores”. Si el manuscrito es aceptado para publicación, se solicitará a los autores el envío de las gráficas en formato editable (.xml [excel], .eps o .pdf vectorial) y con los textos en español e inglés americano, así como las fotos en formato JPG o TIF, con

*Bulletin of Marine and Coastal Research* (title abbreviation: Bull. Mar. Coast. Res.) is an open-access, semi-annual, indexed publication, refereed under the single-blind modality. It is aimed at the scientific community and people related to environmental issues in coastal and marine areas, with particular emphasis on tropical America. It considers unedited works about research topics on the sea or coastal aquatic environments, undertaken in the tropical and subtropical areas of the Americas.

The journal is edited since 1967 by the “José Benito Vives de Andrés” Marine and Coastal Research Institute (INVEVAR). Until volume 8 it was called *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín*, and between volumes 9 and 24, it was called *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras*. Since 2008, two issues are published per annual volume, a frequency that has been maintained to date. The first issue is published in June and the second in December.

*Bulletin of Marine and Coastal Research* only considers for publication original works, that is, those that include significant results that have not been published nor are being considered for publication in another journal. Research articles, scientific notes, and review articles are received that adequately compile and summarize work in a particular field and indicate lines of research to be followed. The journal is published in English and Spanish in PDF format. It has a digital version that can be consulted at [www.invevar.org.co/boletin](http://www.invevar.org.co/boletin) and a printed version that is distributed nationally and internationally through the exchange and donation system. The journal is indexed on Scopus since 2016 (Q4 Scimago Journal Ranking on “Animal Science and Zoology” category) and on Publindex (category B).

The Bulletin is an open-access journal, so there is no charge for reading or downloading information, based on the principle that providing free access to research helps to increase global knowledge exchange. Its distribution and dissemination are free, respecting each credit and authorship of the manuscripts. Authors do not pay for submitting or publishing a manuscript, except color prints as mentioned in this guide. Authors should follow the subsequent instructions:

**Languages:** Spanish and American English. The Bulletin receives articles in submissions written in both languages or in one language only. In the latter case, the *abstract* and keywords must be submitted originally in Spanish and American English. Scientific notes must be submitted in both languages. From 2021, the instructions on the translation of articles that successfully complete the editorial process will be reported through the Bulletin’s website. Authors will not be able to withdraw their manuscript once it has been accepted.

**Presentation:** To submit your article, you must upload it together with the complementary files through the page. You must register on the website or enter with your user and password if you already have one. The file must be in a single file in Word format (.doc or .docx), with the tables and figures included (initially in low resolution). The letter of submission must be in PDF format, *duly signed* by, at least, the correspondence leader, according to the format available for download on the website, in the “Author’s Guide” section. If the manuscript is accepted for publication, the authors will be asked to send the graphics in an editable format (.xml [excel], .eps or .pdf vectorial) and with the texts in Spanish and American English, as well as the photos in JPG or TIF format, with a resolution of at least 360 dpi. Colors must correspond to the CMYK scale.

una resolución de, al menos, 360 dpi. Los colores deben corresponder a la escala CMYK.

#### FORMATO:

**Fuente:** Times New Roman, tamaño 11, configuración de página tamaño carta e interlineado a doble espacio.

**Márgenes:** izquierdo y superior de 3 cm y derecho e inferior de 2 cm como mínimo.

**Títulos:** en negrilla. El *título del trabajo* debe ir en altas y bajas y centrado. Además, ha de incluir al comienzo del *abstract* una traducción fiel al inglés cuando el manuscrito sea en español y viceversa cuando sea en inglés. Los títulos de *primer nivel* deben ir en mayúscula sostenida y centrados (aplica para los nombres científicos), dejando un espacio para comenzar el párrafo. Los títulos de *segundo nivel* deben ir en minúscula y en el centro, sin dejar espacio para comenzar el párrafo. Los títulos de *tercer nivel* deben ir en minúscula y alineados a la izquierda, sin dejar espacio para comenzar el párrafo.

**Nota:** tenga en cuenta que el título debe incitar la lectura del artículo y no ser muy extenso. El ideal son 40 caracteres. Google, por ejemplo, no lee más de 50-60 caracteres. Evite el uso de guiones, signos de admiración e interrogación.

Todas las hojas deben estar **numeradas** consecutivamente.

**Texto:** los manuscritos se deben redactar en tercera persona del singular (impersonal).

Los **artículos** deben tener una extensión máxima de 6000 palabras incluyendo figuras y tablas, pero sin contar bibliografía, resumen y *abstract*. Solo en casos excepcionales y justificados, se aceptarán manuscritos más extensos, para lo cual los autores tendrán que enviar una nueva carta de sometimiento que contenga dicha justificación. Los artículos deben tener la siguiente estructura: título, autor(es), OrcID, filiación institucional y correo electrónico de todos los autores, resumen, *abstract*, palabras clave, introducción, área de estudio, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos y bibliografía. Este formato puede ser modificado si la naturaleza del trabajo lo exige. Aquellas instituciones o empresas que tengan su nombre registrado en inglés pueden utilizar dicha versión.

Por su parte, las **notas científicas** deben tener una extensión máxima de 1500 palabras, sin contar bibliografía y sin división en secciones como los artículos. Deben venir en ambos idiomas (español e inglés americano) y tener la siguiente estructura: resumen, *abstract*, palabras clave, texto, agradecimientos y bibliografía.

**Resumen:** debe tener máximo 30 renglones en un solo párrafo y el *abstract* ha de ser una traducción fiel de lo escrito en el resumen. Ambos deben llevar al final y en renglón aparte máximo cinco (5) palabras clave escritas en minúscula, tanto en la versión en español como en inglés.

**Nota:** es importante escoger bien las palabras clave. Recuerde que cualquier persona puede encontrar su trabajo en la web por intermedio de ellas. Recomendamos revisarlas a la luz del Tesoro Marino Ambiental Costero del Centro de Documentación del INVMAR.

**Tablas:** elaboradas en procesador de texto con la opción Tabla, sin líneas verticales. La leyenda debe ir encima, en minúscula, y ser suficientemente explicativa. Las tablas deben ser numeradas consecutivamente y ubicadas conforme son citadas por primera vez dentro del texto. La información incluida en las tablas no puede aparecer repetida en las figuras.

**Figuras:** incluyen mapas, esquemas, dibujos, fotografías y láminas. La leyenda debe ir en el margen inferior, en minúscula, y ser suficientemente explicativa. Las figuras deben tener letras y símbolos en tamaño apropiado, de modo que al reducir las no pierdan su nitidez. Además, deben ser

#### FORMAT:

**Type of font:** Times New Roman, size 11, letter-size page setup, and double spaced.

**Margins:** Left and upper, 3 cm; right and lower, 2 cm.

**Titles:** Must be written in boldface type. The *manuscript title* must be written in uppercase and lowercase and centered. It should be given in both languages too. *Main titles* must be written in capital letters, centered (even scientific names), and must be one space before the first line of the text. *Subtitles* must be also centered but as lowercase letters and there, *third titles* must be written on the left side of the paper, as lower-case letter, and also with no space.

**Note:** Special attention should be given to titles. The title should be attractive and no longer than 40 characters. Google, for example, does not take titles longer than 50-60 characters. Avoid the use of hyphens, exclamation, or interrogation marks.

All pages must be **numbered** consecutively.

**Text:** Manuscripts should be written in the third person singular (impersonal).

**Articles** must have a maximum of 6000 words including tables and figures but excluded literature cited, *resumen*, and abstract. Only in exceptional and justified cases, more extensive manuscripts will be accepted, for which the authors will have to send a new letter of submission containing such justification. The text must be structured as follows: title, author(s), OrcID, institutional affiliation, author's email, abstract, abstract in Spanish (*resumen*), introduction, study area, materials and methods, results, discussion, conclusions, acknowledgments, and literature cited. This format can be modified depending on the type of work. Those institutions or companies that have a registered English name can use that English version.

**Scientific notes** must have a maximum of 1500 words (excluding literature cited), without divisions and subtitles like the long manuscripts. Notes must be submitted in two languages: Spanish and American English and divided only in the abstract, abstract in Spanish (*resumen*), text, acknowledgments, and literature cited.

**Abstract:** Must be one paragraph and should not exceed 30 lines. **Resumen** should be an exact translation of the abstract, both must include at the end a maximum of five (5) keywords in lowercase letters.

**Note:** Special attention should be paid to keywords. Remember the people can find your article on the internet through them. We recommend reviewing them in light of the Coastal Environmental Marine Thesaurus of the Invmar Documentation Center.

**Tables:** Must be processed using the Table tool as text file, without vertical lines. Table legends must be placed on the top, in lowercase letters, and present clearly the content. Tables must be enumerated consecutively and placed as they are first cited in the text. The information included in tables cannot be repeated in figures.

**Figures:** They include illustrations such as maps, schemes, pictures, photographs, and plates. Figure legends must be placed on bottom, in lowercase letters, and present clearly the content. Letters and symbols on figures should have a suitable size so that if they get reduced they will not lose their shape and details. Moreover, they must be numbered and placed as they are first cited in the text.

The journal covers the costs of publishing black and white **photographs**. If there are color images in the manuscript, the authors will have to afford color page fees\*. We suggest sending images for the first version in 72



numeradas consecutivamente y ubicadas conforme son citadas por primera vez dentro del texto.

La revista asume los costos de publicar **fotografías** en blanco y negro. Los costos de fotografías e imágenes a color deben ser asumidos por el (los) autor(es)\*. Se recomienda que en la primera versión del manuscrito se utilice una resolución de 72 dpi en escala RGB para facilitar la carga del archivo en la plataforma.

\* *El cobro de figuras a color estará sometido a cotización al momento de aceptar el manuscrito para su publicación. Es posible que no se apliquen cargos por ello. Para más información, escribir a [boletin@invemar.org.co](mailto:boletin@invemar.org.co)*

**Abreviaturas:** pueden usarse abreviaturas o símbolos comunes tales como m, cm, km, g, kg, mg, mL, L, % o °C, siempre y cuando acompañen números. Evitar los puntos al final de las abreviaturas. Todas las cifras decimales deben separarse con coma cuando el manuscrito está escrito en español y con punto cuando está escrito en inglés, excepto cuando se incluyan en tablas. En esos casos, los decimales deben ir con punto, independientemente del idioma.

**Citas:** No se aceptan citas de citas. Por ejemplo: Pérez, 2007 (En: Fernández, 2008).

Dentro del texto, debe citarse como sigue (sin usar *op. cit.*):

“La especie vive sobre sustratos rocosos y coralinos (Pérez, 1980; Darwin y Scott, 1991), aunque, según García (1992), prefiere fondos de cascajo”.

Cuando la referencia involucra a *más de dos autores*, debe citarse como Castro *et al.* (1965) o (Castro *et al.*, 1965). *et al.* debe aparecer siempre en letra cursiva.

Las **comunicaciones personales** deben evitarse en lo posible, pero serán aceptadas a juicio del editor a cargo de cada artículo, según sea el caso. Su estructura será la siguiente:

Nombre completo (punto) Institución (punto) Ciudad (coma) País (punto) Año (punto) Com. Pers.

**Referencias:** se deben incluir todas aquellas que están citadas en el texto, en orden alfabético por apellido y en orden cronológico cuando haya varios trabajos del mismo autor. El símbolo &, comúnmente usado en la literatura en inglés, deberá reemplazarse por la letra “y” o la palabra “and”, de acuerdo con el idioma de la referencia citada. La exactitud de las referencias es responsabilidad únicamente de los autores. No se admiten citas de trabajos que no hayan sido aceptados para publicación.

**Nota:** de acuerdo con los estándares internacionales, es preferible incluir el DOI en aquellas referencias que lo tengan.

Los **artículos en prensa** deben incluir el volumen, el año y el nombre de la revista en que serán publicados.

Los artículos publicados en **revistas periódicas** se deben citar de la siguiente manera:

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Nombre de la revista (coma) Volumen (dos puntos) Rango de páginas (punto).

Ejemplo: Blanco, J.A., J.C. Nárvaez y E.A. Viloria. 2007. ENSO and the rise and fall of a tilapia fishery in northern Colombia. *Fish. Res.*, 88: 100-108.

En los casos en que la referencia incluya la *totalidad de las páginas de la revista periódica*, se debe citar así:

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Nombre de la revista (coma) Volumen (coma) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Pang, R.K. 1973. The systematics of some Jamaican excavating sponges. *Postilla*, 161, 75 p.

Cuando el nombre de la revista esté formado por más de una palabra, debe abreviarse siguiendo la información presentada en [www.ncbi.nlm.nih.gov/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/)

dpi resolution, in RGB scale, so that files are not too heavy to charge in the platform.

\* *The charge for color figures will be subject to the quotation at the time of acceptance of the manuscript for publication. There may be no charge for this. For more information, write to [boletin@invemar.org.co](mailto:boletin@invemar.org.co)*

**Abbreviations:** Abbreviations may be used and also common symbols, such as m, km, g, mg, %, or °C, as long as they are next to numbers. Do not use period marks after symbols or abbreviations. All decimal numbers have to be separated by comma (Spanish version) and points (English version), except when they are included in tables. In those cases, the decimals must be with a period, regardless of the language.

**Citation style:** There are not accepted indirect references like Pérez 2007 (In: Fernández, 2008). In the text, reference the bibliography as follows, avoiding the use of *op. cit.*:

“The species lives in rocky and coral substrates (Pérez, 1980; Darwin and Scott, 1991), although following García (1992), it prefers gravel substrate.”

When the reference includes *more than two authors*, it has to be quoted as Castro *et al.* (1965) or (Castro *et al.*, 1965), with *et al.* always written in italics.

**Personal communications** should not be used but they may be accepted by the editor depending on the specific case. If they are included, they should be presented as:

Complete name (period) Institution (period) City (comma) Country (period) Year (period) Pers. Comm.

**References:** The literature cited must include all and just the references cited in the text, in alphabetical order, and in chronological order when there is more than one article by the same author(s). The symbol &, frequently used, should be changed for the word “and” or “y” according to the original language of the cited reference. The accuracy of the references is the sole responsibility of the authors. Citations of papers that have not been accepted for publication are not allowed.

**Note:** Considering international standards, please includes DOI in all references.

If a **manuscript in press** has to be cited, it should include information about the issue, year, and title of the journal of the future publication.

**Journals** must be cited in the next format:

Author (period) Year (period) Title (period) Journal’s title (comma) Volume (two points) Page rank (period).

*i.e.:* Blanco, J.A., J.C. Nárvaez y E.A. Viloria. 2007. ENSO and the rise and fall of a tilapia fishery in northern Colombia. *Fish. Res.*, 88: 100-108.

When the reference included *all pages of the journal*, must be cited in the next format:

Author (period) Year (period) Title (period) Journal’s title (comma) Volume (comma) Total number of pages (p.).

*i.e.:* Pang, R.K. 1973. The systematics of some Jamaican excavating sponges. *Postilla*, 161, 75 p.

When the journal’s title has more than one word, it should be abbreviated following the information presented at [www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog) (or at [www.abbreviations.com](http://www.abbreviations.com), when the journal is not found on the previous website). For no *listed journals*, use the complete title.

For **books**, must follow next format:

Author (period) Year (period) Title (period) Publishing house (comma) City (period) Total number of pages (p.).

nlmcatalog (o en [www.abbreviations.com](http://www.abbreviations.com), cuando en el anterior sitio web no se encuentre la revista). Para *revistas no listadas*, debe presentarse el nombre completo.

Los **libros** se deben citar de la siguiente manera:

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Editorial (coma) Ciudad (punto) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Dahl, G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Inderena, Bogotá. 391 p.

Los **capítulos de libros** se deben citar de la siguiente manera:

Autor (punto) Año (punto) Título del capítulo (punto) Rango de páginas (punto). En: Editores (punto) (Ed.). Título del libro (punto) Editorial (coma) Ciudad (punto) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Álvarez-León, R. y J. Blanco. 1985. Composición de las comunidades ictiofaunísticas de los complejos lagunares estuarinos de la bahía de Cartagena, ciénaga de Tesca y Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. 535-555. En: Yáñez-Arancibia, A. (Ed.). Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons. UNAM, México D.F. 653 p.

Las **memorias de reuniones y documentos inéditos** y de escasa divulgación (**tesis y literatura gris**) solo se citarán a criterio del editor del manuscrito.

Las **tesis** se deben citar como los libros.

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Tesis y abreviatura del programa de estudios (coma) Universidad (coma) Ciudad (punto) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Arboleda, E. 2002. Estado actual del conocimiento y riqueza de peces, crustáceos decápodos, moluscos, equinodermos y corales escleractíneos del océano Pacífico colombiano. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 125 p.

Los **informes** se citan de la siguiente manera:

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Informe final (coma) Entidad (coma) Ciudad (punto) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Pedraza, R.A., S. Suárez y R. Julio. 1979. Evaluación de captura en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final, Inderena, Bogotá. 39 p.

Los **documentos electrónicos** varían constantemente dentro de los sitios web. Por lo tanto, se prefiere que los autores citen documentos de este tipo únicamente en los casos en que sea indispensable hacerlo. Serán aceptados a juicio del editor a cargo de cada artículo. Si el documento tiene DOI, añádalo.

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) URL completa (sin punto) Fecha de consulta [DD/MM/AAA] (punto).

Ejemplo: Hammer, O., D.A.T. Harper y P.D. Ryan. 2008. PAST - Palaeontological Statistics, ver. 1.81. <http://folk.uio.no/ohammer/past/past.pdf>. 08/06/2008

#### Otras disposiciones:

- No se admiten notas de pie de página.
- Los nombres científicos de géneros y especies deben escribirse en cursiva. Todos ellos deben estar sujetos a los códigos de nomenclatura zoológica o botánica.
- Los registros taxonómicos deben hacerse siguiendo los códigos internacionales de nomenclatura, para lo cual el Boletín tiene un modelo con ejemplos, disponible para quien lo solicite.
- Las medidas se deben expresar en unidades del sistema métrico decimal. Los valores de salinidad deben presentarse sin unidades o símbolos.
- Al postular su manuscrito, los autores deben indicar su nombre completo, filiación institucional, dirección de correspondencia, correo

*i.e.*: Dahl, G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Inderena, Bogotá. 391 p.

For the **chapter of books**, must follow the next format:

Author (period) Year (period) Chapter name (period) Page rank (period). In: Editors' name (period) (Ed.). Title of the book (period) Publishing house (comma) City (period) Total number of pages (p.).

*i.e.*: Álvarez-León, R. y J. Blanco. 1985. Composición de las comunidades ictiofaunísticas de los complejos lagunares estuarinos de la bahía de Cartagena, ciénaga de Tesca y Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. 535-555. En: Yáñez-Arancibia, A. (Ed.). Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons. UNAM, México D.F. 653 p.

**Memoirs of meetings** and unpublished documents of limited circulation (**theses and grey literature**) will be cited only at the discretion of the editor of the manuscript.

**Theses** should be cited like books.

Author (period) Year (period) Title (period) Title (period) Tesis and Abbreviation of study program (comma) University (comma) City (period) Total number of pages (p.).

*i.e.*: Arboleda, E. 2002. Estado actual del conocimiento y riqueza de peces, crustáceos decápodos, moluscos, equinodermos y corales escleractíneos del océano Pacífico colombiano. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 125 p.

**Reports** are quoted as follows:

Author (period) Year (period) Title (period) Informe final (comma) Organization (comma) City (period) Total number of pages (p.).

*i.e.*: Pedraza, R.A., S. Suárez y R. Julio. 1979. Evaluación de captura en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final, Inderena, Bogotá. 39 p.

**Web documents** vary constantly. Therefore, they should be avoided as references in the manuscripts if it is not really necessary. In special cases, it will be the editor's decision to accept it or not. Add DOI whether it is possible. If they are included, they should be presented as:

Author (period) Year (period) Title (period) Complete URL (without a period) Consultation date [DD/MM/YYYY] (period).

*i.e.*: Hammer, O., D.A.T. Harper, and P.D. Ryan. 2008. PAST - Palaeontological Statistics, ver. 1.81. <http://folk.uio.no/ohammer/past/past.pdf>. 08/06/2008.

#### Other dispositions:

- Use of footnotes in the text is strongly discouraged.
- Scientific names of genera and species must be written in italics type or underlined. All of them must be subject to the zoological or botanical nomenclature.
- Taxonomic reports should be made following the international nomenclature code, for which the journal has a model with examples, available upon request.
- Measurements have to be marked using the metric system. Salinity values have to be presented without symbols or units.
- When submitting their manuscript, authors should indicate their complete name, institutional affiliation, correspondence address, e-mail, and OrcID. If one does not have it, you can get it for free at <https://orcid.org/>
- The names of at least three evaluators should be suggested for the submitted manuscript, including the necessary contact information (institutional affiliation and e-mail). It should be clarified that





electrónico y OrcID. Si alguno no lo tiene, puede obtenerlo de forma gratuita en <https://orcid.org/>

- Se deben sugerir los nombres de tres evaluadores, mínimo, para el manuscrito sometido, incluyendo la información necesaria para contactarlos (filiación institucional y correo electrónico). Es preciso aclarar que las personas sugeridas no necesariamente serán los evaluadores del manuscrito; las sugerencias están sujetas a revisión por parte del editor encargado.
- A los manuscritos publicados en el Boletín se les asignará DOI tanto en la versión electrónica como en impresa. Tener esto en cuenta para la respectiva referencia bibliográfica.

## PROCESO DE REVISIÓN

1. Los autores deben registrarse en la plataforma para obtener un usuario y contraseña y cargar el manuscrito a la plataforma. El registro se realiza una sola vez, por lo que con solo ingresar a su cuenta podrá ver el estado de su manuscrito o someter uno nuevo.
2. Junto con el artículo o nota científica, cargue la carta de sometimiento en formato PDF. Recuerde que el texto debe incluir inicialmente las figuras y tablas en baja resolución.
3. Una vez cargado el documento, este es sometido a una revisión preliminar por parte del asistente de comité editorial. Con su visto bueno, se envía invitación al comité editorial y, posteriormente, el manuscrito es asignado a un editor de sección.
4. El editor de sección define si el manuscrito pasa a evaluación por pares, si debe corregirse antes de ser evaluado o si se rechaza. Cuando el manuscrito obtiene el visto bueno del editor, pasa a evaluación por pares. Si es rechazado, los autores reciben una comunicación oficial de no aceptación del manuscrito.
5. El proceso de evaluación en el *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* es realizado por pares expertos en cada una de las temáticas que aborda la revista y se efectúa en modalidad simple ciego. Los evaluadores cuentan con 30 días calendario (contados a partir del momento en que reciben la invitación a evaluar por la plataforma) para enviar sus apreciaciones haciendo uso de la ficha de evaluación de manuscritos. Si desean hacer observaciones en el manuscrito, pueden hacerlo con el control de cambios activo y dejando comentarios al margen, siempre de forma anónima.
6. Una vez se reciben las evaluaciones, el editor determina si el manuscrito es aceptado para publicación (sin o con cambios mínimos), si requiere cambios menores o importantes, si debe pasar a una nueva ronda de evaluación o si se rechaza. Cuando el manuscrito obtiene el visto bueno del editor, los autores reciben una comunicación oficial de aceptación del manuscrito. Si es rechazado, los autores reciben una comunicación oficial de no aceptación del manuscrito. Para artículos de investigación y artículos de revisión, se emite un concepto editorial con al menos dos evaluaciones; para notas científicas, con al menos una evaluación.
7. Una vez aprobado para publicación, se inicia la edición y producción del manuscrito, que incluye las fases de corrección de estilo, traducción, maquetación y pruebas de galera.
8. Publicación en línea e impresión.
9. Difusión y divulgación en línea y distribución física.

**Nota:** en cualquier parte del proceso, los autores pueden visualizar el estado de su manuscrito ingresando con su usuario y contraseña a la plataforma. El proceso editorial puede tomar alrededor de diez (10) meses. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los tiempos dependen directamente de los actores que intervienen en el proceso, esto es, autores, editores y evaluadores.

the persons suggested will not necessarily be the evaluators of the manuscript; the suggestions are subject to review by the section editor.

- The manuscripts published since this number are going to have DOI, in electronic and printed version, therefore it must be referenced.

## REVIEW PROCESS

1. Authors must register on the platform to obtain a username and password and upload the manuscript to the platform. The registration is done only once, so just by logging into your account, you can see the status of your manuscript or submit a new one.
2. Together with the article or scientific note, please upload the submission letter in PDF format. Remember that the text must initially include the figures and tables in low resolution.
3. Once the document is uploaded, it is submitted to a preliminary review by the Assistant Editorial Committee. With his approval, an invitation is sent to the editorial committee and the manuscript is then assigned to a section editor.
4. The section editor defines whether the manuscript goes to peer review, whether it must be corrected before being evaluated, or whether it is rejected. When the manuscript is approved by the editor, it goes into peer review. If it is rejected, the authors receive an official communication of non-acceptance of the manuscript.
5. The evaluation process in the *Bulletin of Marine and Coastal Research* is carried out by expert peers in each of the topics covered by the journal and is done in a single-blind modality. Evaluators have 30 calendar days (counted from the moment they receive the invitation to evaluate through the platform) to send their assessments using the manuscript evaluation form. If they wish to make comments on the manuscript, they can do so with active change control and leaving comments in the margin, always anonymously.
6. Once the evaluations are received, the editor determines whether the manuscript is accepted for publication (with or without minimal changes), whether it requires minor or major changes, whether it should go into a new round of evaluation, or whether it is rejected. When the manuscript is approved by the editor, the authors receive an official communication of acceptance of the manuscript. If it is rejected, the authors receive an official communication of non-acceptance of the manuscript. The evaluation process is single-blind. For research and review articles, an editorial concept with at least two evaluations is issued; for scientific notes, with at least one evaluation.
7. Once approved for publication, the editing, and production of the manuscript begins, which includes the phases of copyediting and proofreading, translation, layout, and galley proofs.
8. Online publishing and printing.
9. On-line diffusion and distribution of copies.

**Note:** At any part of the process, authors can view the status of their manuscript by logging in with their username and password to the platform. The editorial process can take about ten (10) months. However, it must be taken into account that the times depend directly on the actors involved in the process, that is, authors, editors, and peer reviewers.



## Ética de publicación/Publication ethics

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* sigue las recomendaciones de COPE (Committee on Publication Ethics) para garantizar la transparencia en el proceso de publicación para todas las partes implicadas (autores, revisores, editores).

Las contribuciones son completa responsabilidad de sus autores, no del *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, de su cuerpo editorial o del INVEMAR. El envío de un manuscrito se entiende como una declaración explícita por parte de los autores de que se trata de un trabajo original, que no ha sido publicado ni aceptado para su publicación ni se encuentra bajo consideración en otra revista o medio de difusión científica. Si el manuscrito incluye textos, tablas o figuras con reserva de derechos, los autores declaran en la carta de sometimiento que cuentan con la autorización para su reproducción.

La revista no cobra a los autores por publicar ni paga a los pares evaluadores. Asimismo, el trabajo de nuestro comité editorial es *ad honorem*.

**Confidencialidad:** todos los manuscritos sometidos al *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* son tratados como documentos confidenciales. El comité editorial se compromete a proteger la integridad y confidencialidad del trabajo de cada autor y el anonimato de cada evaluador. Por su parte, los evaluadores se comprometen a proteger el carácter confidencial del manuscrito asignado, teniendo en cuenta que el proceso de evaluación es simple ciego, es decir, los autores desconocen la identidad de los evaluadores, pero los evaluadores conocen la identidad de los autores.

**Copyright:** el *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* está bajo la licencia de Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (BY-NC-SA 4.0).

**Declaración de conflicto de interés:** cuando los autores someten su manuscrito al *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, deben acompañar el envío con una carta de sometimiento en la que declaran, entre otras cosas, que han leído y aprobado el manuscrito remitido en su contenido, organización, presentación y orden de autoría, por lo que no existe conflicto de interés entre ellos. En la carta, los autores también pueden solicitar que una persona no sea escogida como par evaluador cuando consideran que podrían presentarse conflicto de interés.

Los miembros del comité editorial, que fungen como editores encargados dentro de la revista, tienen la responsabilidad de declarar si presentan conflicto de interés con el manuscrito asignado. De igual manera, los pares evaluadores deben declarar si presentan conflicto de intereses al conocer el nombre de los autores del manuscrito asignado, considerando que el proceso de evaluación en la revista es simple ciego.

**Responsabilidades de los autores:** los autores están obligados a participar del proceso de evaluación respetando los tiempos estipulados de revisión y cumpliendo con los plazos de entrega. Los manuscritos que tardan más de sesenta (60) días en ser entregados por los autores cuando se les soliciten correcciones se retirarán automáticamente del *Boletín* y deberán ser sometidos nuevamente, salvo casos debidamente justificados.

El sometimiento de un manuscrito debe estar acompañado por una carta dirigida al editor general de la revista, en la que los autores firman y declaran que:

- Todos han leído y aprobado el manuscrito remitido en su contenido, organización, presentación y orden de autoría, por lo que no existe conflicto de intereses.

*Bulletin of Marine and Coastal Research* follows the recommendations of COPE (Committee on Publication Ethics) to ensure transparency in the publication process for all parties involved (authors, reviewers, editors).

Contributions are the complete responsibility of their authors, not of the *Bulletin of Marine and Coastal Research*, its editorial board, or INVEMAR. Submission of a manuscript is understood as an explicit statement by the authors that it has not been published or accepted for publication in another journal or scientific dissemination medium. If the manuscript includes texts, tables, or figures with reserved rights, the authors declare in the submission letter that they have the authorization to reproduce them.

The journal does not charge for publication and does not pay peer reviewers. Also, the work of our Editorial Committee is *ad honorem*.

**Confidentiality:** All manuscripts submitted to the *Bulletin of Marine and Coastal Research* are treated as confidential documents. The Editorial Committee is committed to protecting the integrity and confidentiality of each author's work and the anonymity of each reviewer. For their part, the evaluators are committed to protecting the confidentiality of the assigned manuscript, taking into account that the evaluation process is single-blind, that is, the authors do not know the identity of the evaluators, but the evaluators know the identity of the authors.

**Copyright:** *Bulletin of Coastal and Marine Research* is under Creative Commons license BY-NC-SA 4.0.

**Declaration of conflict of interest:** When authors submit their manuscript to the *Bulletin of Coastal and Marine Research*, they must accompany the submission with a letter of submission in which they declare, among other things, that they have read and approved the submitted manuscript in its content, organization, presentation, and order of authorship, so that no conflict of interest exists between them. In the letter, the authors can also request that a person not be chosen as an evaluator couple when they consider that a conflict of interest could arise.

The members of the Editorial Board, who act as commissioned editors within the journal, have the responsibility to declare whether they have a conflict of interest with the assigned manuscript. Similarly, peer reviewers must declare whether they present a conflict of interest by knowing the name of the authors of the assigned manuscript, considering that the evaluation process in the journal is single-blind.

**Author's responsibilities:** Authors are required to participate in the evaluation process by respecting the stipulated review times and meeting deadlines. Manuscripts that take more than sixty (60) days when corrections are requested will be automatically withdrawn from the journal and must be resubmitted, except in duly justified cases.

The submission of a manuscript must be accompanied by a letter addressed to the journal's editor-in-chief, where the authors sign and declare that:

- All of them have read and approved the manuscript submitted in its content, organization, presentation, and order of authorship, so there is no conflict of interest.
- The manuscript is the result of an original work, which has not been published, is not under consideration in any publication, and will not be submitted to another journal until to know the response of the Editorial Board of the *Bulletin of Marine and Coastal Research*.
- If the manuscript is accepted, its publication, reproduction, and dissemination are authorized under the rules and license established by the journal.



- El manuscrito es resultado de un trabajo original, el cual no ha sido publicado, no se encuentra bajo consideración en ninguna publicación y no se someterá a otra revista hasta conocer la respuesta del comité editorial del *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*.
- En caso de que el manuscrito sea aceptado, se autoriza su publicación, reproducción y difusión bajo las normas y licenciamiento establecidos por la revista.
- El documento no incluye textos, tablas o figuras con reserva de derechos. Si los tuviere, se cuenta con la autorización para su uso y reproducción.
- El documento no contiene citas o transcripciones de obras que carecen de referencias bibliográficas debidamente citadas.
- Se aceptan los términos y condiciones expresados por la revista en la guía de autores.

**Responsabilidades de los evaluadores:** los evaluadores son investigadores invitados por la revista para que revisen *ad honorem* los manuscritos sometidos. Cada semestre se incluye al inicio del número correspondiente el listado de evaluadores que participaron en la revisión de los manuscritos publicados. Sus funciones son las siguientes:

- Evaluar los manuscritos asignados y emitir una decisión debidamente justificada.
- Adoptar una posición imparcial, crítica y constructiva frente a los trabajos que evalúan.
- Proteger el carácter confidencial de los manuscritos que revisan.
- Declarar si presentan conflicto de intereses.

**Responsabilidad del comité editorial:** el comité editorial es responsable de la gestión de la revista. Está integrado por investigadores de entidades nacionales e internacionales, asegurando la presencia de pluralidad en las disciplinas y líneas de investigación marina y costera. Sus funciones son las siguientes:

- Garantizar la calidad del contenido de los artículos y notas científicas sometidos a la revista.
- Declarar si presentan conflicto de intereses.
- Proteger la integridad y confidencialidad del trabajo de cada autor y el anonimato de cada evaluador.
- Aceptar o rechazar los manuscritos sometidos.
- En el caso de errores, promover la corrección o retractación en la publicación.

**Sanciones:** en caso de encontrar alguna violación de los apartes anteriores, se aplicarán las siguientes sanciones:

- Rechazo inmediato y retiro del manuscrito de la revista.
- Prohibición a todos los autores para presentar nuevos manuscritos a la revista, ya sea de forma individual o colectiva. Esta sanción tendrá vigencia por dos años a partir de su notificación.
- El editor general y el director de la revista se reservan el derecho de imponer sanciones adicionales a las descritos anteriormente, si lo consideran necesario.

- The manuscript does not include text, tables, or figures with copyright. If you have them, you have the authorization for their use and reproduction.
- The manuscript does not contain citations or transcriptions of works that lack properly cited bibliographic references.
- All of them accept all terms and conditions expressed in the author's guide.

**Reviewers' responsibilities:** Reviewers are researchers invited by the journal to revise *ad honorem* the manuscripts submitted. Every semester, the respective volume includes at the beginning of the complete list of reviewers who participated in the review. The functions of the reviewers are:

- Evaluating assigned manuscripts and give a substantiated decision.
- Adopting an impartial, critical and constructive position towards the manuscripts they evaluate.
- Protecting the confidentiality of the manuscripts reviewed.
- Declaring whether there is a conflict of interest.

**Editorial Board responsibilities:** The Editorial Board is responsible for the journal's management. It is composed of researchers from national and international institutions, ensuring plurality in the different disciplines and research lines of marine and coastal topics. The functions of the Editorial Board are:

- Guaranteeing the quality of the articles and scientific notes submitted to the journal.
- Declaring whether there is a conflict of interest.
- Protecting the integrity and confidentiality of the author's work and the anonymity of each reviewer.
- Accepting or refusing the submitted manuscripts.
- Promoting correction or retraction in the publication, in case of errors.

**Sanctions:** In any violation of the above paragraphs, the following sanctions will be applied:

- Immediate rejection and withdrawal of the manuscript from the journal.
- Prohibition for all authors to submit new manuscripts to the journal, either individually or collectively. This sanction will be in force for two years from its notification.
- The general editor and the director of the journal reserve the right to impose additional sanctions to those described above, if they consider it necessary.



# BOLETÍN DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS

## Bulletin of Marine and Coastal Research

(Bol. Investig. Mar. Costeras)

Vol. 49 (2) . . . . . Santa Marta, Colombia, 2020

### TABLA DE CONTENIDO/CONTENTS

**María Fernanda Cardona-Gutiérrez y Edgardo Londoño-Cruz**

Gusanos perforadores (Sipuncula y Annelida: Polychaeta) de los arrecifes coralinos del Pacífico Tropical Oriental (isla Gorgona, Colombia)  
Boring worms (Sipuncula and Annelida: Polychaeta) from Tropical Eastern Pacific coral reefs (Gorgona Island, Colombia) . . . . . 9

**Sven Zea y Nicolás Espada Gómez-Lor**

Caracterización de variables físicas en La Escollera, una laguna costera artificial en Santa Marta, Caribe colombiano  
Characterization of physical variables at La Escollera, a human-made coastal lagoon in Santa Marta, Colombian Caribbean. . . . . 25

**Natalia Arbeláez M., Julián Franco-Angulo y Luisa F. Espinosa**

Incidencia estacional de mareas rojas en la bahía de Santa Marta y sectores adyacentes, Caribe colombiano  
Seasonal incidence of red tides in the Bay of Santa Marta and adjacent sectors, Colombian Caribbean . . . . . 49

**Jesús David-Colón y Dairo Marín-Casas**

*Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov. (Dyctioceratina: Spongiidae): una nueva especie de esponja para el Caribe colombiano  
*Spongia (Heterofibria) sucrensis* sp. nov. (Dyctioceratina: Spongiidae): a new sponge species from the Colombian Caribbean . . . . . 67

**Nicoll Lizarazo, Sven Zea, Luis Chasqui y Natalia Rincón-Díaz**

Biodiversidad de esponjas en arrecifes rocosos del Chocó norte, Pacífico colombiano  
Biodiversity of sponges in rocky reefs of North Chocó, Colombian Pacific. . . . . 79

**Alfredo Gómez Gaspar y Arturo Acero P.**

Comparación de las surgencias de la Guajira colombiana y del oriente venezolano  
Comparison of the upwellings of the Colombian Guajira and eastern Venezuela . . . . . 131

**Laura Cristina Moreno-Jiménez y Giomar Helena Borrero-Pérez**

*Chaetaster nodosus* Perrier, primera estrella de mar perteneciente a la familia Chaetasteridae  
(Echinodermata: Asteroidea) registrada para el Caribe colombiano  
*Chaetaster nodosus* Perrier, first starfish belonging to the family Chaetasteridae  
(Echinodermata: Asteroidea) registered for the Colombian Caribbean . . . . . 173

**Melissa Scheel Dalmau, Manuel Camilo Velandia, Juan Manuel Díaz, Andrés Felipe Navia y Paola Andrea Mejía-Falla**

Presencia de la raya chupare del Pacífico *Styracura pacifica* en Colombia  
y ampliación de su distribución geográfica en el Pacífico Oriental Tropical  
Occurrence of the Pacific chupare stingray *Styracura pacifica* in Colombia  
and extension of its geographical range in the Tropical Eastern Pacific . . . . . 179

Guía de autores/Author's guide . . . . . 185

Ética de publicación/Publication ethics . . . . . 190



**invemar**

[www.invemar.org.co/boletin](http://www.invemar.org.co/boletin)